

옥천화강암의 지구화학적 특성

윤현수 · 김대업 · 박석환

한국자원연구소 지질부

요 약 : 옥천화강암은 옥천읍 일대에서 원형상으로 분포하며, 그 북부와 동부 및 남부에서 옥천층군을 관입한 쥬라기 암체이며 그 서부에서 백악기의 석영반암류에 의해 관입된다. 이 암체는 중립질의 흑운모 화강암으로서 유색광물부(mafic enclave)가 종종 발달하며 북부 주변에서는 미약한 엽리구조를 이루기도 한다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 스펀과 녹리석 등이다. 북부일부에 발달하는 미립질과 줄무늬 석영, 흑운모와 이차광물인 백운모 등이 이루는 엽리는 옥천화강암질 마그마의 유동중에 주변암에 의해 형성된 구조이다. QAP 모드분석에서 몬조화강암-화강섬록암에 도시되는 과알루미나암질로서 켈크 알칼리계열에 속하는 분화경향을 가진다. SiO₂ 대 주원소 그리고 미량원소 등의 관계도에서 단일 마그마의 분화경향을 뚜렷이 가진다. 콘드라이트로 표준화한 희토류원소는 경(LREE)에서 중(HREE)으로 갈수록 점진적으로 결핍되며 Eu/Eu*는 0.84의 부 이상값(negative anomaly)을 가져 대체로 국내 쥬라기 화강암류와 유사한 특성을 가진다. 동시층돌대의 지구조적환경에서 I-형의 지각물질이 용융하여 형성된 화강암질 마그마가 다소 빠르게 상승하여 옥천층군내에 정착된 암체이다.

핵심어 : 옥천화강암, 단일 마그마, 동시층돌대, I-형

서 언

연구지역은 옥천대의 중심부인 옥천읍-동이면 일대로서, 연구대상인 옥천화강암은 이 곳에서 원형상으로 분포하는 쥬라기 화강암류이다. 이 암체는 회색-담회색을 띠는 중립질의 흑운모 화강암으로 그 북부, 동부 및 남부에서 옥천누층군을 관입하며, 그 서부에서 백악기의 석영반암류에 의하여 관입된다 (Fig. 1).

이 연구에서는 옥천화강암체 전반에 걸쳐 암석학적, 광물학적 및 구조적인 산출특성을 조사하였다. 실내에서는 암석시료의 경하관찰로 구성광물과 엽리구조를 연구하였으며, 모우드분석에 의하여 암석명을 구하였다. 야외에서는 가능한 암체 전반에 걸쳐 신선한 부위의 시료를 택하여 이들의 주원소, 미량원소 및 희토류원소의 분석을 실시하였다. 이들 원소들의 지구화학적 연구에 의하여 옥천화강암의 암석화학적 분류, 분화경향, 지구조적 생성환경 및 성인 등을 밝혔다.

이 곳에 관련된 연구보고로는 김옥준(1971)에 의한 연대측정(K/Ar 법)이 있으며 그리고 김동학 외(1978)에 의해 1/5만 옥천도폭이 발간된 바 있으나, 화강암체와 관련된 지구화학적 연구보고는 매우 드문 편이다. 주원소의 분석은 습식법과 XRF(X-ray

Fluorescence Spectrometer), 미량원소 분석은 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)와 AAS(Atomic Absorption Spectrometer) 그리고 희토류원소 분석은 ICP-MS (Mass Spectrometer)에 의해서 모두 자원연구소에서 실시되었다. 주원소의 오차범위(%)는 TiO₂, MnO와 P₂O₅는 1이며, 기타 성분은 0.5이다. 미량원소의 오차범위(%)는 Ba과 Ni과 Rb이 각각 0.5, Co와 Cr이 각각 1, Sr과 Zn와 Li이 각각 0.05, V이 0.8, Cu와 Sc과 Y이 각각 0.1, Nb이 0.3, Pb 5, Be 4-5이다. 그리고 희토류원소는 5% 내외의 오차범위를 가진다.

지질개요

옥천화강암은 옥천도폭의 중북부에 분포하는 쥬라기의 암체로서 그 남-북과 동-서 직경이 각각 약 9 km 크기에 이르는 원형상을 이룬다. 이 암은 대체로 그 북부, 동부와 남부에서 옥천누층군의 창리층, 금강석회암, 황강리층과 문주리층 등을 관입하며, 그 서부에서 백악기의 석영반암류에 의해 관입된다. 그 밖에 백악기의 산성 및 염기성 암맥류가 이 화강암을 도처에서 관입하며 발달한다(Fig. 1).

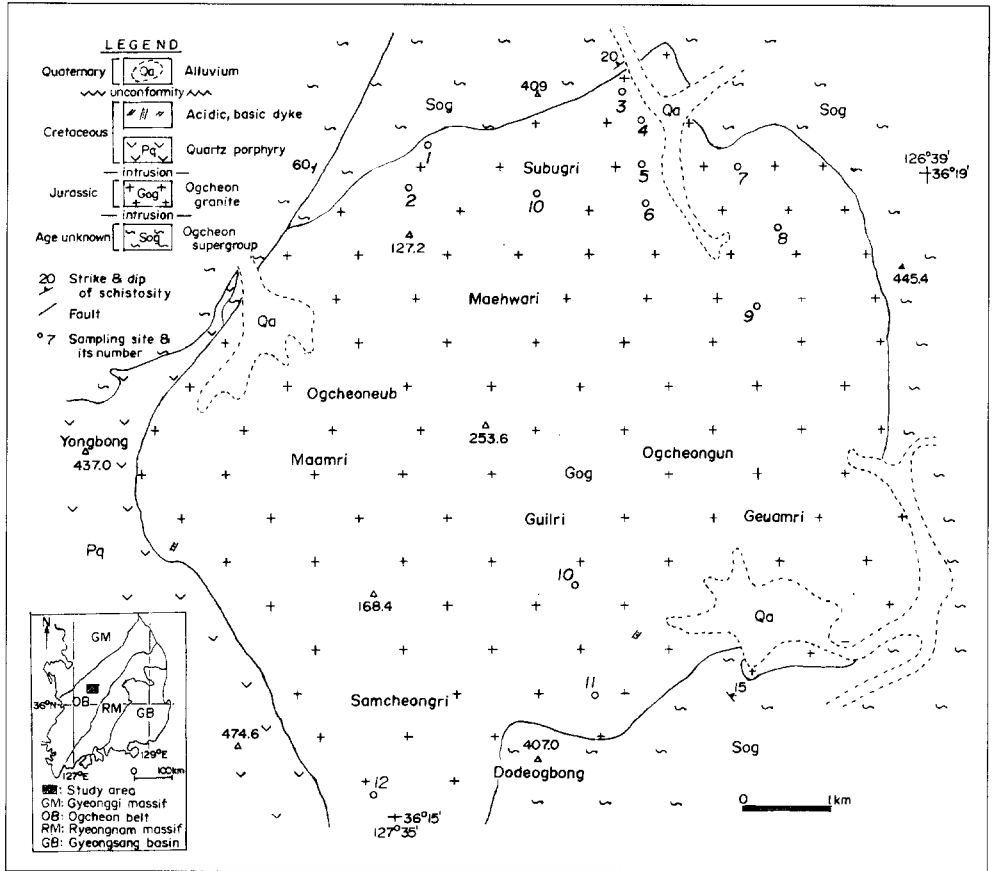


Fig. 1. Geologic map and sampling sites in Ogcheon area.

옥천누층군

이 곳에는 옥천누층군의 창리층, 금강석회암, 황강리층, 문주리층 등이 분포한다. 창리층은 흑색내지 암회색 점판암 및 천매암, 금강석회암은 유백색의 결정질 석회암, 황강리층은 합력천매암질과 석회질과 사질암, 문주리층은 회색내지 암녹색 천매암과 편암 등으로 구성된다(김동학 외, 1978). 이들의 대표적인 지역별 산출특징은 다음과 같다. 옥천화강암의 북동부인 금강변의 창리층은 N54°E와 20°NW, 그리고 동부인 세산리의 문주리층은 N60°W와 15°NE로서 완만한 경사를 이룬다. 이와 달리 남부인 장삼리의 문주리층은 대체로 N50°E의 주향과 수직-급경사를 이루며 소규모의 습곡구조가 자주 발달한다. 또한 북서부인 월전리의 황강리층은 천매암질내에 대체로 수 cm 크기로 신장된 역을 자주 함유한다.

옥천화강암

옥천화강암은 연구지역의 중심부에서 원형에 가까운 형태로 넓게 분포하는 암체로서, 주변의 옥천층군과는 뚜렷한 관입관계를 이룬다. 모드 분석결과 몬조화강암과 화강섬록암의 경계부에 밀집된다. 이 화강암은 전반적으로 중립질이 우세하며 암색은 회색내지 담회색, 부분적으로 엷은 담홍색을 띤다. 암체의 북부와 남부 주변부에서는 신선한 암상을 이루나 대체로 내측으로 갈수록 다소 심화된 풍화양상을 이룬다. 야외조사에서도 내측부에서 열극이 보다 좁은 간격을 이루며 빈번히 수반되는 경향을 보인다. 입도는 암체의 내측부보다 북부와 남부 주변부에서 다소 감소되는 경향을 뚜렷이 보인다. 이로 미루어 옥천화강암은 다소 빨리 옥천누층군내로 관입정착된 것으로 해석된다. 북서측 일부인 서정리에서는 약 1 cm 크기의 석영과 장석을 반정으로

포함하며, 북부의 수북리 일대에서는 미약한 엽리 구조가 발달한다. 유색광물부(mafic enclave)가 종종 발달하며, 남부인 삼청리와 세산리 등에서는 수십 cm의 크기를 이룬다. 이들은 대부분 흑운모로 구성되며 타원형을 이룬다.

현미경 관찰에 의하면 수북리에서는 미립질 그리고 줄무늬(shadowy) 석영, 흑운모 및 백운모 등이 이룬 미약한 엽리구조가 종종 발달한다. 이러한 미약한 엽리구조는 옥천화강암질 마그마의 유동중에 주변암에 의해 형성된 것으로 해석된다(Hyndman, 1972). 옥천화강암의 흑운모의 연령(K/Ar 법)은 163 Ma(김옥준, 1971)로서 주라기 중기에 해당한다.

석영반암류, 암맥류

이들은 모두 백악기에 속하는 관입암류이다. 석영 반암류는 연구지역의 서부에서 옥천누층군과 옥천 화강암을 관입하며 약 1.5 km의 폭을 이루며 대체로 남북향으로 길게 분포한다. 이 반암류는 석영반암, 화강반암, 장석반암과 규장암 등으로 구성되나, 그 중에서 전자가 가장 우세하다(김동학 외, 1978). 암맥류는 곳곳에서 발달하며, 그 중 염기성암은 대체로 북북동향이 우세하며 약 1m의 폭을 가진다. 산성암인 규장암과 석영반암은 여러 방향으로 발달하며 그 폭이 십여-수십cm에 달한다. 그리고 페그마타이트와 반화강암(aplite)은 대부분 단일맥을 이루나 북부 일부에서는 복합맥으로 산출된다.

옥천화강암의 광물조성과 모드분석

이 화강암의 모드 값(%)은 석영 29.9-44.9, 사장석 26.1-41.1 그리고 알칼리장석 12.4-22.4로서 전자 둘이 다소 넓은 범위의 값을 가진다(Table 1).

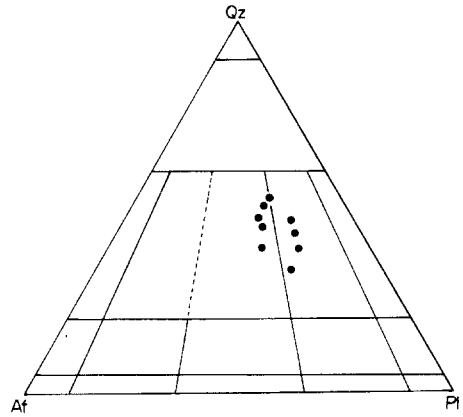


Fig. 2. Triangular diagram of modal composition for Ogcheon granite.

QAP(quartz-alkali feldspar-plagioclase) 삼각도(Streckeisen, 1976)에서 몬조화강암과 화강섬록암의 경계부에 다소 밀집되어 도시된다(Fig. 2).

이 암의 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 백운모, ±녹니석, 인회석, 스피넬, 저어콘, ±녹염석, ±갈염석, ±불투명광물 등이다(Table 1). 석영은 파상소광 그리고 줄무늬(shadowy) 소광을 이룬다. 부분적으로 미립질 석영이 집합되어 선상의 방향성을 이루기도 한다. 사장석은 알바이트, 알바이트-칼스바드 또는 드물게 페리크린 쌍정을 이룬다. 부분적으로 누대구조를 이루며, 산점상으로 변질되기도 한다. 소광각은 8°-15°로서 알바이트-올리고크레이스에 해당한다. 알칼리장석은 미사장석, 퍼다이트 또는 마이크로 퍼다이트이며 곳에 따라 5-7 mm 크기의 반정으로 함유된다. 미르메카이트 조직이 암체 전반에 걸쳐 발달되는 특징을 보인다.

흑운모는 갈색, 암갈색, 일부 녹색색의 다색성을

Table 1. Modal composition of Ogcheon granite

Sp.no.	Qz	Pl	Af	Myr	Bt	Mu	Ch	Ap	Sp	Zr	Ep	All	Op
1	29.9	41.1	18.6	1.2	8.2	0.1	tr	0.1	0.5	0.2	-	-	-
2	40.9	26.6	18.6	2.9	9.9	0.2	tr	tr	0.7	tr	0.2	-	tr
3	34.3	39.1	14.5	1.1	9.3	0.8	0.1	0.1	0.2	tr	0.2	0.1	0.4
5	36.0	32.8	22.4	0.5	7.1	0.4	0.3	tr	0.1	tr	0.1	-	0.3
6	40.3	30.1	19.5	0.9	6.5	1.5	tr	tr	0.2	tr	0.4	-	0.5
7	38.8	36.8	13.3	0.9	8.2	0.8	0.1	tr	0.4	tr	0.7	-	0.2
8	40.5	33.4	12.4	0.4	11.2	1.0	0.1	0.1	0.2	tr	0.2	-	0.6
9	44.9	26.8	16.7	3.4	7.1	0.6	tr	tr	0.1	tr	0.2	tr	0.2
10	44.9	26.1	13.8	1.1	12.3	0.3	tr	0.2	1.1	tr	0.2	tr	tr

Qz: quartz, Pl: plagioclase, Af: alkali feldspar, Myr: myrmekite, Bt: biotite, Mu: muscovite, Ch: chlorite, Ap: apatite, Sp: sph en, Zr: zircon, Ep: epidote, All: allanite, Op: opaque

떠며, 쪼개짐면을 따라 또는 전체가 녹니석화 되기도 한다. 백운모는 대체로 사장석내에 산점상으로 들어 있거나, 광물립사이에서 미립의 집합체로 발달되어 있어 이차적 산물로 보인다. 이들 흑운모와 백운모는 방향성을 이룬 엽리구조를 이루기도 한다. 스펀은 타형-자형을 이루며 인회석은 흑운모내에 미립으로 함유된다. 이러한 스펀의 수반과 인회석의 산출상은 I-형 화강암류(Chappell and White, 1974)의 광물학적 특성에 해당한다. 녹염석은 타형의 미립으로 발달하며, 갈염석은 뚜렷한 자형을 이루기도 하며 녹염석내에 함유되기도 한다. 저어콘은 흑운모내 미립으로 함유되며, 불투명광물은 거의가 타형을 이루며 일부에서 산점상의 적철석이 발달한다.

지구화학적 특성

옥천화강암의 전반적인 지구화학적 특성을 알기 위하여 전역에 걸쳐 가능한 신선한 암석시료 12개

를 취하여 주원소와 미량원소를 분석하였다. 그리고 이 중에서 4개의 대표시료를 택하여 희토류원소(REE)를 분석하였다(Tables 2, 3).

Table 3. REE(ppm) of representative samples for the granite

	1	3	6	8
La	33.2	38.9	33.7	39.9
Ce	66.3	77.5	68.7	78.3
Pr	7.88	8.93	9.88	8.98
Nd	28.3	31.1	25.7	32.3
Sm	5.00	5.15	4.27	5.46
Eu	1.26	1.24	1.06	1.28
Gd	4.18	3.98	3.41	4.17
Tb	0.50	0.45	0.37	0.45
Dy	2.27	2.00	1.58	1.92
Ho	0.36	0.33	0.25	0.28
Er	0.86	0.83	0.56	0.66
Tm	0.11	0.11	0.07	0.07
Yb	0.68	0.69	0.40	0.47
Lu	0.10	0.11	0.06	0.07

Table 2. Major(wt %) and trace element(ppm) compositions of the granite

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	68.23	68.43	67.28	66.76	69.46	70.37	68.79	70.37	69.97	70.67	69.44	68.16
TiO ₂	0.50	0.49	0.51	0.61	0.50	0.47	0.49	0.46	0.48	0.41	0.53	0.51
Al ₂ O ₃	15.71	16.00	16.14	16.19	15.18	15.19	16.00	15.01	15.71	15.24	15.44	16.30
Fe ₂ O ₃	0.68	0.55	0.94	1.13	0.77	0.83	0.86	1.91	0.87	0.89	1.72	2.30
FeO	2.45	2.53	2.26	2.49	1.89	1.58	1.81	0.83	1.85	1.28	1.13	0.60
MnO	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03
MgO	0.85	0.67	0.84	1.00	0.69	0.62	0.67	0.64	0.73	0.52	0.76	0.80
CaO	2.81	2.33	2.72	3.21	2.26	1.86	2.33	2.10	2.35	1.68	2.29	2.70
Na ₂ O	3.79	4.00	3.94	3.94	3.71	3.59	4.00	3.64	3.90	3.57	3.49	3.69
K ₂ O	3.45	3.76	3.57	3.17	3.82	4.24	3.76	3.92	3.47	4.33	3.98	3.84
P ₂ O ₅	0.17	0.15	0.17	0.21	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.13	0.17	0.17
LOI	0.68	0.70	0.97	0.68	0.88	0.66	0.70	0.68	0.78	0.79	0.47	0.70
Sum	99.38	99.66	99.41	99.45	99.35	99.60	99.61	99.73	100.31	99.56	99.45	99.80
Ba	527	692	636	559	665	744	792	889	809	671	988	1200
Be	1.9	1.8	2.2	2.2	1.8	1.6	1.9	1.7	2.1	2.0	1.7	1.8
Co	13	14	14	15	13	13	13	7.0	13	12	8.6	9.8
Cr	20	19	21	21	21	21	17	6.8	16	19	5.1	3.0
Ni	9.1	8.9	9.9	9.4	9.7	10	8.6	<1	8.3	9.7	10	5.7
Sr	391	404	459	478	385	377	457	421	481	310	479	525
V	36	38	38	46	29	28	31	26	33	24	32	38
Cu	7.9	2.9	6.4	26	19	2.8	4.8	8.5	12	5.1	9.5	7.6
Zn	68	71	72	77	70	63	66	64	68	59	69	41
Pb	31	33	29	33	28	36	31	24	25	31	25	25
Li	218	211	269	273	186	144	198	98	210	223	117	102
Sc	3.4	3.2	3.3	3.8	3.1	4.3	2.6	2.0	2.9	2.4	2.5	2.6
Y	9.1	8.6	8.6	9.9	7.0	7.0	7.2	2.3	7.2	7.2	2.5	3.5
Nb	19	17	15	27	19	14	17	16	22	24	16	16
Rb	327	348	379	320	347	393	316	386	330	390	398	361

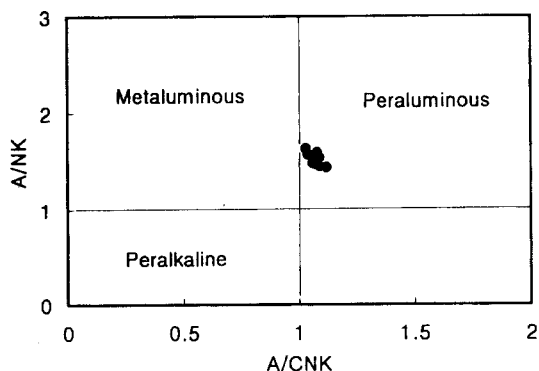


Fig. 3. Molecular A/NK vs. A/CNK(A=Al₂O₃, C=CaO, N=Na₂O, K=K₂O) for the granite.

이 화강암은 SiO₂(wt. %)가 66.7-70.7로서 다소 좁은 범위값을 가지며, A/CNK(Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)) 대 A/NK(Al₂O₃/(Na₂O+K₂O))의 몰비 관계도에서 모두 과알루미나질(peraluminous)에 해당한다(Fig. 3). 그리고 K₂O/CaO의 비는 0.9-2.6으로서 석영몬조니암-화강섬록암(Putman and Burn-

ham, 1963)에 해당한다.

SiO₂에 대한 주원소 산화물의 관계도에서 육천 화강암은 단일 마그마의 분화경향을 뚜렷이 가진다. 즉 SiO₂ 함량증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ (t), MnO, MgO, CaO와 P₂O₅는 완만하거나 뚜렷한 부, 그리고 K₂O와 Na₂O+K₂O는 완만한 정의 관계를 보인다. Na₂O는 거의 변화가 없다(Fig. 4). 유색광물의 주성분을 이루고 있는 MgO를 분화지수로 사용한 관계도에서도 이러한 경향을 분명하게 가진다(Fig. 5). 즉 MgO의 감소에 따라 TiO₂는 정의 상관관계를 뚜렷이 보이며, 이는 주로 티탄철석과 스펀과 같은 함 티탄광물의 분별작용과 관계가 있을 것으로 해석된다. TiO₂/MgO의 비값은 0.59-0.79(평균 0.69)로서 다소 좁은 범위값을 가진다.

Irvine and Baragar(1971)에 의한 (Na₂O+K₂O) 대 SiO₂의 관계도에서는 모두 서브알칼리에 속하며, AMF(Na₂O+K₂O, MgO, total Fe₂O₃)의 삼각

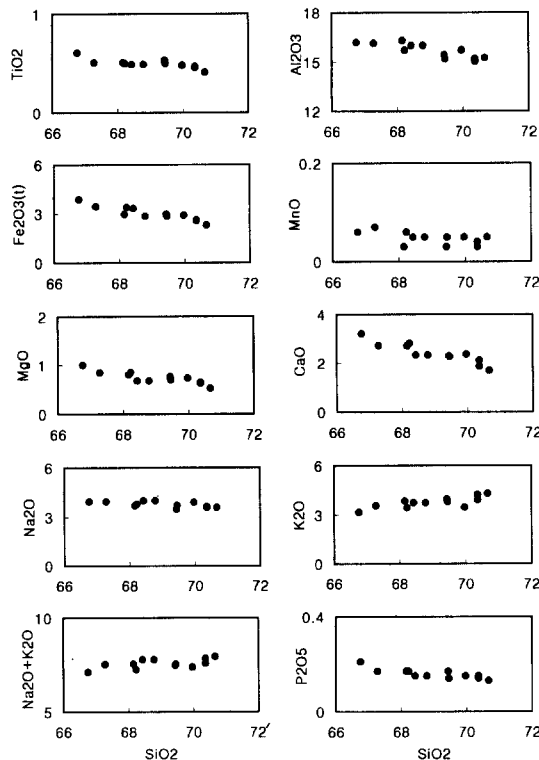


Fig. 4. Harker diagram of major element composition for the granite.

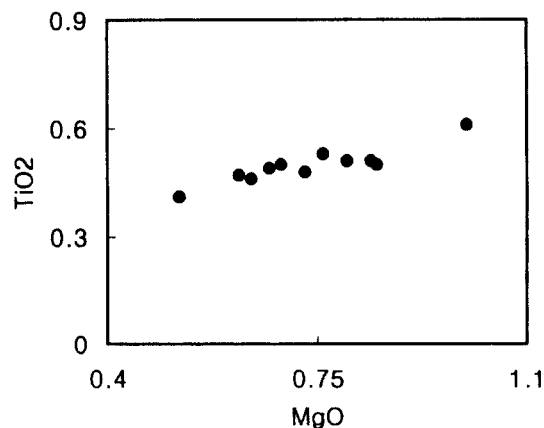


Fig. 5. Plot of MgO vs. TiO₂ for the granite.

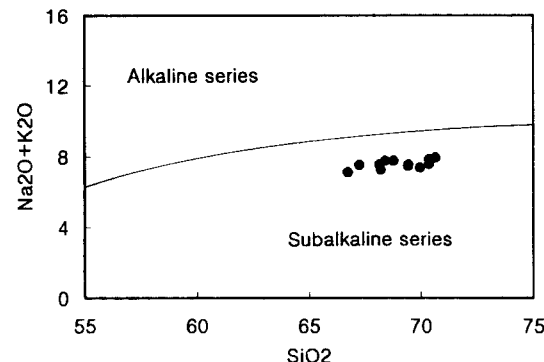


Fig. 6. Composition of the granite in terms of silica and total alkalis.

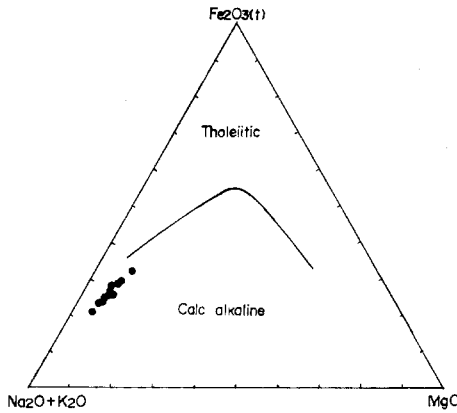


Fig. 7. AMF(Na₂O+K₂O, MgO, total Fe₂O₃) triangular diagram for the granite.

도에서는 칼크알칼리 계열에 도시되며 분화경향을 뚜렷이 보인다(Figs. 6, 7).

미량원소는 다음과 같은 지구화학적 특성을 가진다(Table 2; Fig. 8). 보통 양이온 중에서 K만을 치환하는 Ba은 527-1200(평균 764)ppm의 넓은 범위값을 가지며 SiO₂와는 대체로 정의 상관관계를 이룬다. Be과 Co는 각각 1.6-2.2(평균 1.9)ppm과

7-15(평균 12)ppm의 좁은 범위값을 가지며, SiO₂와는 완만한 부의 상관관계를 이룬다. Co의 이런 경향은 주로 옥천화강암내 흑운모, 갈염석과 저어콘 등의 분별작용(Mahood and Hildreth, 1983)에 의한 것으로 보인다. Cr과 Ni은 각각 3-21(평균 16)ppm과 <1-10 ppm의 함량을 가지며 SiO₂ 증가에 따라 대체로 직선상의 분포경향을 보인다.

Sr과 V은 각각 310-525(평균 431)ppm과 26-46(평균 33)ppm으로서 SiO₂와는 뚜렷한 부의 상관관을 이룬다. Cu는 2.8-26(평균 9)ppm의 함량을 가지며 SiO₂와는 불규칙한 변화경향을 가진다. Zn와 Pb는 각각 59-77(평균 66)ppm과 24-36(평균 29)ppm의 좁은 범위값 그리고 Sc은 2-4.3(평균 3.0)의 낮은 함량을 가지며, 이들은 SiO₂와 완만한 부의 상관관계를 이룬다.

Y과 Nb은 각각 2.3-9.9(평균 6.7)ppm과 15-27(평균 19)ppm의 함량을 가지며 SiO₂의 증가에 따라 대체로 부와 정의 관계를 각각 이룬다. 이런 낮은 Y값은 옥천화강암내 미량으로 함유되는 인회석에 기인되는 것으로 해석된다(Table 1). 화강암류에서 Y은 30-40 ppm, Nb은 20 ppm의 함량을 가진다(Taylor, 1965).

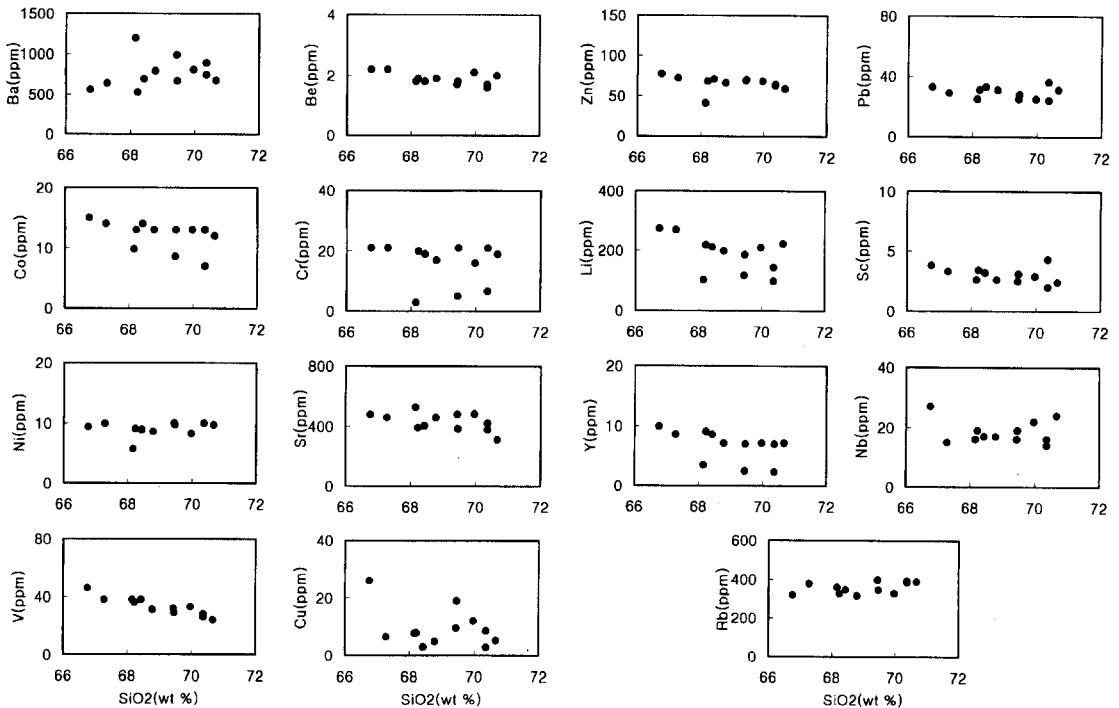


Fig. 8. Variation diagram of trace element with silica content for the granite.

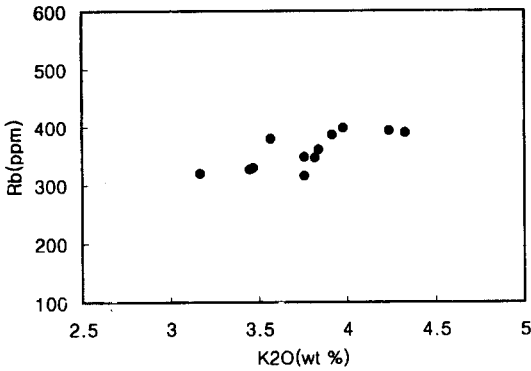


Fig. 9. Plot of Rb vs. K_2O for the granite.

Rb은 316-398(평균 358)ppm의 함량을 가지며 SiO_2 에 대해 완만한 정의 관계를 이룬다. 불호정원 소인 Rb은 자체광물이 없으므로 K광물에 포획되며(Mason and Moore, 1982), 이런 화학적 유사성 때문에 Rb 대 K_2O 은 완만한 정의 관계를 가진다(Fig. 9). Li은 98-273(평균 187)ppm의 큰 함량을 가져 화강암류의 평균값 25-30 ppm(Taylor, 1965)보다 크게 증가한다. 이는 알칼리원소인 Li이 Mg광물인 흑운모(Mason and Moore, 1982)에 특히 부화되기 때문으로 해석된다. 흑운모내 K_2O 와 MgO 함량(wt. %)은 각각 10.18과 14.51이며(Brownlow, 1979), 육천화강암은 흑운모 모드값이 8.9%로서 백운모의 0.6%보다 크게 증가한다(Table 1). SiO_2 증가에 따라 Li은 대체로 부의 상관관계를 이룬다. 이들 미량원소들은 SiO_2 에 대해 주원소 관계도에서와 같이 뚜렷한 단일암체의 분화경향을 이루지는 못하지만, 대체로 Ba, Nb과 Rb은 정의 관계 그리고 Be, Co, Sr, V, Zn, Pb, Sc와 Y은 부의 관계를 각각 이룬다.

Ca와 K의 중간크기인 Sr의 분배계수는 사장석에서 4.4이고 K-장석에서 3.9로서 둘다 Sr의 분별결정작용에 관여할 수 있다(Mason and Moore, 1982; Arth, 1976). 또한 CaO와 K_2O 는 각각 완만한 부와 정의 관계를 뚜렷히 보인다(Fig. 4). 이러한 경향은 Sr 대 CaO 그리고 Sr 대 K_2O 의 관계도에서도 가지는 바 이는 Sr이 각각 주로 사장석과 K-장석의 분별작용에 의한 것으로 해석된다(Fig. 10).

성인 및 지구조적 생성환경

육천화강암은 Na_2O (wt. %)가 3.49-4.00(평균 3.77)로 다소 좁은 변화폭을 가지며, K_2O 는 3.17-4.24

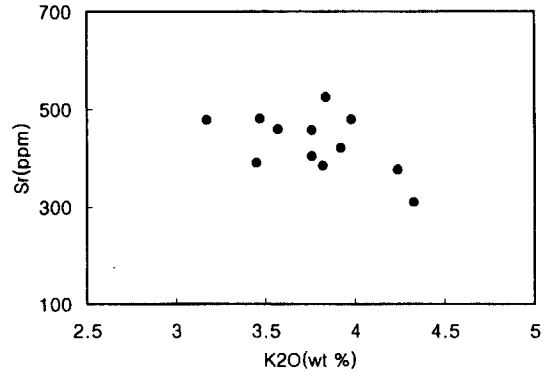
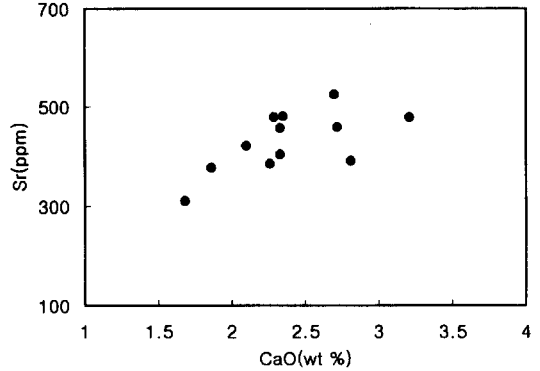


Fig. 10. Plot of Sr vs. CaO and Sr vs. K_2O for the granite.

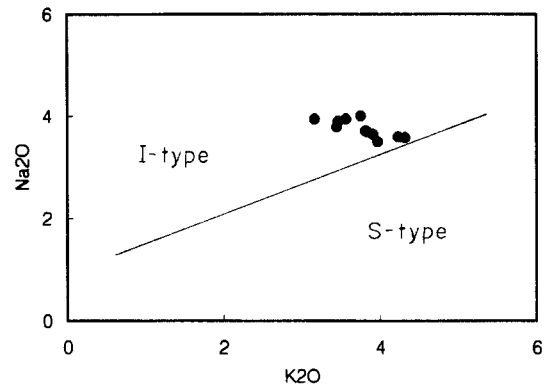


Fig. 11. Plot of K_2O vs. Na_2O for the granite.

(평균 3.78)로 약간 넓은 폭을 가진다. Na_2O 는 모두 3.2%이상(Chappel and White, 1974)의 함량을 가지며 K_2O 대 Na_2O 의 관계도(White and Chappel, 1983)에서도 모두가 I-형에 도시된다(Fig. 11). K_2O/Na_2O 는 0.80-1.21의 범위값을 가지며, 평균비는 1.0으로서 I-형에 해당한다. 호주남동부인 Lan-

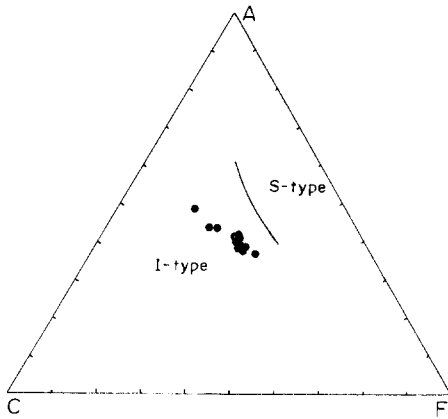


Fig. 12. Triangular diagram of ACF(Al-Na-K, Ca, Fe²⁺+Mg) for the granite.

chlan 습곡대(White and Chappel, 1983)에 분포하는 I-형과 S-형 화강암류의 K₂O/Na₂O비는 각각 1.03과 1.65으로 전자에서 그 값이 크게 감소한다.

한편 옥천화강암은 Hine *et al.*(1978)에 의한 ACF(Al-Na-K, Ca, Fe²⁺+Mg) 모식도에서도 이러한 경향을 뚜렷히 보여 모두 I-형에 도시된다(Fig. 12). 그리고 알루미늄 포화지수(ASI; Al₂O₃/(Na₂O+K₂O+CaO))의 몰비는 1.03-1.12(평균 1.06)의 좁은 범위값을 가지며 거의가 1.1 이하의 값을 가진다. 이들로 미루어 옥천화강암체의 근원은 I-형의 지각물질로 해석된다.

지구조적 생성환경을 알기위한 Nb 대 Y 그리고 Rb 대 Y+Nb의 모식도(Pearce *et al.*, 1984)에서 옥천화강암은 모두 VAG+syn-COLG와 syn-COLG(volcanic arc, syn-collision granite) 영역에 각각 도시된다(Fig. 13). 그리고 Rb는 358 ppm을 가져 화강암류의 평균값인 120-150 ppm(Taylor, 1965)보다 크게 증가되는 바 이는 옥천화강암의 구조적 환경이 동시충돌대였음을 반영한다. 히말라야 산맥, 남서유럽의 피레네 산맥과 알프스 산맥 등에 분포하며 동시충돌환경과 충돌후기환경(syn, post-collision)에 속하는 대표적인 화강암류의 Rb함량은 각각 319 ppm과 177 ppm(Harries *et al.*, 1986)을 가진다. 또한 이들 동시와 충돌후기환경의 Rb/Yb과 Rb/Lu의 값은 각각 603과 3936 그리고 149와 503로서 모두 전자에서 크게 증가한다. 옥천암체의 Rb/Yb과 Rb/Lu값은 709와 4695를 가져 전자에 가깝다. 이로 미루어 옥천암체는 동시충돌대의 지구조적 환경에서 형성된 화강암류로 해석된다.

한편 옥천화강암의 북동부에 분포하는 보은 화

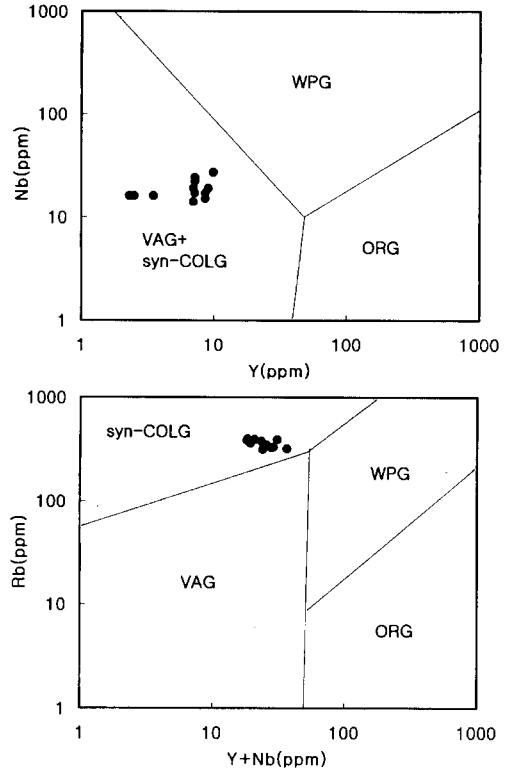


Fig. 13. Tectonic discriminant diagrams of Y vs. Nb and (Y+Nb) vs. Rb for the granite.

강섬록암체는 칼크-알칼리계열에 속하는 부알루미나암질로서 VAG에 속하는 활동성 대륙 주변부일 가능성이 있으며(좌용주, 1996), 동시충돌형 판입암체가 아님이 확실하다(정창식과 장호완, 1996). 보은암체의 흑운모 연령(K-Ar)은 153-155Ma(좌용주 외, 1995), 전암연령(Rb-Sr)은 170Ma(좌용주 외, 1995)와 230Ma(정창식과 장호완, 1996)이며, 특히 정창식과 장호완(1996)은 성인상 두 개 이상의 가능성을 제시한 바 있다. 또한 옥천화강암의 동부인 청산일대의 화강암류는 반상화강암, 화강섬록암과 복운모 화강암으로 구분된 바 있으며(사공희와 좌용주, 1997), 이들은 모두 옥천화강암체와는 다른 암석광물학적 및 지구조적 생성환경을 가진다.

옥천화강암은 콘트라이트값(Boynton, 1984)으로 표준화한 희토류원소의 변화도에서 경희토류원소에서 중희토류원소로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되며 이러한 경향은 4개의 대표시료가 거의 평행으로 일치하는 분포양상을 보이며, Eu 이상값(Eu/Eu*)은 0.84의 부(負) 이상값을 가져 미약한 사장석의 분별결정작용을 반영한다(Fig. 14). 이런 희

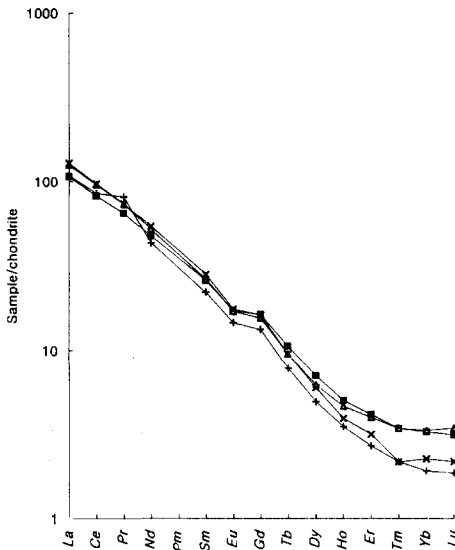


Fig. 14. REE abundances normalized to chondrite value for the granite.

토륨원소의 변화양상과 Eu 이상값 등의 지구화학적 특성은 국내 쥬라기 화강암류(김규한, 1992; Hong, 1987)와 유사하다.

옥천화강암은 주변 옥천층군과는 뚜렷한 관입 접촉 관계를 가지며, 내측부보다 북부와 남부 주변부에서 그 입도가 감소되는 경향을 이룬다. 이로 미루어 옥천암체는 동시층돌대의 지구조적 환경조건에서 I-형의 지각근원물질이 용융된 화강암질 마그마가 다소 빠르게 상승하여 옥천층군내에 관입정지된 것으로 해석된다.

결 론

옥천화강암은 옥천읍-동이면 일대에서 원형상으로 분포하는 쥬라기의 암체로 그 북부, 동부 및 남부에서 옥천층군과 뚜렷한 관입 및 접촉관계를 이루며 그 서부에서 백악기의 석영 반암류에 의해 관입된다. 전반적으로 중립질이 우세하나 북부와 남부 주변부에서는 다소 입도가 감소하여 세립질에 가까운 경향을 보인다. 타원형의 유색광물부(mafic enclave)가 종종 발달하며, 이들은 대부분 흑운모로 구성되며 그 크기가 수십 cm을 이루기도 한다.

QAP(quartz-alkali feldspar-plagioclase) 모드삼각도에서 문조화강암과 화강섬록암의 경계부에 밀집하여 도시되는 화강암류로서, 그 구성광물은 석영,

사장석, 알칼리장석, 흑운모, 인회석, 스피넬, 저어콘, 녹염석, 갈염석, 불투명광물 등이다. 북부일부에서의 줄무늬 석영, 흑운모와 이차광물인 백운모 등이 이룬 엽리는 옥천화강암질 마그마의 유동중에 주변암에 의해 형성된 구조이다.

SiO₂는 66-71%(wt)로서 산성암류에 해당하며, ASI(Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O))의 몰비는 1.0-1.2로서 모두 과알루미나암질에 해당한다. SiO₂ 대 (Na₂O+K₂O)의 관계도에서는 모두 서브알카린 계열 그리고 AFM의 관계도에서는 캘크 알카린 계열에 속하며 다소 분화후기의 경향을 가진다. 지구화학적으로 옥천화강암은 단일암체의 분화경향을 가진다. 즉 SiO₂ 대 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), MnO, MgO, CaO와 P₂O₅는 완만하거나 뚜렷한 부의 관계, K₂O와 Na₂O+K₂O는 완만한 정의 관계를 보인다. 그리고 Ba, Nb과 Rb은 정의 관계 그리고 Be, Co, Sr, V, Zn, Pb, Sc와 Y 등은 부의 관계를 대체로 이룬다.

옥천화강암은 Na₂O 함량이 3.2% 이상이며 K₂O/Na₂O의 값이 1.0이고 ASI의 평균 몰비는 1.06이다. 그리고 K₂O 대 Na₂O의 관계도와 ACF(Al-Na-K, Ca, Fe⁺²+Mg)모식도에서 모두가 I-형에 해당한다. 또한 스피넬의 수반과 더불어 미립의 인회석이 흑운모내에 함유된다. 이런 지구화학적 및 광물학적 특성으로 미루어 옥천화강암체는 근원물질은 I-형에 해당된다.

옥천화강암은 Nb 대 Y, Rb 대 Y+Nb 그리고 K/Rb비 등에 미루어 VAG+syn-COLG와 syn-COLG로서 동시층돌대의 지구조적 생성환경에서 형성된 화강암류이다. 콘트라이트 값으로 표준화한 희토류 원소 변화도에서 경에서 중원소로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되며 Eu 이상값(Eu/Eu*)은 0.84의 부(負) 이상값을 가져 미약한 사장석의 분별결정을 가지는 국내 쥬라기 화강암류와 유사한 지구화학적 특성을 보인다. 암석광물학적 및 지구화학적 특성 등에 미루어 옥천암체는 동시층돌대의 지구조적 환경조건에서 I-형의 지각물질이 용융된 화강암질 마그마가 다소 빠르게 상승하여 옥천층군내에 관입정지된 것이다.

사 사

이 논문작성시에 많은 도움을 준 진명식박사와 홍세선박사에게 감사사를 드린다. 주원소, 미량 및 휘토륨원소의 지구화학적 분석자료를 내준 자원연구소 분석부 여러분에게도 깊은 감사사를 드린다. 또한 관

런자료를 보내준 기초과학지원연구소 정창식박사에
게도 감사를 표한다. 끝으로 이 논문을 자세히 보
아주고 문제점을 상세히 지적해준 김용준교수, 권
성택교수 그리고 박계현교수에게 깊은 사의를 드린다.

참고문헌

- 김규한, 1992, 남한의 일부 중생대 화강암류의 지구화
학적연구. 광산지질, 23, 435-446.
- 김동학, 장태우, 김원형, 황재하, 1978, 한국지질도
(1:50,000), 옥천도폭 및 설명서. 자원개발연구소,
21p.
- 김옥준, 1971, 남한의 신기화강암류의 관입시기와 지
각변동. 광산지질 4권, 1-9.
- 사공희, 좌용주, 1997, 청산 일대에 분포하는 화강암
류의 광물조성과 주성분원소 지구화학. 암석학회지
6, 185-209.
- 정창식, 장호완, 1996, 중부 옥천변성대의 화성, 변성
및 광화작용과 조구조적 연관성 연구(1): 보은지역
화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학. 대한지
질학회지, 32, 91-116.
- 좌용주, 1996, 중부 옥천대에 분포하는 쥐라기 보은
화강섬록암의 암석화학과 마그마과정. 암석학회지,
5, 188-199.
- 좌용주, 이종익, Kagami, H., 1995, 중부 옥천대 화강
암류의 새로운 연대. 대한지질학회 학술발표회 요
약집, 17.
- Arth, J.G., 1976, Behavior of trace elements dur-
ing magmatic processes: a summary of theoret-
ical models and their applications. J. Res. U. S.
Geol. Surv., 4, 41-47.
- Boynnton, W.V., 1984, Geochemistry of the rare
earth elements: meteorite studies. In: Brown-
low, A.H., 1979, Geochemistry. Prentice-Hall, Inc.,
498p.
- Chappel, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two con-
trasting granite types. Pacific Geol., 8, 173-174.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986,
Geochemical characteristics of collision-zone mag-
matism. In Collision tectonics(ed. Coward, M.P.
and Ries, A.C.), Geol. Soc. Spec. Pub., 19, 67-81.
- Hine, R., Williams, I.S., Chappel, B.W. and White,
A.J.R., 1978, Contrasts between I- and S-type
granitoids of the Kosciusko batholith. J. Geol.
Soc. Australia., 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.
- Hyndman, D. W., 1972, Petrology of igneous and
metamorphic rocks. McGraw-Hill Book Co., 533p.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to
the chemical classification of the the common
volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8, 523-542.
- Mahood, G. and Hildreth, W., 1983, Large parti-
tion coefficients for trace elements in high-silica
rhyolites. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 11-30.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of
geochemistry. John Wiley & Sons, 329p.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984,
Trace element discrimination diagrams for the
tectonic interpretation of the granitic rocks. J.
Petrol., 25, 956-983.
- Putman, G.W. and Burnham, C.W., 1963, Trace ele-
ments in igneous rocks, northeastern and central
Arizona. Geochim. Cosmochim. Acta., 27, 53-58.
- Streckeisen, A. L., 1976, To each plutonic rocks
and its proper name. Earth Sci. Rev., 12, 1-33.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace ele-
ment data to problems in petrology. Physics and
chemistry of the earth, 6, 133-213.
- White, A.J.R. and Chappel, B.W., 1983, Granitoid
types and their distribution in the Lachlan Fold
Belt, southeastern Australia. Geol. Soc. Amer.,
Memoir 159, 21-34.

(책임편집 : 권성택)

(1999년 4월 20일 접수, 1999년 6월 15일 수리)

Geochemical characteristics of Ogcheon granite in Ogcheon area

Hyun-Soo Yun, Dai-Oap Kim, Suk-Hwan Park

KIGAM, Geology Division

Abstract : The area of the study is located in Ogcheon district, middle part of Ogcheon Fold Belt. The area is covered by metasedimentary rocks of Ogcheon Supergroup at northern, eastern and southern part. Jurassic Ogcheon granite which intruded into Ogcheon Supergroup at central part, was intruded by Cretaceous quartz porphyry at western part. The granite consists of quartz, plagioclase, alkali feldspar, biotite, sphene, apatite, epidote, opaque and so on. It is generally characterized by grey to light grey, medium-grained, mafic enclave and partly weak foliation. In terms of geochemical compositions, the granite is felsic, peraluminous, subalkaline and calc-alkaline, and it was differentiated from single granitic magma. It shows parallel LREE enrichment and HREE depletion patterns with 0.84 Eu negative anomaly, which has REE variation trend and anomaly value similar to Jurassic granites in Korea. From characteristics of petrology, mineralogy and geochemistry, it may be interpreted that the Ogcheon granite body was derived from melting of I-type crustal material related to syn-collisional tectonic setting and emplaced more or less rapidly into the Ogcheon Supergroup.

Key words : Ogcheon granite, single magma, I-type, syn-collision