

진안일대에 분포하는 백악기 홍색 화강암류의 암석화학 및 물성특성

윤현수* · 홍세선

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, 대전광역시 유성구 가정동 30, 305-350

Petrochemical and Physical Characteristics of the Cretaceous Pink Granites in the Jinan Area

Hyun Soo Yun* and Sei Sun Hong

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

요약: 진안일대의 백악기 홍색 화강암류는 암주상을 이루며 이 곳의 동부와 서부에서 인접하며 분포한다. 동부 화강암은 중-조립질이 우세한 원형상의, 서부 화강암은 부분적으로 반정질화, 세립질화되나 전반적으로 중-조립질이 우세한 타원형의 암체이다. 이들에게 종종 산출되는 미세 공동구조는 그 산출크기와 빈도수가 전자보다 후자에서 뚜렷이 증가한다. 이들은 거의 같은 광물조성을 이루며, 모우드 QAP도에서 각각 몬조화강암과 섬장화강암에 대부분 도식되는 양상을 이룬다. 열극발달 체계로 미루어 전자에는 비규격석, 후자에는 규격석과 비규격석의 산출이 많을 것으로 보인다. 비중값의 차이는 후자보다 전자가 약간 더 치밀한 조직을 이룸을 제시한다. 흡수율과 공극율은 전자보다 후자에서 그 값이 각각 두 배 정도 증가한다. 이러한 물성차이와 공동구조의 산출정도 등으로 미루어, 가스 방출이 동부보다 서부 화강암체에서 훨씬 더 많았던 것으로 해석된다. 이들 암류는 모두 산성암, 과알루미나암질, 켈크-알칼리 계열에 해당한다. AFM 관계, 주원소 산화물의 함량, 허커다이어그램과 Ba 대 Sr 관계 등으로 미루어, 이들은 동일 화강암질 마그마 기원으로서 서부가 동부 화강암보다 후기의 분화암체일 것으로 해석된다. 콘드라이트로 표준화한 희토류원소는 경희토류에서 중희토류 원소로 갈수록 서서히 결핍되는 경향을 보이며, Eu의 부 이상은 사장석의 분별결정작용이 전자보다 후자에서 더 심하게 일어난 양상을 보인다. 중량 대자율은 각각 3.190×10^{-6} SI와 3.504×10^{-6} SI를 가져 모두 I-형과 자철석계열에, 그리고 여러 암석화학적 관계 등에서 모두 I-형에 도식된다. 대자율에 대한 지화학적 요소 및 모우드 변화 등으로 미루어 분화가 진행될수록 전철성분은 감소하나 그 중에 자성광물의 함량은 다소 증가된 것으로 보인다. 그리고 대자율은 상자성 광물보다 강자성광물인 불투명광물 등에 의하여 증가되는 것으로 해석된다.

핵심어: 진안, 백악기, 홍색 화강암류, 물성, 대자율, 자철석계열.

Abstract: The Cretaceous pink granites of the Jinan area, southwestern Ogcheon belt, are adjacently developed in the eastern part (Keg) and western part (Kwg) as stocks, respectively. Keg of rounded shape occur as mainly medium-coarse grained rocks, whereas Kwg of ellipsoidal shape occurs as medium-coarse grained ones with partly porphyritic and fine-grained textures. Mirolitic cavities of them are often seen and can be observed more frequently in Kwg than Keg. Rose and counter fracture diagrams of the two granites show that Keg and Kwg have more potentiality of non-dimension and dimension to non-dimension stones, respectively. Physical properties such as porosity and absorption ratio have 0.25% and 0.65%, and 0.43% and 1.11%, respectively, which could suggest that emissions of gas phase at later magma stages are abundant in Kwg than those of Keg. From the major and trace elements petrochemistry, they belong to acidic, peraluminous and calc-alkaline rocks, showing that Kwg are later product than Keg of the same granitic parent magma. REE concentrations normalized to chondrite value have trends of gradual and parallel enriched LREE and depleted HREE. Eu negative anomalies of Kwg are far more severe than those of Keg, which suggest that plagioclase fractionation in Kwg was much stronger than that of Keg. In the magnetic susceptibility vs. petrochemical and modal parameters, they all belong to magnetite-series and I-

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

types, and can be classified as weakly-moderately ferromagnetic rocks. And the above relations could suggest that their susceptibility values are more mainly depended on ferromagnetic opaques than ferromagnetic and paramagnetic assemblages (Bt + Ch + Ser + Op).

Key words: Jinan, Cretaceous, pink granites, physical properties, magnetic susceptibility, magnetite-series.

서 언

연구대상인 백악기의 홍색 화강암류는 진안지역의 동부와 서부에서 각각 암주상을 이루며 인접하여 발달한다. 이 암류는 1/5만 도폭을 기준으로 용담도폭(김정환과 이인기, 1973)이 대부분을 차지하며, 이는 북쪽의 금산도폭(홍승호와 최위찬, 1978), 동쪽의 무주도폭(홍승호 외, 1980)과 장기리도폭(이대성과 남기상, 1969)으로 그 일부가 연장된다. 행정구역상으로는 전북 진안군 주천면과 용담면, 완주군 동상면의 대부분, 그리고 충남 금산군 남일면과 남이면의 일부가 해당한다.

이 곳과 관련된 연구로는 화강암류의 K-Ar 흑운모 연령(김옥준, 1971; 진명식 외, 1994)이 백악기 초기로, 그리고 암석지구화학(진호일 외, 1995) 등이 일부 보고된 바 있으나 암체 전반에 걸친 연구는 수행된 바 없다.

연구의 주요 목적은 인접하여 분포하는 백악기 홍색 화강암류의 산출상, 암석화학적 선후관계, 공동구조 그리고 암석화학 및 물성상의 여러 특성차이를 밝히는 것이다. 이를 수행하기 위하여 전반적인 야외조사로 대상 화강암체에 수반된 공동구조의 산출정도를 비교하여 보았다. 광물학적 특성을 알기 위하여 가장 신선한 부위의 암석시료를 선별채취하여 경하관찰 및 모우드 분석을 실시하여 암석명과 변화정도를 비교하여 보았다. 그리고 유사한 암상을 이루는 두 암체 내 암반을 대상으로 열극을 측정하여 발달양상의 차이를 비교하였다.

주원소와 미량원소의 암석화학적 연구를 통하여 두 암체의 선후관계를 해석하였다. 그리고 대표적 시료의 희토류원소를 분석하여 경희토류에서 중희토류 원소의 변화상에 따른 두 암체의 분별결정작용 차이를 비교하였다. 또한 두 암체의 공동구조의 차이를 알기 위해 비중, 흡수율 공극률 등의 정량적 시험으로 마그마형성 당시의 기상성분의 함유정도를 비교하여 보았다. 그리고 중량대자율을 측정하여 이들과 암석화학성분 그리고 자성광물과의 상관성 등을 통하여 성인적 분류 등을 시도하였다.

일반지질

이곳의 주요 구성암은 선캠브리아기의 변성퇴적암류,

쥬라기의 흑운모 화강암, 백악기의 퇴적암류와 화산암류, 홍색 화강암류, 그리고 미문상 반암, 규장암과 암맥류이다(Fig. 1).

변성퇴적암류는 용포리층으로서 이곳의 남동부일대에 분포한다. 이 층은 흑운모 편암, 장석 편암, 규암과 변질 석회암 등으로 구성된다(김정환과 이인기, 1973; 이대성과 남기상, 1969). 용담면 옥거리에서는 이질층과 사질층이 호층을 이룬 슬레이트와 석영장석질부가 협재된 흑운모 편암 등으로 구성되며 백악기 담홍색 화강암의 접촉부에서는 전단대를 이루기도 한다. 용담면 송풍리에서는 암회색의 흑운모 편암과 견운모 편암이 발달하며, 전자에서는 유백색 규암, 담황색 석회암 그리고 간혹 렌즈상의 석탄박층이 수 cm 폭으로 협재되기도 한다.

쥬라기 흑운모 화강암은 연구지역의 북동부인 금산군 남이면의 용암리-흑암리와 남일면의 음대리-덕천리 일대에 분포한다. 이 암은 회색을 띠는 중립질암으로서 일부에서는 엽리구조와 반정질을 이룬다. 곳에 따라 변성퇴적암류, 화강암질 편마암류 및 염기성암류의 포획체를 가진다. 후술할 백악기의 홍색 화강암류와 차별적인 암상을 이루고 입도가 감소하며 흑운모 함량이 뚜렷이 증가한다.

남일면의 용덕리 고개에서는 엽리구조와 녹리석화 등의 변질작용이 뚜렷이 수반되며, 곳에 따라 백악기의 홍색 화강암의 지맥이 암맥상으로 발달한다. 또한 수십 cm 크기의 흑운모 편암류 포획체가 저각도를 이루며 자주 함유된다. 연구지역의 동부인 신정리 동측에서는 부분적으로 반정과 엽리구조가 발달한다. 이들 반정은 회색을 띠는 장석류로서 엽리방향을 따라서 나란히 배열되는 경향을 이루기도 한다. 또한 엽리방향을 따라 염기성 포획암(mafic enclave)이 수 cm 길이와 수 mm 폭으로 함유되기도 한다. 이 화강암의 Rb-Sr 전암연령과 초생비는 각각 쥬라기 초인 184 ± 21 Ma와 0.718(진호일 외, 1995)로 연구보고된 바 있다.

백악기의 퇴적암류는 역암, 역질사암, 알코스 사암과 흑색 셰일 등으로 구성된다. 이 암류는 소규모로 분포하고 대부분 중성 및 산성 화산암류에 관입된 포획암체로 발달하며 거의 혼펠스화 된다(김정환과 이인기, 1973). 백악기 화산암류는 중성과 산성암류로 구성되며 전자는 서부인 신일리 일대에서 소규모로 분포하며

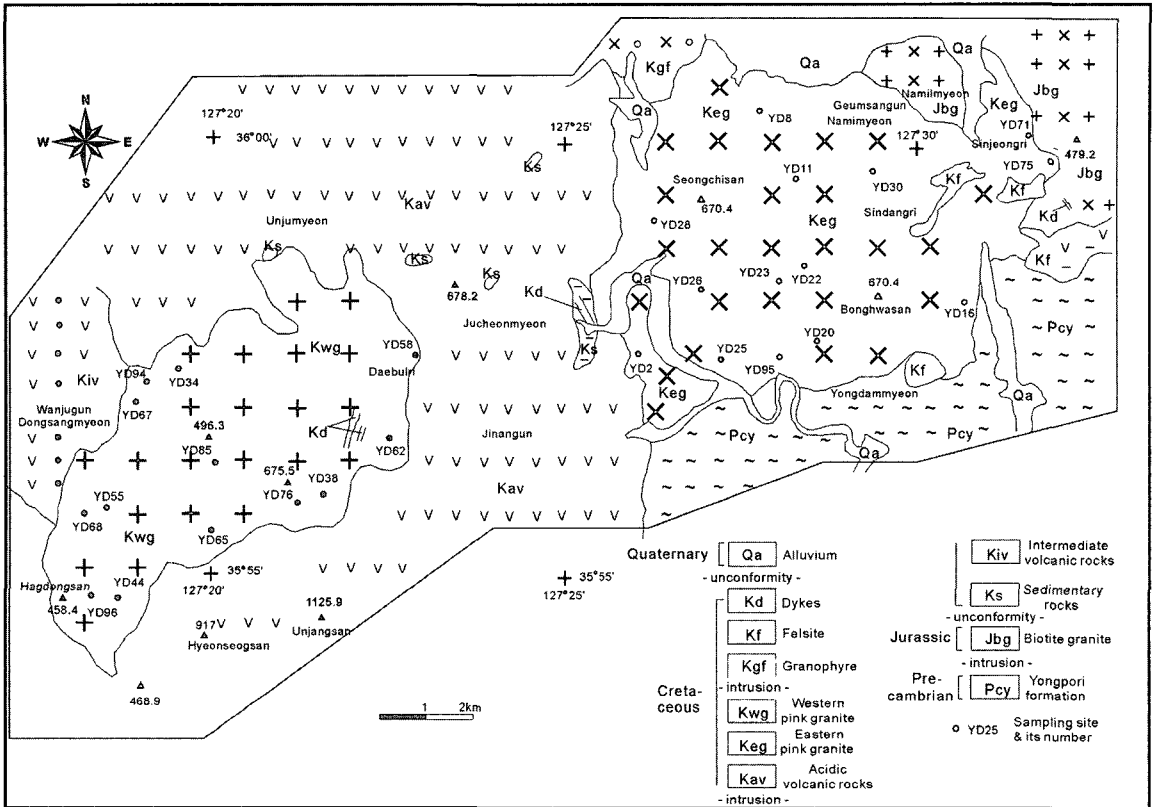


Fig. 1. Geologic map and sampling sites of the Jinan area.

안산암, 각력질 안산암, 석영안산암 및 유문암질 석영 안산암 등으로 구성된다. 후자는 전자와는 점이적인 관계를 이루며 추천면과 운주면 일대에 넓게 분포하며 명덕봉과 운장산 등의 높고 험준한 산세를 이룬다. 용담도쪽에서는 유문암질 석영안산암, 석영안산암, 석영 반암, 화강반암과 유문암 등으로, 금산도쪽에서는 유문 암질 응회암, 유문암질 석영안산암과 유문암 등으로 구성된다.

백악기 홍색 화강암류는 이 연구의 주요 대상암으로서 이곳의 동부와 서부에서 각각 암주상을 이루며 인접하여 분포한다. 이들 암류에 대해서는 다음 장에서 상세하게 논한다.

미문상 반암은 연구지역의 북부에 소규모로 분포하는 담황색, 홍색, 담회색을 띠는 세립질암으로 간혹 반정질을 이룬다(홍승호와 최위찬, 1978). 규장암은 연구 지역 동부에서 소규모의 대상암체를 이루며 선크브리아기의 용포리층과 백악기 홍색 화강암류를 관입한다. 이 암은 대부분 담회색 비형정질암으로서 간혹 장식반정과 석영의 취반상구조가 발달한다. 암맥류는 산성과

염기성암으로서 전자는 도처에서 산출되며, 후자는 국부적으로 발달한다.

홍색 화강암류의 암석기재 및 광물조성

암석기재

홍색 화강암류 중에서 동부 화강암은 장경과 단경이 11 km와 9 km의 크기의 원형에 가까운 암체로서 중-조립질이 우세하며, 서부암체보다 미세 공동구조(miarolitic texture)의 크기와 산출빈도수가 감소되는 경향을 뚜렷이 가진다. 서부 화강암은 장경과 단경이 11 km와 6 km을 이루는 타원형의 암체로서 부분적으로 반정질 및 세립화되기도 하나 전반적으로 중-조립질이 우세한 편이다.

이들 암체에는 염기성 포획체가 수 cm의 크기로 간혹 발달한다. 그리고 페그마타이트 또는 페그마타이트와 애플라이트의 복합체가 포켓상으로 종종 산출된다. 간혹 발달되는 단층구조는 대체로 남북향을 이루며, 서부암체의 일부에서는 약 3 m 폭의 단층각력대가 발달

Table 1. Modes of the Cretaceous pink granites in the Jinan area.

Sp.no	Qz	Pl	Af	Sr	Bt	Ch	Cal	Ap	Sp	Zr	All	Op	Remark
YD8	42.6	21.2	34.2	tr	2.0	0.1	-	tr	-	tr	tr	tr	Keg
YD11	45.9	21.9	27.2	-	4.8	-	-	tr	-	tr	tr	0.2	Keg
YD16	36.1	24.9	35.8	tr	2.9	-	-	tr	tr	tr	0.1	0.2	Keg
YD23	42.7	23.1	32.2	0.2	1.6	0.2	0.1	-	tr	tr	tr	tr	Keg
YD25	34.6	22.0	37.7	-	5.3	0.1	-	tr	-	0.1	tr	0.2	Keg
YD28	41.2	24.2	31.0	-	3.4	tr	-	-	-	tr	0.2	tr	Keg
YD30	50.9	23.4	19.5	tr	6.0	-	-	tr	-	tr	0.1	0.1	Keg
YD71	48.9	26.5	23.7	tr	0.7	tr	-	-	-	-	-	0.2	Keg
YD95	55.5	17.5	23.1	-	3.5	tr	-	-	-	tr	0.3	0.1	Keg
YD34	32.0	12.0	54.4	tr	1.0	-	-	-	-	tr	tr	0.3	Kwg
YD38	40.3	19.8	37.9	-	1.9	0.1	-	tr	-	tr	-	tr	Kwg
YD44	38.0	11.6	49.2	tr	1.0	-	-	-	-	-	tr	0.2	Kwg
YD58	37.7	18.6	41.8	tr	1.3	-	-	-	-	tr	-	0.4	Kwg
YD62	44.2	14.6	39.8	tr	1.0	-	-	tr	-	tr	-	0.3	Kwg
YD65	39.2	13.9	44.8	0.1	2.0	0.1	-	-	-	tr	tr	0.1	Kwg
YD68	38.6	15.8	42.9	tr	2.5	-	-	-	-	tr	-	0.1	Kwg
YD76	45.9	18.1	34.9	tr	1.1	-	-	tr	-	tr	-	tr	Kwg
YD94	32.5	22.4	41.8	tr	2.8	-	-	tr	-	tr	tr	0.5	Kwg

Qz: quartz, Pl: plagioclase, Af: alkali feldspar, Sr: sericite, Bt: biotite, Ch: chlorite, Cal: calcite, Ap: apatite, Sp: sphene, Zr: zircon, All: allanite, Op: opaque, tr: trace. Keg and Kwg are the eastern and western pink granites, respectively.

되기도 한다.

이들 암체에 종종 발달하는 공동구조는 산점상 또는 수십 cm 크기로 발달하며 전술된 바와 같이 그 산출 크기와 빈도수가 동부보다 서부암체에서 뚜렷이 증가한다. 공동 내에는 종종 자형을 이룬 석영과 장석결정이 수반되며, 이들은 공동의 벽에 수직으로 발달한다. 이러한 공동구조는 보통 천부 화강암에 수반되며 마그마의 결정작용의 매우 후기단계에 농집되는 기상에 의해 생성된다(Carmichael *et al.*, 1974; Hyndman, 1985).

서부 화강암의 K-Ar 연령은 흑운모와 알칼리장석은 각각 109와 85 Ma로 보고된 바 있다(김옥준, 1971). 이로 미루어 서부 화강암과 거의 같은 암색, 암질, 구성 광물 및 산상을 이루는 동부 화강암도 같은 백악기의 암체로 해석된다.

한편 이 곳 화강암류의 부분적인 연구(진호일 외, 1995)에서 서부 화강암의 Rb-Sr 전암연령이 59.0 ± 7.9 Ma로 보고되고 있다. 이는 전술한 K-Ar 흑운모 연령과는 큰 차이를 가지는 것으로 이에 대해서는 다음의 두 가능성이 제시될 수 있다. 즉 Rb-Sr 등시선상의 해석오류이거나 시료채취상의 문제이다. 전자의 경우로 진호일 외(1995)는 이상적인 등시선을 얻지는 못하였다고 보고하였다. 후자의 경우로 채취된 시료가 서부

화강암을 관입한 홍색의 애플라이트질 암맥일 가능성이 있다. 이 곳 일대에서는 상기된 바와 같이 홍색의 애플라이트나 페그마타이트 또는 이들의 복합맥이 자주 수반되며, 이들은 다소 큰 폭을 이루기도 한다.

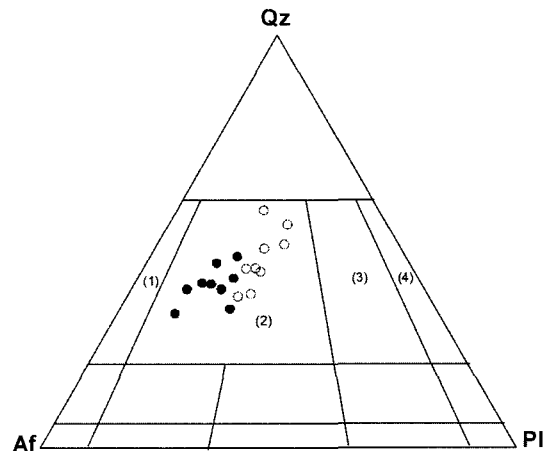


Fig. 2. Modal QAP diagram of the Cretaceous pink granites. Open and full circles are the eastern and western pink granites, respectively. (1): alkali feldspar granite, (2): granite (monzo-syenite), (3): granodiorite, (4): tonalite.

광물조성

동부와 서부 화강암은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 견운모, 인회석, 스피넬, 저어콘, 갈렙석과 불투명 광물 등으로 구성되어 거의 같은 광물조성을 이룬다 (Table 1).

동부와 서부 화강암의 모우드 값은 석영 34.6-55.5%와 32.0-45.9%, 사장석 17.5-26.5%와 11.6-22.4%, 알칼리장석 19.5-37.7%와 34.9-54.4%를 각각 가져 그 값이 석영과 알칼리장석에서 다소 뚜렷한 차이를 보인다. 또한 이들은 QAP(석영-알칼리장석-사장석) 삼각도에서 대부분 몬조화강암과 섬장화강암에 각각 도시된다(Fig. 2).

구성광물 중에서 석영은 대부분 파상소광을 이루나, 동부에서는 줄무늬소광이 종종 수반되어 부분적으로 미약한 변형작용을 받은 것으로 해석된다. 알칼리장석은 페르다이트와 일부 미페르다이트로 구성되며 부분적으로 칼스바드 쌍정을 이루며, 동부암체에서는 간혹 장

경과 단경이 9 mm와 6 mm에 이르는 반정을 이루기도 한다. 동부암체에서는 미립질의 석영이 페르다이트의 간극 광물(interstitial mineral)로 발달되기도 한다. 사장석은 알바이트와 칼스바드-알바이트 쌍정을 이루며, 일부에서는 페리크린 쌍정과 미약하게 만곡된 쪼개짐이 발달되기도 한다.

흑운모는 각각 0.7-6.0(평균 3.4)%와 1.0-2.8(평균 1.6)%을 가져 동부암체에서 그 값이 다소 증가한다. 이 광물은 담갈색-암갈색, 녹색을 띠며 부분적으로 변질되어 녹리석화 되기도 한다. 또한 부분적으로 미약하게 만곡된 쪼개짐선이 발달한다. 국부적으로 동부화강암에 수반되는 방해석은 장/단경이 2/1 mm 정도의 크기로 발달한다. 이는 미세공동 내에 이차적으로 충전된 것으로 해석된다. 미립의 견운모는 대부분 석영이나 사장석 내에 미립으로 함유되나, 일부는 이들 결정 사이에 발달한다.

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

	YD8	YD11	YD16	YD20	YD23	YD25	YD28	YD30	YD71
SiO ₂	73.30	74.02	73.46	73.10	73.25	72.50	73.19	74.05	75.84
TiO ₂	0.17	0.16	0.14	0.16	0.20	0.21	0.19	0.17	0.06
Al ₂ O ₃	13.83	13.62	14.08	14.10	13.78	14.12	13.63	13.49	13.17
Fe ₂ O ₃	0.83	0.84	1.00	0.67	0.90	1.15	0.85	0.92	0.63
FeO	0.99	0.76	0.61	1.06	1.14	0.91	1.07	0.84	0.30
MnO	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
MgO	0.14	0.12	0.09	0.12	0.16	0.18	0.14	0.13	0.01
CaO	0.82	0.71	0.82	0.93	1.03	1.13	1.01	1.01	0.45
Na ₂ O	3.56	3.24	3.81	3.60	3.44	3.53	3.36	3.49	3.99
K ₂ O	5.36	5.84	5.23	5.51	5.40	5.43	5.54	5.02	4.80
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01
LOI	0.56	0.32	0.34	0.32	0.21	0.28	0.62	0.54	0.47
Sum	99.65	99.74	99.66	99.66	99.60	99.54	99.68	99.75	99.79
Ba	584	777	441	617	714	839	656	531	49
Be	1.3	<1	1.7	1	1	1.5	<1	<1	<1
Co	<1	<1	<1	<1	1.2	1.2	<1	<1	<1
Cr	6	6.4	13	7.6	7.4	8.2	4.50	11	12
Ni	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	92	108	67	87	103	120	110	90	14
Rb	229	216	267	219	210	229	185	197	313
V	4.1	4.2	4.1	4.5	4.9	4.9	5	4.6	2.8
Nb	17	16	24	20	21	21	16	14	26
Zr	35	25	52	36	33	31	26	27	62
Li	6.7	7.3	8.2	18	22	24	6.2	20	11
Sc	3	2.9	3	3.3	3.7	4	3.5	3.1	1.1
Y	13	14	20	18	16	19	14	10	19
Th	17.3	18.7	20.4	25.9	19.7	20.5	24.6	19.5	25.8
U	2.82	3.01	3.89	3.38	2.89	2.47	2.91	2.69	5.51
Remark	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg

Table 2. (continued).

	YD75	YD34	YD44	YD58	YD62	YD65	YD67	YD68	YD76
SiO ₂	75.83	75.97	76.01	76.85	76.42	75.46	75.85	75.86	75.93
TiO ₂	0.06	0.11	0.10	0.09	0.40	0.11	0.11	0.10	0.12
Al ₂ O ₃	13.11	12.77	12.82	12.52	12.58	13.03	12.93	12.82	12.75
Fe ₂ O ₃	0.52	0.56	0.74	0.58	0.46	0.71	0.77	0.73	0.72
FeO	0.30	0.69	0.38	0.45	0.46	0.53	0.38	0.46	0.61
MnO	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05
MgO	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.04
CaO	0.57	0.57	0.50	0.34	0.45	0.43	0.55	0.52	0.53
Na ₂ O	4.19	3.75	3.86	3.77	3.97	3.83	3.82	3.80	3.89
K ₂ O	4.56	4.87	4.83	4.83	4.70	5.03	4.86	4.91	4.67
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	0.62	0.35	0.45	0.29	0.35	0.59	0.41	0.46	0.47
Sum	99.85	99.74	99.76	99.77	99.84	99.83	99.77	99.74	99.79
Ba	29	99	89	45	42	102	91	95	93
Be	2.1	1.5	<1	1.1	1.1	<1	<1	<1	<1
Co	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cr	12	6.7	8.8	9	17	12	8.9	5.6	6.7
Ni	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	13	18	16	5.6	8.1	17	16	16	17
Rb	363	206	199	203	220	212	186	220	199
V	2.3	2.7	2.8	2.2	2.5	3.5	3.4	3.4	3.8
Nb	27	12	11	21	23	15	16	19	17
Zr	68	40	40	56	65	56	47	52	49
Li	8.2	18	7.4	7.5	5.9	5.5	8.2	18	9.5
Sc	1.8	1.7	1.8	1.6	1.8	1.8	1.5	1.8	1.9
Y	50	13	14	9	21	9.3	13	14	15
Th	24	18.3	16	21	18	22.9	18.9	21.3	18
U	15.1	3.39	2.38	4.02	4.1	4.69	3.07	3.53	2.29
Remark	Keg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg

Sample number and abbreviation are the same as in Fig. 1 and Table 1.

인회석은 타형-자형을 이루며 흑운모 내에 미립으로 함유된다. 스피넬은 동부암체에서 부분적으로 함유되며 반자형-자형의 미립으로 발달한다. 저어콘은 미립질로서 간혹 평행소광을 이루고, 대부분 흑운모 내에 함유되며 종종 색흔이 수반된다. 갈럼석은 담갈색-암갈색을 띠며 부분적으로 누대구조를 이루며, 최대 장/단경이 0.7/0.2 mm 정도의 크기를 이루기도 한다. 불투명광물은 간혹 집괴상을 이루기도 하나 거의가 타형으로 산출된다.

암석화학적 특성

화학적 성분 중에서 주원소는 SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ 및

LOI 등이 분석되었다. 이 중에서 FeO는 습식법 그리고 나머지 성분은 XRF로 분석되었다. 미량원소 성분은 Ba, Sr, Rb, Li, Nb, Sc, Co, Cr, Ni, Be, V, Y, Zr 등이 분석되었다. 이 중에서 Rb은 INAA(HANARO) 그리고 나머지 성분은 ICP-AES(Labtest 3000)로 분석되었다. 그리고 희토류원소는 ICP-MS로 분석되었다.

주원소 성분

동부와 서부 화강암류는 다음과 같은 암석화학적 특성을 가진다(Table 2; Fig. 3). SiO₂는 각각 72.5-75.84(평균 73.85)wt.%와 75.46-76.85(평균 76.04)wt.%의 함량을 가져 모두 산성암에 해당하며, 후자에서 그 함량이 약간 증가한다. TiO₂는 각각 0.06-0.21(평균 0.15)wt.%와 0.09-0.4(평균 0.14)wt.%로서 거의 비슷한 함량

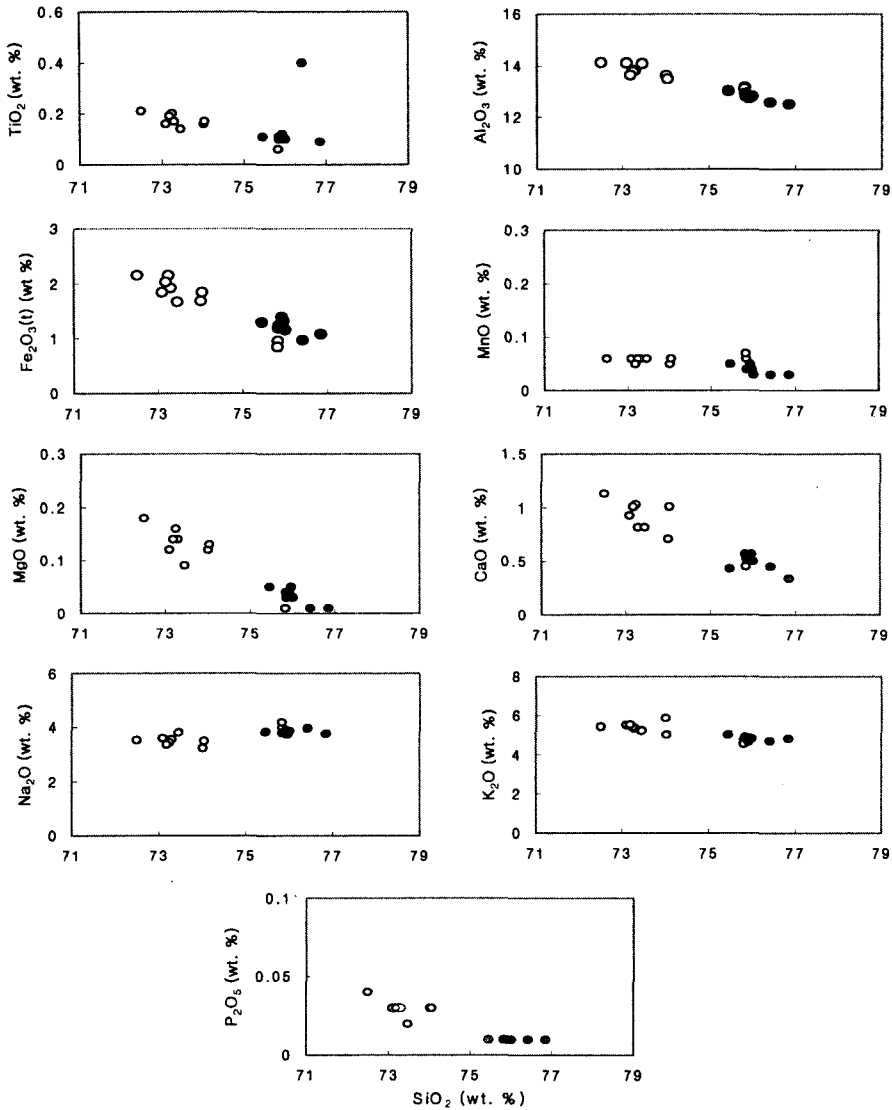


Fig. 3. Major oxides vs. silica of the granites. Symbols are the same same as in Fig. 2.

을 가진다. Al_2O_3 는 각각 13.11-14.12(평균 13.69)wt.%와 12.52-13.03(평균 12.78)wt.%로서 전자에서 그 함량이 약간 증가한다.

알루미나 포화지수($ASI = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ 의 몰비)는 각각 1.02-1.05(평균 1.04)와 1.01-1.04(평균 1.03)로서 거의 비슷한 값을 가지며 모두 과알루미나질에 해당한다. 한편 진호일 외(1995)의 서부 화강암(시료 번호 23, 24, 25, 26)에서 계산된 ASI는 1.12-1.46로 계산된다. 이러한 지수값의 큰 증가로 미루어 전술된 바와 같이 진호일 외(1995)가 분석한 시료는 홍색의 에

플라이트나 페그마타이트질 암맥일 가능성을 제시할 수 있다.

$Fe_2O_3(t)$ 는 각각 0.85-2.15(평균 1.71)wt.%와 0.97-1.39(평균 1.21)wt.%의 값을, 그리고 CaO는 각각 0.45-1.13(평균 0.85)wt.%와 0.34-0.57(평균 0.49)wt.%의 값을 가져 동부화강암에서 그 함량이 크게 증가한다. Na_2O 는 각각 3.24-4.19(평균 3.61)wt.%와 3.75-3.97(평균 3.84)wt.%, 그리고 K_2O 는 4.56-5.87(평균 5.27)wt.%와 4.67-5.03(평균 4.84)wt.%를 가져 그 함량이 Na_2O 는 서부에서, 그리고 K_2O 는 동부에서 약간씩 증가한다.

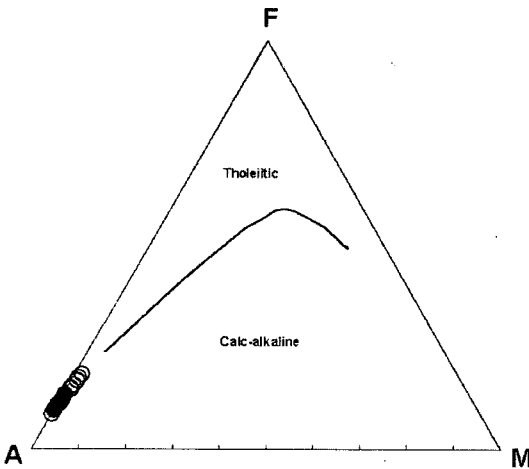


Fig. 4. MI ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$) diagram of the granites. Symbols are the same same as in Fig. 2.

이들 화강암류는 SiO_2 대 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)의 관계에서 모두가 서브알칼리 계열에 속한다. 그리고 AFM($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$) 삼각도에서 켈크-알칼리 계열에 해당하며 대부분 서부 화강암체가 더 분화된 경향을 뚜렷이 보인다(Fig. 4). MgO 는 0.11wt.%와 0.03wt.%, MnO 는 0.06wt.%와 0.04wt.%, P_2O_5 는 0.03wt.%과 0.01wt.%을 각각 가져 그 함량이 모두 후자에서 약간씩 감소한다.

이들 화강암류는 SiO_2 의 함량증가에 따라 TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$, MnO , MgO , CaO 와 P_2O_5 는 뚜렷한 부의, 그리고 알칼리 원소인 Na_2O 와 K_2O 는 각각 완만한 정과 부의 경향을 이룬다(Fig. 3). 이들의 중간은 약간의 불연속구간을 이루며 모두 뚜렷한 한 개의 선상에 놓인다. 이러한 불연속구간은 두개의 화강암질 마그마 관입정치에서 휴식기를 가진 것으로 해석된다. 이러한 주원소성분의 함량차이, 변화도 그리고 AFM 관계도 등으로 미루어 이들은 동일 화강암질 마그마에서 기원한 암체들로서 서부가 동부 화강암보다 보다 후에 관입 및 분화된 암체로 해석된다.

이는 동부 화강암의 흑운모 연령(K-Ar 법)이 135.1 ± 2.1 Ma(진명식 외, 1994)라는 연구보고와도 잘 일치한다. 이들 두 암체는 모두 백악기 초기에 해당하는 화성활동 산물이다.

미량 및 희토류원소 성분

미량원소의 암석화학적 주요 특성은 다음과 같다(Table 2; Fig. 5). Ba은 각각 524 ppm과 82 ppm의 함량을 가져 동부화강암에서 그 값이 크게 증가하며, 이

는 흑운모의 증가로 해석된다. 흑운모의 모우드 값은 동부가 서부 화강암보다 두 배 이상 증가한다(Table 1). 양이온 중에서 K만을 치환하는 Ba은 흑운모내 포획되는 것으로 연구보고되고 있다(Taylor, 1965; Mason and Moore, 1982).

Sr은 각각 80 ppm과 14 ppm의 함량을 가져 전자에서 그 값이 크게 증가한다. 이는 Sr이 알칼리 장석보다 사장석에 보다 더 허용된 것으로 해석된다(Mason and Moore, 1982). 사장석은 동부암체에서, 알칼리 장석은 서부암체에서 그 모우드 값이 뚜렷이 증가한다(Table 1). Rb은 각각 243 ppm과 206 ppm을 가져 그 함량이 전자에서 다소 증가하며, 이는 자체 광물이 없는 Rb이 알칼리 장석보다 흑운모 등의 K 광물에 더 수반되었기 때문으로 해석된다(Mason and Moore, 1982).

한편 Ba 대 Rb의 관계는 미약한 부의 경향을, 그리고 Ba 대 Sr의 관계는 뚜렷한 정의 경향을 이룬다(Fig. 6). 이런 변화관계 등으로 미루어 분화작용이 진행됨에 따라 잔류 마그마중에 Ba과 Sr은 소진되나 Rb은 별다른 변화경향을 보이지 않는 것으로 해석된다. Rb-Ba-Sr의 관계는 한 개의 선상에 놓이며 대부분 동부보다 서부암체가 더 분화된 경향을 뚜렷이 이룬다.

Th은 동부와 서부가 각각 22 ppm과 19 ppm, 그리고 U은 각각 4 ppm과 3 ppm을 가져, 화강암류내 Th 17 ppm과 U 4.8 ppm(Taylor, 1965)과 비슷한 함량을 가진다. 이와 달리 Zr은 각각 40 ppm과 51 ppm을 가져, Taylor(1965)에 의한 180 ppm보다 그 함량이 크게 감소한다. 이는 동부와 서부 화강암류에서 저어콘이 거의 대부분 흔적(Table 1)으로만 산출되기 때문으로 해석된다.

이들 원소는 SiO_2 의 함량증가에 따라 Ba과 Sr은 뚜렷한 부의 경향을 이룬다(Fig. 7). V, Li과 Sc은 모두 부의 경향을 이루며, Zr과 U은 각각 뚜렷하고 완만한 정의 경향을 이룬다. Rb과 Y과 Th은 모두 별다른 변화경향을 보이지 않으며, Cr과 Nb은 분산된 양상을 이룬다.

이들 암류는 희토류원소(REE) 함량을 콘드리이트로 표준화(Taylor and McLennan, 1985)한 변화도에서 경희토류 원소에서 중희토류 원소로 갈수록 서서히 결핍되는 경향을 보인다(Table 3; Fig. 7). Eu의 부 이상은 동부와 서부 화강암이 각각 약과 강의 경향을 이루나 서부 화강암에서 보다 더 뚜렷이 감소한다. 이로 미루어 사장석의 분별결정작용이 동부보다 서부 화강암에서 더 심하게 일어난 것으로 해석된다. 이는 전술한 Ba 대 Sr의 관계(Fig. 6)에서도 잘 반영되며, 옥천대내의 백악기 화강암류는 약-강의 Eu 부 이상(Jwa, 2002)를 이룬다는 연구결과와도 잘 일치한다.

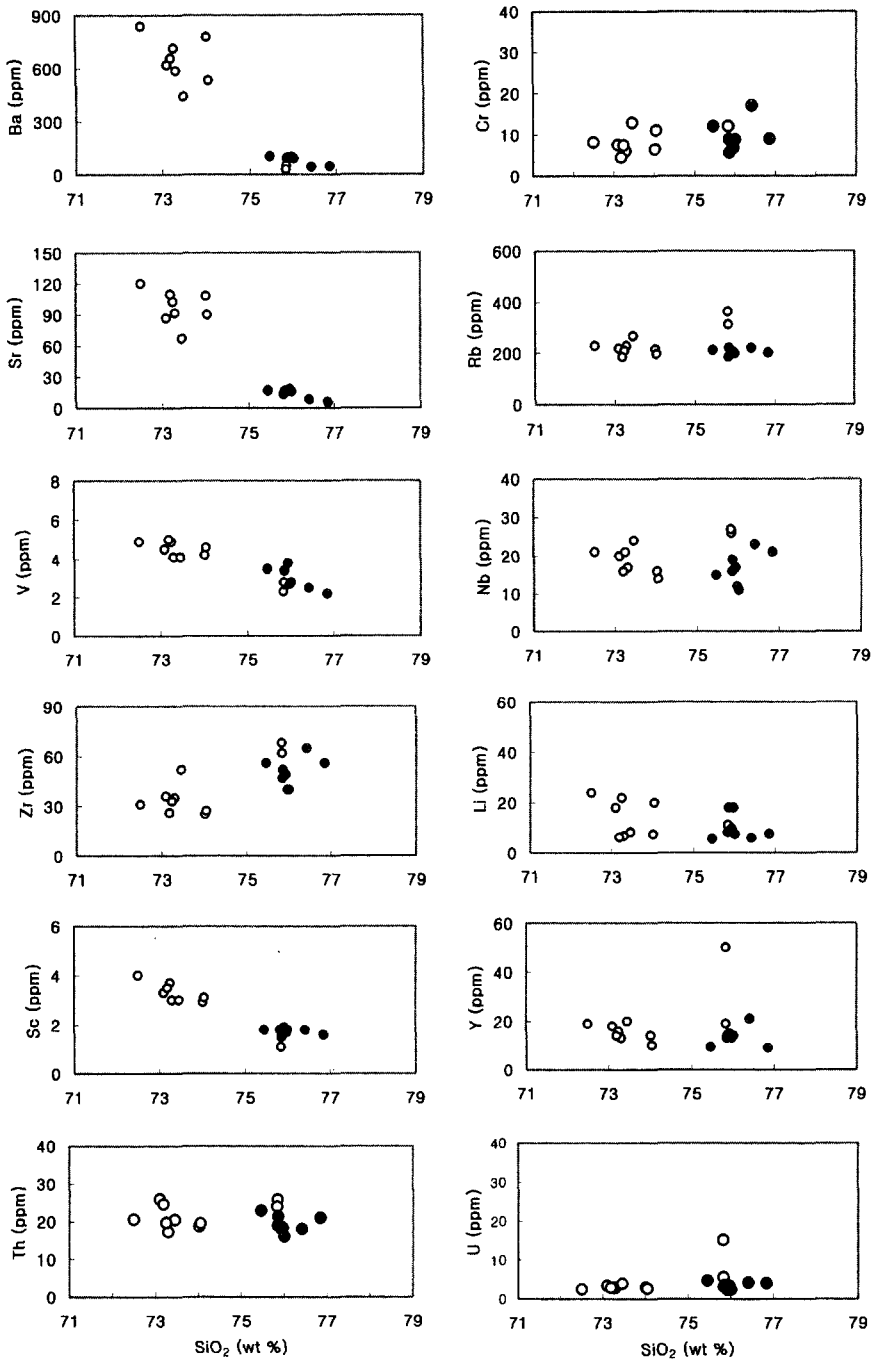


Fig. 5. Trace elements vs. silica of the granites. Symbols are the same as in Fig. 2.

대자율과 암석화학적 요소

동부와 서부 화강암류에서 측정된 중량대자율(Bar-

tington MS 2)은 박편제작 및 분석용 시료와 동일한 시편을 사용하였다. 이들 대자율에 의한 암석분류, 그리고 암석화학 및 광물조성의 상관성은 다음의 특징을

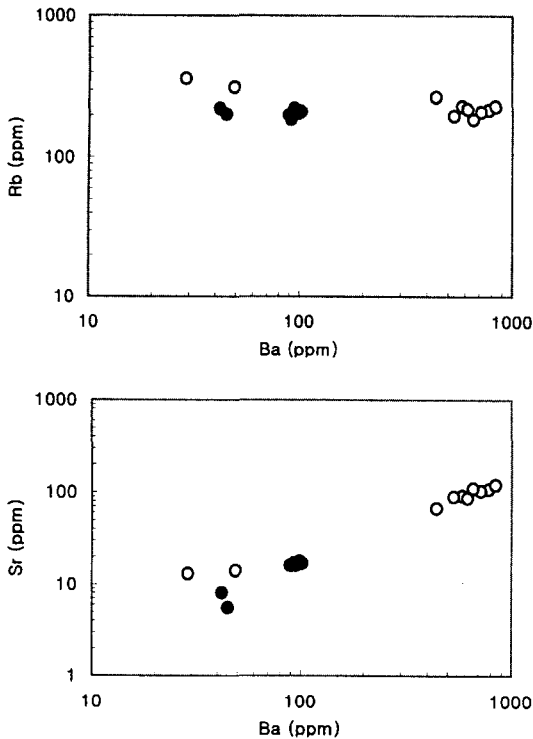


Fig. 6. Variation diagram of Ba vs. Rb and Ba vs. Sr of the granites. Symbols are the same as in Fig. 2.

가진다.

대자율은 동부와 서부 화강암류가 각각 2,218-5,300 (평균 3.190) × 10⁻⁶ SI와 569-5,452 (평균 3,504) × 10⁻⁶ SI의 값을 가져 후자에서 그 평균값이 다소 증가한다 (Table 4). Fe³/(Fe³ + Fe²)는 각각 0.38-0.67 (평균 0.52)과 0.44-0.66 (평균 0.56)로서 전반적으로 서부가 동부보다 약간 증가하며, 모두 자철석계열에 해당한다. 이로 미루어 동부 화강암류는 그 동측주변에 분포하는 용포리 층내 국부적으로 협재되는 석회암과 석탄박층에 의한 환원작용의 영향이 극히 미약하였을 것으로 해석된다. 그리고 이들 값은 일본 자철석계열 화강암의 Fe³/(Fe³ + Fe²) 0.48 (Ishihara, 1977)보다 다소 증가하며, 호주 남서부 란쉬탄 슬굽대 I형 화강암류 (Whalen and Chappell, 1988)보다 그 값이 크게 증가하는 편이다.

Jin *et al.* (2001)은 남한 화강암류의 대자율연구에서 옥천대내 백악기 화강암류는 대부분 낮은 대자율 값을 가지며, 이는 주변암이 고생대 탄산염암층이거나 후기 마그마시기에 산화작용으로 자철석이 적철석화된 때문이라는 두 개의 가능성을 제시한 바 있다. 그 밖에 두 화강암체 형성시의 산소분압 및 온도에 의한 것 (Clark, 1999)으로 해석될 수 있다. 그러나 대자율 평균값으로

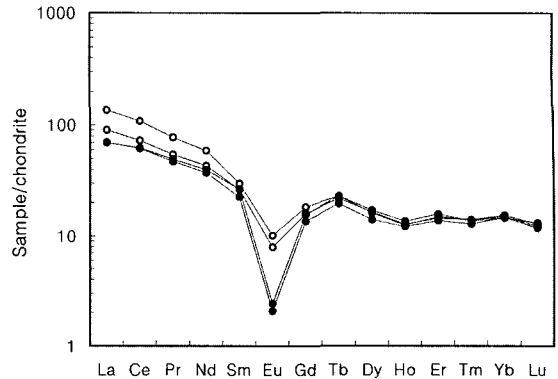


Fig. 7. REE patterns normalized to chondrite value of the granites. Symbols are the same as in Fig. 2.

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

	YD11	YD16	YD34	YD44
La	50.10	33.30	25.70	25.90
Ce	104.00	69.90	60.00	59.00
Pr	10.70	7.48	6.74	6.47
Nd	42.10	30.70	28.40	26.60
Sm	6.90	6.08	6.14	5.21
Eu	0.88	0.69	0.21	0.18
Gd	5.60	4.90	4.79	4.19
Tb	1.33	1.27	1.33	1.14
Dy	5.53	5.65	5.85	4.83
Ho	1.07	1.09	1.16	1.04
Er	36.73	3.61	3.94	3.45
Tm	0.50	0.50	0.49	0.46
Yb	3.83	3.72	3.62	3.68
Lu	0.46	0.47	0.50	0.45
Remark	Keg	Keg	Kwg	Kwg

Sample number and abbreviation are the same as in Table 1.

미루어 이들 두 화강암에서는 자철석과 적철석이 비슷한 비율로 공존할 것으로 해석된다. 캘리포니아저반에서는 주변 흑연질 이암의 강력한 오염작용의 영향으로 인하여 I-형의 토날라이트가 티탄철석 계열로 환원되었다고 연구보고된 바도 있다 (Argue and Brimhall, 1988). 이에 대해서는 고지자기 및 EPMA 등의 광물화학 연구가 더 요구된다.

이들 화강암류의 대자율 범위값은 거의가 I-형과 티탄철석-자철석계열에, 평균값은 모두 I-형과 자철석계열에 해당한다. I-형은 거의가 모두 2,000 × 10⁻⁶ SI 이상 (Blevin, 1994, 1996)의 값을, 자철석계열은 1,256 × 10⁻⁶ SI 이상 (Takahashi *et al.*, 1980)의 값을 가진다고

Table 4. Magnetic susceptibility and geochemical parameters of the granites.

	YD8	YD11	YD16	YD20	YD23	YD25	YD28	YD30	YD71
SiO ₂	73.30	74.02	73.46	73.10	73.25	72.50	73.19	74.05	75.84
Fe ₂ O ₃ *	1.93	1.69	1.68	1.85	2.17	2.16	2.04	1.86	0.96
K ₂ O/Na ₂ O	1.51	1.81	1.37	1.53	1.57	1.54	1.65	1.44	1.20
A/CNK	1.05	1.05	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.04	1.05
Fe ³ /(Fe ³ +Fe ²)	0.59	0.63	0.57	0.60	0.60	0.60	0.62	0.58	0.53
M.S**	2.671	2.824	3.296	2.675	2.218	2.315	5.300	2.935	2.451
Remark	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg	Keg

	YD75	YD34	YD44	YD58	YD62	YD65	YD67	YD68	YD76
SiO ₂	75.83	75.97	76.01	76.85	76.42	75.46	75.85	75.86	75.93
Fe ₂ O ₃ *	0.85	1.33	1.16	1.08	0.97	1.30	1.19	1.24	1.40
K ₂ O/Na ₂ O	1.09	1.30	1.25	1.28	1.18	1.31	1.27	1.29	1.20
A/CNK	1.02	1.02	1.03	1.04	1.01	1.04	1.03	1.02	1.03
Fe ³ /(Fe ³ +Fe ²)	0.52	0.56	0.55	0.55	0.54	0.56	0.55	0.56	0.54
M.S**	5.210	4.672	3.452	4.293	5.452	3.588	3.052	0.569	2.952
Remark	Keg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg	Kwg

Sample number and abbreviation are the same as in Table 3. *: Total Fe, A/CNK: molar Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), M.S: magnetic susceptibility (μSI), **: 홍세선 (2004)

보고되고 있다. 그리고 약-중 강자성암(WFM-MFM) (weakly-moderately ferromagnetic)으로 분류될 수 있다. 전자와 후자는 각각 1,260-3,370($\times 10^{-6}$) SI와 3,770-37,770($\times 10^{-6}$) SI(Clark, 1999)의 범위값을 가진다.

한편 이들 화강암류의 대자율 대 SiO₂는 대부분 정의 경향을 이루어 Blevin(1994, 1996)의 연구와 일치하는 양상을 이룬다. 그는 강자성을 띠는 화강암의 대자율은 SiO₂가 72wt%까지 증가함에 따라 대자율은 감소 경향을 보이지만, 그 이상으로 증가하면 대자율은 증가한다고 보고한 바 있다. SiO₂ 대 Fe₂O₃(t)는 뚜렷한 부의 경향(Fig. 3)을, Fe₂O₃(t) 대 대자율은 대부분 부의 경향을 이룬다(Fig. 8). 이러한 대자율 대 SiO₂와 Fe₂O₃의 변화경향은 홍세선(2004)의 연구결과와 일치한다.

이로 미루어 분화가 진행될수록 전철성분이 감소하나 그 중에 강자성광물인 자철석 성분은 다소 증가된 것으로 해석된다. 대자율 대 Fe³/(Fe³+Fe²)관계에서는 별다른 변화양상을 보이지 않는다. 한편 대자율 대 Bt + Ch + Ser + Op(흑운모 + 녹리석 + 견운모 + 불투명광물)에서는 대체로 변화경향을 보이지 않으나, 대자율 대 Op는 대체로 정의 관계를 이룬다. 이로 미루어 대자율은 이들 상자성 광물보다 Op 중에 강자성광물인 자철석 등의 증가에 의한 것으로 해석된다(Fig. 8).

그리고 다음과 같은 암석화학적 특성(Chappell and White, 1974; Hine *et al.*, 1978; White and Chappell, 1983)을 가진다. ASI 볼비는 동부와 서부암체가 각각

1.02-1.05(평균 1.04)와 1.01-1.04(평균 1.03)를 가져 모두 1.05 이하의 값을 가져 I-형에 해당된다. FeO 대 Fe₂O₃ 관계, 그리고 ACF(Al-Na-K, Ca, Fe + 2 + Mg) 삼각도에서 모두 I-형에 도시되는 경향을 뚜렷이 가진다. 그리고 대자율은 K₂O/Na₂O에 대하여 대체로, 그리고 ASI에 대하여 뚜렷한 부의 경향을 이룬다(Fig. 8).

열극 발달상

동부와 서부 화강암에 발달하는 열극체계의 차이점을 비교하기 위하여, 두 화강암 분포지에서 비교적 큰 규모의 암반노두를 택하였다. 측정방법은 가장 많이 발달된 열극방향과 교차하는 축선을 설치하였다. 보다 정확한 통계처리를 위하여 열극의 연장이 가능한 3m 이상이며 측정된 열극수가 20개 이상인 암반을 대상으로 하였다. 그리고 열극밀집대를 이루는 경우는 그 대표 방향으로 대신하였다(Fig. 9).

동부 화강암의 대상 암반수는 12개이며, 여기에서 측정된 열극수는 모두 390개에 달한다. 이들 열극자료들은 로즈 및 등고선 다이어그램에서 다음의 분포경향을 이룬다. 로즈 다이어그램에서 주향은 NS-10°E 방향에서 가장 큰 빈도수를 이루며 N11°-20°E, N1°-10°W 등의 방향이 주류를 이루어 전체적으로 남북향에 가까운 것들이 우세하며 일부는 남북향에 직교하여 발달되기도 한다. 열극의 주향은 NW와 NE 향의 것들이 각

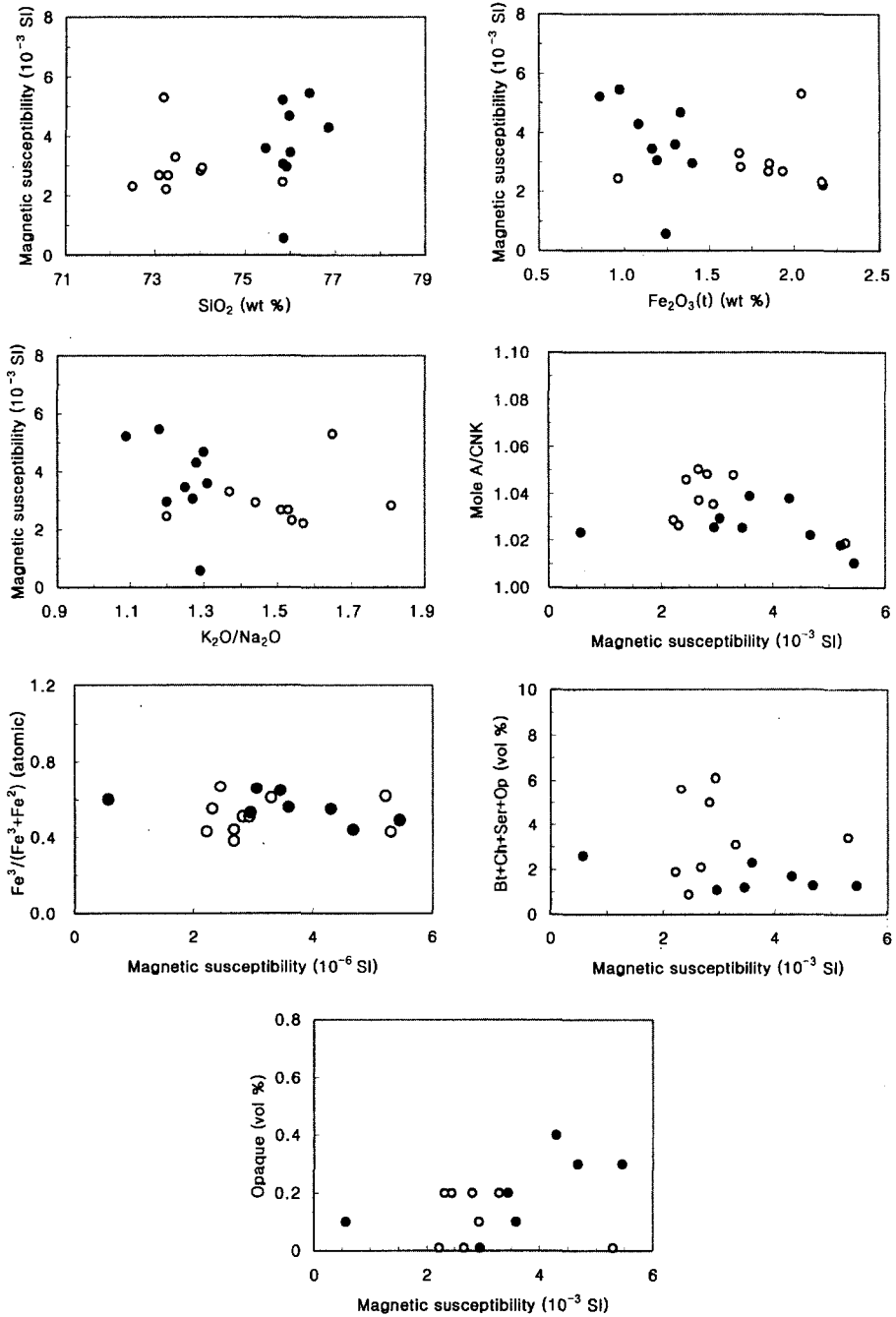


Fig. 8. Relation diagrams of magnetic susceptibility vs. petrochemical and modal parameters of the granites. Symbols are the same as in Fig. 2.

각 47%와 53%를 차지하여 비슷한 산출비율을 이룬다. 등고선 다이어그램에서 경사는 61°-수직을 이룬 것들이 우세하여 전체의 81 %를 차지하여 고각도의 것들

이 우세한 편이다.

서부 화강암의 대상 암반수는 12개이며, 측정된 열극의 수는 모두 513개에 달한다. 이들의 주향은 N31°-

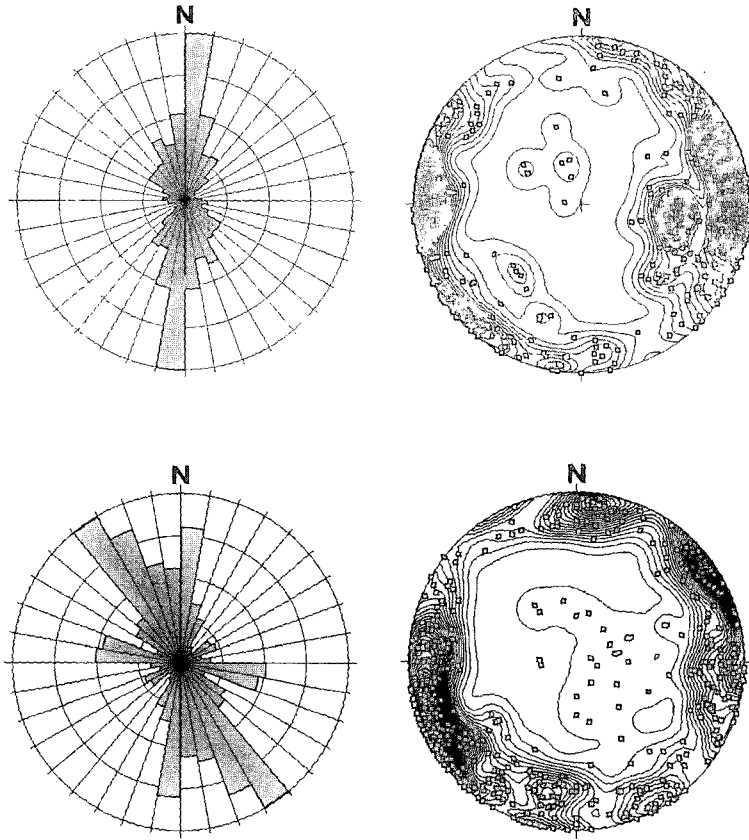


Fig. 9. Rose and contour fracture diagrams of the eastern (upper) and western (lower) granites.

40°W, NS-N10E, N21°-30°W, N11°-20°W, N1°-10°W 등이 우세하다. 이들 주향 외에도 모든 방향에 걸쳐 산출되는 경향을 이루며 다소 직교하며 발달되기도 한다. 특히 NW와 NE의 것들이 각각 67%와 33%로서 전자에서 뚜렷히 높은 산출비율을 차지한다. 경사는 61°수직의 것들이 전체의 90%를 차지하여, 고각도의 열극의 대부분을 이룬다. 이러한 전반적인 열극체계 양상으로 미루어 동부 화강암에서는 비규격석이 우세하고 서부 화강암에서는 규격석과 더불어 비규격석의 산출이 많을 것으로 해석된다.

물성특성 및 물성의 상관성

동부와 서부 화강암류 내 발달하는 공동구조의 정량적인 차이를 알기위하여, 두 암체에서 대표적 불력시료를 선별채취하였다. 각각의 불력에서는 대부분 4-6개의 공시체(직경 5cm, 높이 5cm)를 제작하여 물성을 시험하였다. 물성 시험대상은 비중, 흡수율과 공극율

동이며, 이들은 모두 한국공업규격(KS-F 2518과 2519)에 의하여 측정하였다(Table 5).

비중은 공시체의 중량과 동일한 체적을 가진 물의 질량비로서 겉보기 비중을 말한다. 이 값은 동부와 서부 화강암에서 각각 2.59-2.62(평균 2.61)과 2.52-2.58(평균 2.55)를 가져 그 범위와 평균값이 서부보다 동부에서 약간 더 증가한다. 이로 미루어 서부보다 동부 화강암체가 다소 더 치밀한 조직을 이루고 있는 것으로 해석될 수 있다. 이들 시험값은 모두 화강암의 비중범위인 2.52-2.81 내(Daly *et al.*, 1966)의 값을 가진다.

흡수율은 시료 내에 수분이 침투하여 포화상태일 때의 함유수분을 말하는 것으로 동부와 서부 화강암에서 각각 0.20-0.28(평균 0.24)%와 0.27-0.78(평균 0.46)%를 가진다. 공극율은 시료중의 전공극의 체적과 공극을 포함한 시료 전체의 부피와의 비를 말하며, 동부와 서부 화강암에서 각각 0.53-0.74(평균 0.62)%와 0.69-1.96(평균 1.17)%의 값을 가진다.

이들 흡수율과 공극율은 모두 동부보다 서부화강암

Table 5. Experimental physical properties of the granites.

	SG	AR (%)	PR (%)	Remark		SG	AR (%)	PR (%)	Remark
YD23-1	2.61	0.22	0.57	Keg	YD34-1	2.58	0.27	0.69	Kwg
-2	2.62	0.22	0.58	Keg	-2	2.57	0.31	0.79	Kwg
-3	2.62	0.22	0.57	Keg	-3	2.58	2.27	0.69	Kwg
-4	2.61	0.21	0.55	Keg	-4	2.58	0.27	0.69	Kwg
-5	2.62	2.22	0.57	Keg	-5	2.57	0.29	0.75	Kwg
-6	2.61	0.22	0.57	Keg	-6	2.57	0.31	0.80	Kwg
YD25-1	2.61	0.27	0.71	Keg	YD-38-1	2.57	0.43	1.10	Kwg
-2	2.62	0.28	0.74	Keg	-2	2.57	0.42	1.07	Kwg
-3	2.61	0.28	0.72	Keg	-3	2.57	0.45	1.14	Kwg
-4	2.62	0.27	0.71	Keg	-4	2.55	0.47	1.18	Kwg
-5	2.62	0.26	0.69	Keg	YD94-1	2.56	0.49	1.26	Kwg
-6	2.62	0.27	0.70	Keg	-2	2.55	0.54	1.39	Kwg
YD95-1	2.61	0.28	0.72	Keg	-3	2.55	0.53	1.35	Kwg
-2	2.61	0.25	0.64	Keg	-4	2.55	0.53	1.36	Kwg
-3	2.61	0.28	0.72	Keg	-5	2.55	0.53	1.36	Kwg
-4	2.61	0.25	0.65	Keg	-6	2.55	0.50	1.27	Kwg
-5	2.61	0.25	0.64	Keg	YD96-1	2.56	0.46	1.18	Kwg
-6	2.62	0.28	0.72	Keg	-2	2.56	0.53	1.34	Kwg
*18-1	2.60	0.21	0.56	Keg	-3	2.56	0.49	1.25	Kwg
-2	2.59	0.22	0.58	Keg	-4	2.56	0.48	1.24	Kwg
*21-1	2.60	0.23	0.59	Keg	-5	2.56	0.49	1.25	Kwg
-2	2.59	0.22	0.58	Keg	-6	2.57	0.47	1.19	Kwg
-3	2.59	0.22	0.56	Keg	*1-1	2.54	0.36	0.92	Kwg
-4	2.59	0.23	0.58	Keg	-2	2.54	0.38	0.97	Kwg
-5	2.60	0.23	0.59	Keg	-3	2.54	0.38	0.95	Kwg
-6	2.60	0.22	0.57	Keg	-4	2.55	0.33	0.85	Kwg
*23	2.60	0.29	0.76	Keg	-5	2.54	0.41	1.04	Kwg
*24-1	2.60	0.20	0.53	Keg	*2-1	2.53	0.55	1.38	Kwg
-2	2.61	0.20	0.53	Keg	-2	2.54	0.42	1.08	Kwg
-3	2.60	0.21	0.53	Keg	-3	2.52	0.50	1.27	Kwg
-4	2.61	0.21	0.56	Keg	-4	2.54	0.45	1.14	Kwg
-5	2.60	0.21	0.55	Keg	-5	2.53	0.49	1.25	Kwg
Aver	2.61	0.24	0.62		*4-1	2.52	0.78	1.96	Kwg
					-2	2.52	0.73	1.85	Kwg
					-3	2.52	0.73	1.90	Kwg
					Aver	2.55	0.46	1.17	

SG: specific gravity, AR: absorption ratio, PR porosity. Sp. Number and abbreviation are the same as same in Fig. 1 and Table 1. *: 김선익 외 (1988).

에서 보다 크고 넓은 변화폭을 가지며, 평균값도 동부보다 서부에서 뚜렷이 증가하여 두 배 정도의 값을 가진다. 이러한 물성 시험값과 야외에서의 공동구조의 빈도 등의 차이로 미루어 이 곳의 화강암질 마그마는 결정화 작용말에 일어나는 가스의 후기방출(Chamichael *et al.*, 1974; Hyndman, 1985)이 동부보다 서부 화강암체에서 훨씬 더 많았던 것으로 해석된다.

이들 동부와 서부 화강암은 비중 대 흡수율, 비중 대 공극율의 관계도에서 뚜렷한 부의 관계를 이룬다. 그리고 흡수율 대 공극율의 관계도에서는 정의 경향을 뚜렷이 보이며 이들은 모두 한 개의 선상에 놓인다(Fig. 10). 이러한 상관관계에서도 동부 화강암은 좁은 범위의, 그리고 서부 화강암은 보다 넓은 범위 값을 이루는 경향을 보여 야외산상과 잘 일치한다.

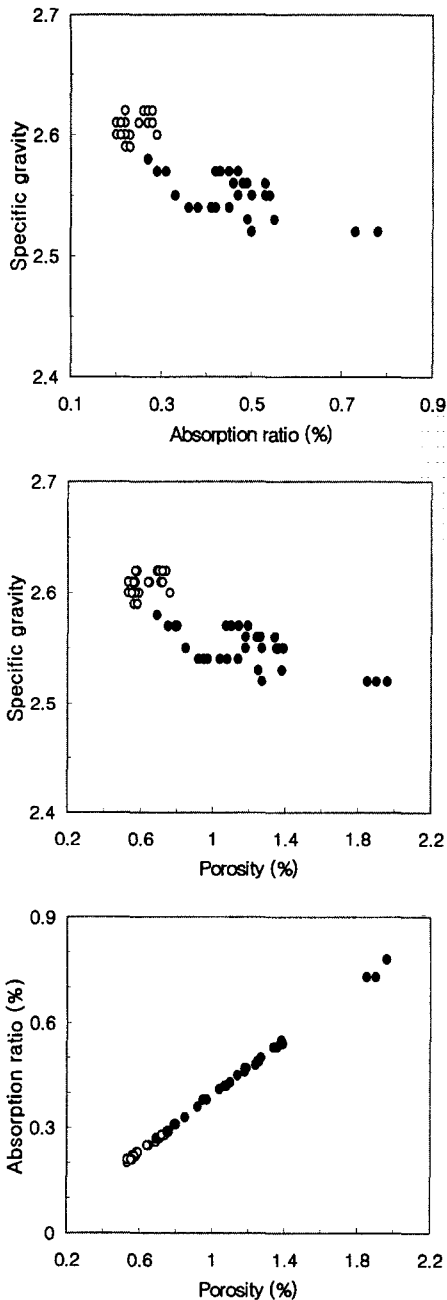


Fig. 10. Diagrams of specific gravity vs. absorption ratio (upper), specific gravity vs. porosity (middle) and absorption ratio vs. porosity (lower). Symbols are the same as in Fig. 2.

한편 문경일대(윤현수와 김선익, 1990)는 흡수율 0.25-0.81(평균 0.56) 그리고 공극율 0.66-2.05(평균 1.42)(윤현수 외, 1993)을 가져 이 곳 화강암류보다 그 값이 보

다 크게 증가하는 편이다. 이들 두지역의 백악기 화강암류는 육천대 남서부에 분포하며 홍색 그리고 공동구조가 발달하는 공통적 암상을 이룬다.

결론

연구대상인 백악기 홍색 화강암류는 진안지역의 동부와 서부에서 독립된 암주상으로 인정하며 발달한다. 동부 화강암은 중-조립질이 우세한 원형상(장경/단경 = 11/9 km)의, 그리고 서부 화강암은 타원형의 암체(장경/단경 = 11/6 km)로서 전반적으로 중-조립질을 이루나 부분적으로 반정질 및 세립화되기도 한다. 자주 수반되는 공동구조는 산점상 또는 수십 cm 크기로 발달하며, 그 산출크기와 빈도수가 동부화강암보다 서부화강암에서 뚜렷이 증가한다.

이들의 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 견운모, 인회석, 스펀, 저어콘, 갈륨석과 불투명광물 등이다. QAP 모우드 삼각도에서 동부화강암과 서부화강암은 각각 섬장화강암과 몬조화강암에 대부분 도시된다.

열극의 주향은 동부 화강암에서는 남북향에 가까운 것들이 우세하고, 서부 화강암에서는 모든 방향으로 산출되며 다소 직교하며 발달되기도 한다. 경사는 고각도-수직을 이룬 것들이 우세하다. 열극체계 발달양상으로 미루어 전자에서는 비규격석이 우세하고 후자에서는 규격석과 비규격석이 많이 산출될 것으로 해석된다.

비중은 동부와 서부 화강암이 각각 2.59-2.62(평균 2.61)과 2.52-2.58(평균 2.55)를 가져 후자보다 전자가 다소 더 치밀한 조직을 이룬다. 흡수율은 각각 0.20-0.28(평균 0.24)%와 0.27-0.78(평균 0.46)%를, 공극율은 각각 0.53-0.74(평균 0.62)%와 0.69-1.96(평균 1.17)%의 값을 가져 전자보다 후자에서 두 배 정도의 값을 가진다. 이런 물성값의 차이와 야외 공동구조 산출정도 등으로 미루어, 결정화작용말에 일어나는 가스의 방출이 전자보다 후자에서 훨씬 더 많았던 것으로 해석된다. 이들은 비중 대 흡수율, 비중 대 공극율은 뚜렷한 부의 경향을 이루며, 흡수율 대 공극율은 한 개의 선상에 놓이며 정의 경향을 뚜렷이 보인다.

이들 화강암류는 모두 산성암, 과알루미나질 그리고 서브알칼리 계열에 해당한다. 주원소성분의 함량, AMF 삼각도, 그리고 하커 변화도 등으로 미루어, 이들 동부와 서부 화강암류는 동일 마그마 기원암으로서 후자가 전자보다 후기의 분화암체로 해석된다. 이런 경향은 각각 부와 정의 경향을 이루는 Ba 대 Rb과 Ba 대 Sr 관계, 그리고 Rb-Ba-Sr의 관계에서도 잘 들어난다. 이

들은 콘드라이트로 표준화한 희토류원소 변화도에서 경희토류에서 중희토류 원소로 갈수록 서서히 결핍되는 양상을 보이며, 사장석의 분별결정작용이 전자보다 후자에서 더 심하게 일어난 경향을 뚜렷이 보인다.

중량 대자율은 각각 3.190×10^{-6} SI와 3.504×10^{-6} SI를 가져 모두 I-형과 자철석계열 그리고 약-중 강자성암에 해당한다. 이들은 여러 암석화학 및 관계도에서 모두 I-형에 도시되며, 전자와 후자의 $Fe^3/(Fe^3 + Fe^2)$ 는 각각 0.52와 0.56를 가져 그 비 값이 일본의 자철석계열보다 다소 그리고 호주의 I-형보다 크게 증가한다.

SiO₂ 대 대자율은 대부분 정의, SiO₂ 대 Fe₂O_{3(t)}는 뚜렷한 부의, 그리고 Fe₂O_{3(t)} 대 대자율은 대부분 부의 경향을 이룬다. 이로 미루어 분화가 진행될수록 전철성분은 감소하나 그 중에 자성광물의 함량은 다소 증가된 것으로 보인다. 그리고 대자율은 Bt + Ch + Ser + Op의 광물조합보다 주로 Op 중에 강자성광물인 자철석 등의 증가에 의한 것으로 해석된다.

사 사

이 논문을 자세히 보아주고 많은 문제점과 미비점을 지적하여 논문개선에 크게 도움을 주신 부경대학교 박계현 교수님과 강원대학교 박영록 교수님에게 깊은 사의를 표한다. 그리고 이 연구에 이용된 화학성분 분석, 물성측정 시험과 박편 제작 등을 정성껏 수행해준 한국지질자원연구원 관련 연구원 여러분에게도 진심으로 감사사를 드린다.

참고문헌

- 김선익, 윤현수, 김윤규, 박용순, 박덕원, 김영범, 이춘오, 이병대, 이병태, 김경수, 김철주, 1988, 석재자원 조사연구 (3). KR-88-2C, 한국동력자원연구소.
- 김정환, 이인기, 1973, 용담 지질도폭 설명서. 국립지질연구소, 25p.
- 김옥준, 1971, 남한의 신기 화강암류의 관입시기와 지각변동. 광산지질, 4, 1-10.
- 윤현수, 김선익, 1990, 문경 남부일대에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학 및 암석화학. 광산지질, 23, 343-352.
- 윤현수, 박용순, 이춘오, 이병대, 김경수, 1993, 문경-상주 사이에 분포하는 화강암류 석재의 암석학적 특성. 암석학회지 2, 32-40.
- 이대성, 남기상, 1969, 장기리 지질도폭 설명서. 국립지질연구소, 33p.
- 진명식, 신성천, 김성재, 주승환, 지세정, 1994, 옥천습곡대 중서부지역 화강암과 반심성암의 동위원소연대와 화성활동사. KR-93-1G-2, 한국자원연구소, 54p.
- 진호일, 민경원, 전효택, 박영석, 1995, 금산지역에 분포하는 화강암류의 암석지구화학. 자원환경지질, 28, 123-137.
- 홍세선, 2004, 국내 중생대 화강암의 대자율특성과 화학조성. 암석학회지 13, 16-33.
- 홍승호, 이병주, 김원영, 1980, 무주 지질도폭 설명서. 자원개발연구소, 28p.
- 홍승호, 최위찬, 1978, 금산 지질도폭 설명서. 자원개발연구소, 29p.
- Ague, J.J. and Brimhall, G.H., 1988, Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California. Geol. Soc. Amer. Bulletin, 100, 891-911.
- Blevin, P.L., 1994, Magnetic susceptibility of the Lanchlan Fold Belt and New England batholith granites: AMIRA Project P147B final report(unpub.).
- 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.
- Camichael, I.S.E., Turner, F.J. and Verhoogen, J., 1974, Igneous petrology. McGraw-Hill Book Co., 664p.
- 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: implication for exploration and magnetic interpretation. Explor. Geophy., 30, 5-26.
- Daly, R.A., Manger, G.E. and Clark, Jr, S.P., 1966, Density of Rocks. In Handbook of physical constants(ed. S.P. Clark, Jr.), Geol. Soc. Am., Mem., 97, 20-26.
- 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. J. Geol. Soc. Aust. 25, 219-234.
- Hyndman, D.W., 1985, Petrology of igneous and metamorphic rocks. McGraw-Hill Book Co., 786p.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Min. Geol., 27, 293-305.
- 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.*), Geology of Korea, KIGAM, 1, 157-166.
- Jin, M.S., Lee, Y.S. and Ishihara, S., 2001, Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. Resource Geol., 51, 189-203.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of geochemistry. John Wiley & Sons, 392p.
- Takahashi, M., Aramaki, S. and Ishihara, S., 1980, Magnetite-series/Ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids. Mining Geol. Spec. Issue, 8, 12-28.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace element data to problems in petrology. Phy. Chem. Ear., 6, 133-213.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford., 312p.

Whalen, J.B. and Chappell, B.W., 1988, Opaque mineralogy and mafic mineral chemistry of I- and S-type granites of the Lachlan fold belt, southeast Australia. *Amer. 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.

(2004년 8월 20일 접수; 2004년 9월 15일 채택)