

전주 및 순창지역에 분포하는 엽리상화강암류의 성인에 대한 연구(I) - 암석지화학적 특성을 중심으로 -

나춘기¹ · 이인성² · 정재일³

¹목포대학교 환경공학과

²서울대학교 지질학과

³전북대학교 지구환경과학과

Petrogenetic Study on the Foliated Granitoids in the Chonju and the Sunchang Area (I) -In the Light of Petrochemical Properties-

Choon-Ki, Na¹, Insung, Lee² and Jae-Il, Chung³

¹Department of Environmental Eng., Mokpo National University,
Chonnam 534-729, Korea.

²Department of Geological Sciences, Seoul National University,
Seoul 151-742, Korea.

³Department of Earth & Environmental Sciences, Chonbuk National University,
Chonju 561-756, Korea.

Abstract: In order to understand the processes involved in the petrogenesis and the differentiation of the primary magma spectrum, a petrological and geochemical properties were investigated for the Chonju and the Sunchang foliated granites, which are located in the southwestern part of the Okchon zone and extends up to the northwestern boundary of the Ryongnam massif as two subparallel batholiths. Major element analyses show that the Chonju and Sunchang foliated granites are classified petrologically into a weakly to strongly peraluminous or calc-alkaline, but do not fit neatly into either of the I/S-type or magnetite/ilmenite-series classification schemes for granites, although the I-type and magnetite-series characteristics seem to be predominant based on the major element chemistry. In normative compositions, the Chonju granite is petrographically evolved from granodiorite to granite, whereas the Sunchang granite is from granodiorite to quartz monzodiorite. It seems to suggest a difference of the magmatic evolution processes such as crustal assimilation and/or fractional crystallization in magma. The REE patterns of both batholiths show high similarity and strongly fractionated REE distributions which show high $(Ce/Yb)_N$ ratios and little or no Eu anomalies. These REE patterns correspond broadly to those seen in the pre-Cretaceous granitoids of Korea. Apparently, the evidences obtained from the bulk compositions strongly suggest that the two foliated granitoids were formed by partial meltings of a relatively restricted and similar, may be common, source material which contains a continental crust component having an igneous composition, and have undergone a similar magmatic differentiation processes.

Key words: foliated granite, okchon zone, Geochemistry, REE, petrogenesis

요 약: 옥천대의 남서대와 영남육괴의 북서 경계부에 대략 평행한 2열로 분포되어 있는 전주 및 순창 엽리상화강암류의 근원마그마의 분화과정 및 성인을 규명하기 위하여 양 암체의 암석학적 및 지화학적 특성을 비교, 고찰하였다. 주성분 원소의 분석결과는 전주 및 순창엽리상화강암이 암석화학적으로 퍼알루미나 또는 칼크알칼리 계열에 속함을 보였으며, 기존의 화강암류 성인에 대한 I/S형 및 자철석/티탄철석 계열의 분류기준을 적용할 경우 비록 원소화학적으로는 I-형과 자철석 계열이 우세한 경향을 보이지만 일관성있게 분류되지 않는 특성을 보였다. 주성분 원소의 분석결과에 의한 CIPW norm 조성에서, 전주암체는 분화가 진행됨에 따라 화강섬록암에서 화강암으로 진화되는 반면, 순창암체는 화강섬록암에서 석영문조섬록암으로 진화되는 특성을 보였다. 이는 양 암체가 지각물질과의 동화 혹은 결정분별과정 등을 포함하는 마그마 진화의 후기 과정에서 서로 상이했음을 시사한다. 전주 및 순창암체의 희토류원소 분포형태는 양 암체 모두에서 Eu(-) 이상이 거의 나타나지 않고 LREE가 HREE에 비해 극도로 부화된 경향을 보여 서로 매우 유사했다. 이러한 희토류 원소의 분포형태는 우리나라의 선봉국사 화강암류에서 보여지는 공통적인 희토류원소의 분포형태와 유사한 것이다. 이상의 결과들은 전주 및 순창엽리상화강암이 그 조성에 있어 서로 유사한 근원암 즉, 화성암질 조성을 갖는 대륙지각의 부분용융에 의해서 형성된 마그마를 기원으로 하고 있으며, 서로 유사한 마그마 분화정체과정을 거쳤음을 시사한다.

주요어: 엽리상 화강암, 옥천대, 지구화학, 희토류 원소, 암석성인론

서론

지질개요

열리상화강암류는 옥천대 중앙대(C-zone)와 동남대(SE-zone)에 걸쳐 소위 호남전단대내에 폭넓게 분포되어 있는 암쇄암류로서 한반도의 주구조방향인 북동-남서방향으로 대략 3열의 대상분포하고 있다. 이들 열리상화강암류는 그 공간적 분포형태로 보아 청산-전주-영광을 잇는 옥천대 중앙부 남측 연변부를 따라 분포하는 암체들과 김천-함양-광주-해남을 잇는 옥천대 동남대 중앙부에 분포하는 암체들, 그리고 성주-함천-산청-괴곡을 잇는 동남대 남연부의 암체들로 나누어진다(김용준 등, 1989, 1994). 이들 열리상화강암류의 관입시기는 연구자에 따라 258 Ma에서 148 Ma의 범위로 보고되고 있으나(김옥준, 1971; 주승환, 1986; 주승환과 김성재, 1986; 김용준, 1986; 김용준과 이창신, 1988) 절대년령으로 폐렴기말대지는 트라이아스기말로 해석되고 있어, 본 암은 남한에서의 송림변동기를 설정하는데 중요한 지질학적 증거가 되고 있다.

본 연구의 대상암체인 전주열리상화강암체는 옥천대 중앙대의 선상에, 순창열리상화강암류는 옥천대 동남대 중앙부의 선상에 분포하는 암체로서 대략 서로 평행한 대상분포를 이루고 있으며 양 암체는 후기에 이들 암체를 부정합으로 덮고있는 백악기의 퇴적암류에 의해 분리되고 있다. 열리상화강암류에 대한 암석지화학적 연구는 김용준과 김정빈(1988), 김용준과 이창신(1988), 김용준 등(1989, 1994), 김정빈과 김용준(1984 - 1990)에 의해 수행된바 있다. 이러한 연구는 대부분 순창열리상화강암체를 대상으로 하고 있는 반면 순창암체와 인접한 전주열리상화강암체의 경우 김옥준(1971)의 관입내측정과 김용준 등(1994)의 암석지화학적 연구가 있을 뿐으로 아직 관입내나 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 않고 있다.

본 연구는 전주열리상화강암체와 순창열리상화강암체의 성인을 원소화학적 방법과 동위원소화학적 방법으로 규명하여 양 암체의 성인적 차이를 고찰하는데 그 목적을 두고 수행되었다. 본 논문은 동위원소화학적 자료를 해석하기에 앞서 우선 각 암체로부터 채취된 시료의 암석학적, 원소화학적 자료를 정리한 것으로, 각 암체의 암석학적 특징, 조성분 및 미량성분원소의 분석결과로 추론할 수 있는 마그마의 유형 및 분화과정 등을 고찰하였다. 이를 위하여 이들 암체를 대상으로 시료채취를 실시하고 박편제작 및 조성분, 미량성분, 희토류 원소에 대한 전암분석을 수행하여 각 암체의 암석학적 특징과 암석지화학적 특성을 비교 검토하였다.

연구지역은 옥천대의 중앙대와 영남육괴의 서북경계부에 위치하고 있으며 선캠브리아기의 편마암 복합체를 기반암으로하여 이를 부정합으로 덮는 선캠브리아 후기 또는 고생대의 변성퇴적암류와 이들을 관입한 열리상화강암류, 이를 다시 관입하고 있는 남원화강암류, 주라기 화강암류, 백악기 화강암류 및 맥암류, 그리고 이들 열리상화강암류를 부정합으로 덮는 백악기 퇴적암류들로 구성되어 있다. 연구대상 암체인 전주열리상화강암체와 순창열리상화강암체는 연구지역의 서북부와 동남부에 북동-남서방향으로 서로 평행하게 저반상으로 대상분포하고 있으며 양 암체는 상기한 백악기의 퇴적암류에 의해 분리되어 있다(Fig. 1).

전주열리상화강암은 전주시를 중심으로 북동-남서방향으로 분포하는 저반상 화강암체로 변성퇴적암류를 관입하고 주라기 화강암류와 반암류에 의해 관입되고 백악기 퇴적암류에 의해 부정합으로 덮여 있다. 암상적으로는 열리상흑운모화강암이 우세하나 부분적으로는 반상조석을 보이는 곳도 있으며 석영, 사장석, 미사장석과 흑운모를 주구성광물로 하고 있다. 변성퇴적암류의 서부지역에 분포하는 열리상화강암은 변성퇴적암을 관입한 부분에서 멀어질수록 점점 편리구조가 미약해지면서 완주군 이서면 일대에서 흑운모 화강암으로 이화한다. 남동부에 분포하는 열리상화강암은 남서쪽으로 정읍, 임실 일대까지 연장되어 있으며 중립 또는 조립질 암석으로서 편리구조가 잘 발달되어 있다. 전주시 남서부 지역에서는 부분적으로 시대미상의 우백질 열리상 암류와 혼재하고 있다. 진안 지질도폭(Simamura, 1925)에서는 이들 암류를 열리상 화강암과 동일 암체로 취급했으나 남기상과 서영교(1985), 조규성(1987) 등은 이들을 선캠브리아기의 소백산 복합체와 대비 화강암질 편마암이라고 보고 전주 편마암으로 명명하였다. 변성퇴적암류는 Simamura(1925)에 의해 전주동으로 명명하면서 백악기 퇴적암층의 변성물이라 하였으나 1:25만 전주지질도(1973)에서 선캠브리아 후기 또는 고생대의 옥천층군으로 대비하고 있다. 전주열리상화강암체의 남동연부를 부정합으로 덮고 있는 백악기 퇴적암류는 진안층군, 능주층군, 신라층군으로 구성되어 있으며 순창열리상화강암체의 북서연부까지 연장 분포하고 있다.

순창열리상화강암은 순창지질도폭(박희인, 1966)에서 순창편상화강암으로 명명된 암체의 북동연장부에 속하는 암체로서 순창을 중심으로 북동-남서방향으로 대상분포되어 있는 조립질 화강암질암이다.

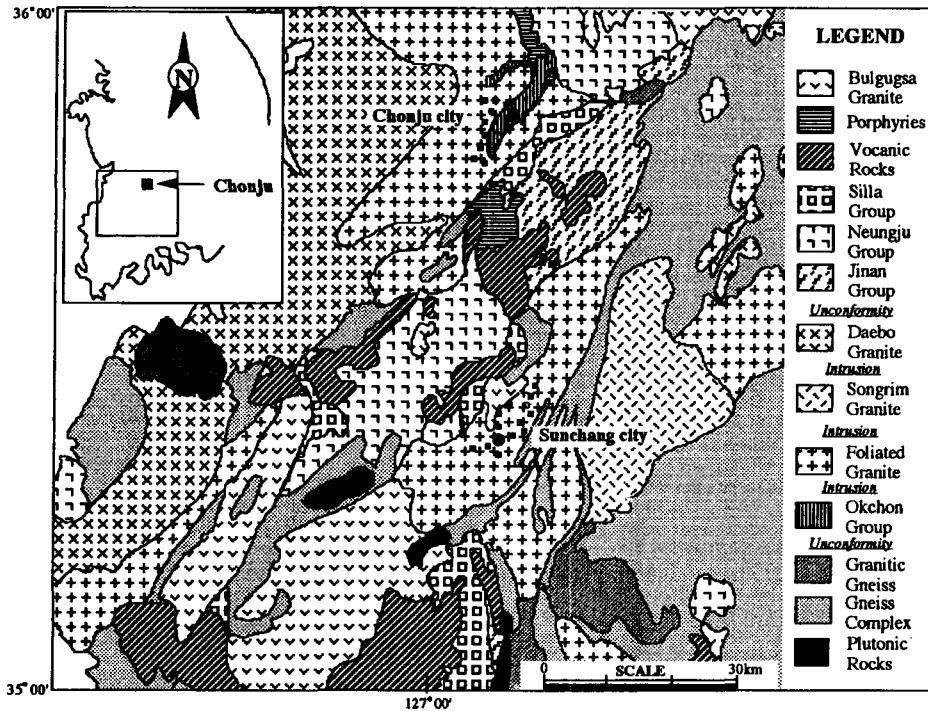


Fig. 1. Geologic map of the Chonju-Sunchang area.

이 암체는 그 조성광물이 석영, 사장석, 미사장석과 흑운모가 주가 되며 암상적으로 흑운모화강암질인 대부분을 차지하고 있으나 부분적으로 유백색의 장석반정을 불균질하게 함유하기도 하고 각섬석을 포함하기도 한다. 김정빈과 김용준(1984)은 순창암체를 열리상각섬석흑운모화강섬록암형과 열리상남상화강섬록암형으로 나누고 후자가 전자를 관입한다고 하였다. 열리구조는 유색광물 특히 흑운모의 배열에 의해 나타나며 대체로 본 암체의 관입방향과 일치하는 $N10^{\circ}\sim 40^{\circ}E$ 의 주향과 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}SE$ 의 경사를 갖는다. 이들은 선캠브리아기의 흑운모 편마암, 고생대의 변성퇴적암과 화강편마암을 관입하고 트라이아스기의 복운모 열리상화강암, 남원화강암, 주라기의 섬록암, 흑운모 화강암 및 백악기의 석영반암 등 화성암류에 의해 관입 당하고 있으며, 그 북부와 북서연부는 백악기의 퇴적암류에 의해 부정합으로 덮여있다.

시료채취 및 분석

본 연구의 목적상 가능한 신선한 암석을 연구시료로 이용해야 하므로 모든 시료는 최근에 개설되었거나 또는 개설중인 도로주변 절개지 및 채석장 등에

드러난 신선한 부분을 대상으로 시료채취를 수행했으며 국부적인 불균일성을 최대한 방지하기 위하여 노두면 대략 1 m^2 를 5개 지점 이상으로 구획분할하고 각 점에서 약 $100\sim 200\text{ g}$ 씩의 암편을 채취한 후 이를 혼합하여 1시료로 하였다. 채취된 시료는 실험실로 운반한 후 수세 건조한 다음 그 풍화도를 육안 관찰하여 전주지역에서 10개, 순창지역에서 13개의 가장 신선한 시료만을 선별하여 본 연구의 대상시료로 하였다. 선정된 시료는 조크러셔와 롤밀로 조분쇄한 후 사분법에 의해 $50\sim 100\text{ g}$ 을 분취하여 자동분쇄기(Herzog HSM-F36 tungsten carbide puck mill)로 200 mesh이하로 분말화하였다. 주성분 원소 및 Ba, Rb, Sr을 포함하는 미량성분원소 분석은 분말시료를 압축성형법으로 성형하고 Philips사제 XRF(Cu-target tube, LiF 220 crystal)를 이용하여 수행했으며 검량선의 작성은 12개의 GSJ 암석표준시료를 이용하였다. 검량선의 편기에 의한 미량성분 분석오차는 $\pm 5\%$ 이내로 양호하였다.

희토류 원소의 분석은 100 mg 의 분말시료를 테프론용기에 취해 $HF\text{-}HNO_3\text{-}HClO_4$ 의 혼합산 분해법(Na et al., 1992)으로 완전분해시켜 용액화한 후, 양이온교환 칼럼을 이용하여 타원소와 희토류원소를 분리 농축시킨 다음 HPLC(waters 625 system)를 이용하여

수행하였다(Crock *et al.*, 1984; Na *et al.*, 1995). 이 과정에서 발생하는 분석오차는 $\pm 8\%$ 이내였다.

암석기재(현미경 관찰)

전주 엽리상화강암

이 암은 전주시를 중심으로 북동-남서 방향으로 분포하며, 암상적으로는 엽리상흑운모화강암이 우세하

나 부분적으로는 반상조석을 보이는 곳도 있으며 현미경하에서 보면 석영, 사장석, 미사장석과 흑운모를 주구성광물로 하고 있다.

석영은 0.1~5 mm의 반자형내지 타형의 결정들로서, 대부분이 방향성 있게 신장되거나 재결정 되어 있으며 강한파동 소광을 보이고 불합상 결정경계를 갖는다. 장석은 반자형 내지 타형의 결정들로서, 주로 거정질의 사장석이나 드물게 정장석도 보인다. 장석

Table 1. Chemical analyses and their C.I.P.W norm of the Chonju and Sunchang foliated granites.

	Chonju Foliated		Granite							
	CF-1	CF-2	CF-3	CF-4	CF-5	CF-6	CF-7	CF-8	CF-9	CF-10
Major element (wt.%)										
SiO ₂	67.75	67.90	68.00	68.30	72.92	71.84	71.52	72.05	69.33	69.42
TiO ₂	0.45	0.44	0.47	0.43	0.37	0.30	0.29	0.29	0.36	0.29
Al ₂ O ₃	16.95	17.72	17.15	15.91	14.79	14.82	14.63	15.70	15.45	15.55
FeO(t)	2.64	2.66	2.81	2.45	2.04	1.72	1.74	1.65	1.97	1.62
MgO	1.80	1.77	1.72	1.64	0.91	0.92	0.85	0.78	0.94	0.78
MnO	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
CaO	3.45	2.94	3.32	3.63	2.33	0.93	0.99	2.31	2.43	2.47
Na ₂ O	3.89	3.68	3.69	3.66	3.52	3.36	3.29	3.79	3.68	3.88
K ₂ O	2.98	3.21	2.79	3.24	3.32	4.82	5.21	3.91	4.06	3.95
P ₂ O ₅	0.11	0.10	0.12	0.11	0.10	0.09	0.14	0.07	0.09	0.07
Total	100.06	100.46	100.10	99.41	100.33	98.83	98.69	100.57	98.33	98.05
FeO	1.40	1.27	1.13	1.55	0.93	0.92	0.95	0.70	0.84	0.76
Fe ₂ O ₃	1.39	1.54	1.86	1.00	1.23	0.90	0.89	1.06	1.24	0.96
CLPW norm										
Q	23.64	25.38	26.53	24.10	33.61	30.51	29.21	29.17	28.13	25.41
C	1.31	3.09	2.30	0.07	1.41	2.60	2.12	1.22	0.42	0.58
Or	17.58	18.97	16.50	19.14	19.62	28.47	30.77	23.12	21.86	23.33
Ab	32.91	31.16	31.18	30.95	29.78	28.46	27.84	32.03	31.84	32.82
An	16.43	13.90	15.72	17.25	10.91	4.00	3.99	10.96	1.58	11.79
Trace element (ppm)										
Ba	771.0	188.0	802.0	910.0	560.0	1065.0	532.0	851.0	835.0	880.0
Rb	87.6	102.6	94.0	91.3	163.9	183.6	191.5	130.1	155.4	138.4
Sr	530.3	558.7	553.2	512.3	302.2	341.3	284.4	407.5	388.6	428.1
Rare earth element (ppm)										
Lu	0.50	0.43	0.51	0.20	0.47	0.46	0.55	0.49	0.44	0.39
Yb	0.73	0.70	0.91	0.57	0.81	0.72	1.18	0.57	0.84	0.60
Tm	0.10	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.16	0.09	0.11	0.08
Er	0.87	0.87	0.87	0.81	0.94	0.84	1.30	0.70	0.97	0.65
Ho	0.31	0.31	0.30	0.30	0.33	0.30	0.45	0.25	0.33	0.22
Tb	0.31	0.27	0.29	0.29	0.35	0.33	1.47	0.26	0.36	0.22
Gd	2.51	2.42	2.44	2.23	2.76	2.58	3.10	2.18	2.48	1.80
Eu	0.96	0.90	0.82	0.95	0.69	0.59	0.52	0.70	0.78	0.64
Sm	3.41	3.43	3.19	3.15	4.11	3.70	3.78	3.42	3.24	2.51
Nd	23.41	23.89	22.30	20.68	20.21	23.89	21.40	22.11	18.41	16.75
Pr	6.73	6.90	7.84	6.69	6.37	6.91	6.13	6.38	5.21	4.90
Ce	66.51	70.27	64.58	58.78	58.29	67.79	58.47	63.38	47.88	47.26
La	36.31	38.98	34.45	31.27	28.00	34.59	29.84	33.74	25.36	25.79
ΣREE	151.00	156.96	147.14	133.74	133.01	151.28	141.32	141.09	115.88	108.18
(Ce/Yb) _N	23.65	25.88	18.33	26.65	18.59	24.29	12.79	28.74	14.66	20.33
(Eu/Eu*) _N	0.95	0.90	0.87	1.05	0.62	0.56	0.45	0.77	0.81	0.88

Table 1. Continued

Sunchang Foliated Granite													
	SF-1	SF-2	SF-3	SF-4	SF-5	SF-6	SF-7	SF-8	SF-9	SF-10	SF-11	SF-12	SF-13
Major element (wt.%)													
SiO ₂	69.09	68.52	69.77	65.70	69.51	68.41	67.25	69.44	65.63	67.71	67.63	70.80	70.09
TiO ₂	0.37	0.46	0.32	0.51	0.35	0.37	0.55	0.35	0.63	0.39	0.42	0.35	0.31
Al ₂ O ₃	15.72	16.59	16.68	17.37	16.50	17.13	16.79	16.77	16.50	16.05	15.99	14.27	15.93
FeO(t)	2.28	2.91	2.18	3.05	2.52	2.82	2.98	2.20	3.85	2.60	2.42	1.91	2.02
MgO	1.02	1.11	0.95	1.34	1.10	1.26	1.36	0.75	1.65	1.19	1.02	0.66	0.83
MnO	0.06	0.08	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.03	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
CaO	2.74	3.44	2.98	3.27	2.38	3.42	3.35	2.19	4.53	2.99	2.88	1.37	2.93
Na ₂ O	3.41	3.68	3.49	3.79	3.49	3.39	3.49	2.98	3.42	3.99	3.26	2.02	3.88
K ₂ O	4.09	3.86	3.87	3.00	3.52	3.64	3.22	5.15	2.47	3.30	4.67	7.40	3.87
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.08	0.14	0.10	0.11	0.15	0.10	0.15	0.11	0.10	0.13	0.07
total	98.89	100.77	100.38	98.20	99.50	100.60	99.18	99.96	98.90	98.38	98.42	98.92	99.98
FeO	0.83	0.87	0.67	1.23	0.85	0.99	1.49	0.87	3.08	1.76	0.28	0.39	0.89
Fe ₂ O ₃	1.62	2.26	1.68	2.02	1.85	2.03	1.65	1.47	0.86	0.94	2.37	1.68	1.26
CIPW norm													
Q	26.50	23.63	27.09	23.57	29.28	25.87	25.59	26.87	22.72	23.14	23.29	27.18	25.32
C	0.94	0.37	1.52	2.28	2.86	1.66	1.83	2.55	0.32	0.74	0.58	0.76	0.20
Or	24.17	22.81	22.87	17.73	20.80	21.51	19.03	30.43	14.60	19.50	27.60	43.73	22.87
Ab	28.85	31.14	29.53	32.07	29.53	28.68	29.53	25.21	28.94	33.76	27.58	17.09	32.83
An	12.94	16.35	14.26	15.31	11.15	16.25	15.64	10.21	21.49	14.11	13.63	5.95	14.08
Trace element (ppm)													
Ba	1025.0	953.0	1007.0	779.0	943.0	815.0	433.0	1807.0	725.0	598.0	1087.0	1915.0	996.0
Rb	122.4	114.1	112.6	111.7	105.8	123.5	154.2	141.5	84.5	107.1	138.6	156.7	138.1
Sr	460.6	458.2	589.6	544.5	493.4	535.2	390.4	507.1	510.8	530.5	422.6	490.1	349.2
Rare earth element (ppm)													
Lu	-	-	0.03	-	-	-	0.23	-	0.05	0.03	-	-	-
Yb	0.69	0.54	0.54	1.07	0.77	0.76	1.02	0.78	0.97	0.86	0.67	1.79	0.64
Tm	0.10	0.08	0.05	0.15	0.10	0.10	0.15	0.12	0.15	0.13	0.10	0.26	0.09
Er	0.75	0.60	0.68	1.26	0.80	0.77	1.17	1.00	1.16	1.02	0.82	2.13	0.69
Ho	0.27	0.27	0.22	0.44	0.30	0.28	0.44	0.38	0.42	0.36	0.31	0.77	0.24
Tb	0.22	0.28	0.19	0.45	0.27	0.24	0.30	0.40	0.42	0.33	0.33	0.79	0.26
Gd	1.94	2.47	1.73	3.68	2.41	2.01	3.94	3.71	3.62	2.56	2.84	7.14	2.05
Eu	0.63	0.93	0.63	1.20	0.75	0.69	1.22	1.15	1.15	0.88	1.00	1.94	0.72
Sm	3.46	3.61	2.16	4.78	3.33	2.69	5.04	5.47	4.69	3.05	3.74	11.09	2.65
Nd	19.05	25.13	12.43	28.68	22.65	16.16	25.56	32.32	27.60	13.47	21.57	73.65	15.22
Pr	6.06	7.30	3.35	7.75	6.48	4.79	6.53	8.52	7.49	3.44	5.87	20.61	4.16
Ce	49.18	73.57	27.97	73.67	62.20	45.57	57.25	81.11	71.31	27.06	54.00	197.62	37.44
La	20.71	38.65	16.64	37.76	34.54	24.64	27.02	41.36	36.03	14.16	27.69	104.61	19.35
ΣREE	111.90	160.35	73.45	174.19	142.93	106.37	141.94	186.27	167.45	77.80	127.80	442.33	90.92
(Ce/Yb) _N	18.50	35.13	13.36	17.77	20.86	15.48	14.48	26.82	18.98	8.12	20.82	28.06	15.10
(Eu/Eu*) _N	0.72	0.91	0.97	0.84	0.80	0.90	0.81	0.74	0.82	0.97	0.90	0.63	0.91

의 일부는 견운모화되어 있으며 정장석에 비해 사장석 이 더 많이 견운모로 변해있다. 흑운모는 대부분 녹리석화되어 있으며 그 양상은 벽개를 따라 서로 호층을 이루기도하고 휘거나 파쇄되어 있다.

순창 엽리상화강암

이 암은 순창을 중심으로 북동-남서방향으로 대상 분포되어 있는 조립질화강암질암이다. 현미경하에서

보면 이 암석의 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석 및 흑운모이며 부구성광물은 녹리석, 견운모, 전기석으로 구성되어 있다. 석영은 매우 강한 재결정 작용을 받아 대부분 작은 입자로 되어 있으며 이 입자에서는 강한 파동소광을 보이고, 소수 큰 입자는 파동소광이 잘 관찰되지 않는다. 흑운모는 휘거나 파쇄되어 있으며 대부분 녹리석화 되어 있으며 드물게 한입자가 완전히 녹리석으로 변한것도 관찰된다.

암석지화학

주성분 원소

전주 및 순창엽리상화강암에 대한 화학분석결과와 CIPW norm 값을 Table 1에 나타내었다. 양 암체에 대한 주성분 원소의 변화경향을 대비하여 보기 위해 SiO₂에 대한 각 산화물의 함량 변화도를 Fig. 2에 나타내었다. 각 암체의 분석시료로부터 얻어진 SiO₂함량은 전주암체가 67.75%에서 72.92%로 평균 69.87±1.85%를 보이는 반면 순창암체는 65.63%에서 70.80%로 평균 68.43±1.54%로 나타나 SiO₂ 함량만으로 볼 때 양 암체는 대부분 중복되는 경향을

보이면서도 전주암체가 순창암체에 비해 약간 높은 SiO₂ 함량수준을 보였다. 그러나 전체적으로 전주와 순창지역에 분포하는 엽리상화강암류의 SiO₂ 함량은 65%에서 73%의 범위를 보여 그 변화폭이 작은 경향을 보였다. SiO₂에 대한 각 산화물의 상대적 변화는 양 암체에서 모두 분산상을 보이면서도 전체적으로 SiO₂가 증가함에 따라 Al₂O₃, FeO(t), CaO, MgO, TiO₂, P₂O₅는 감소하는 경향을, K₂O는 증가하는 경향을 보였으나 Na₂O는 SiO₂함량과 어떠한 상관성없이 거의 일정한 경향을 보였다. SiO₂ 대 산화물에서 보여지는 전체적인 변화양상은 이들 암체가 마그마의 분별결정작용과 유사한 분화과정을 거쳤

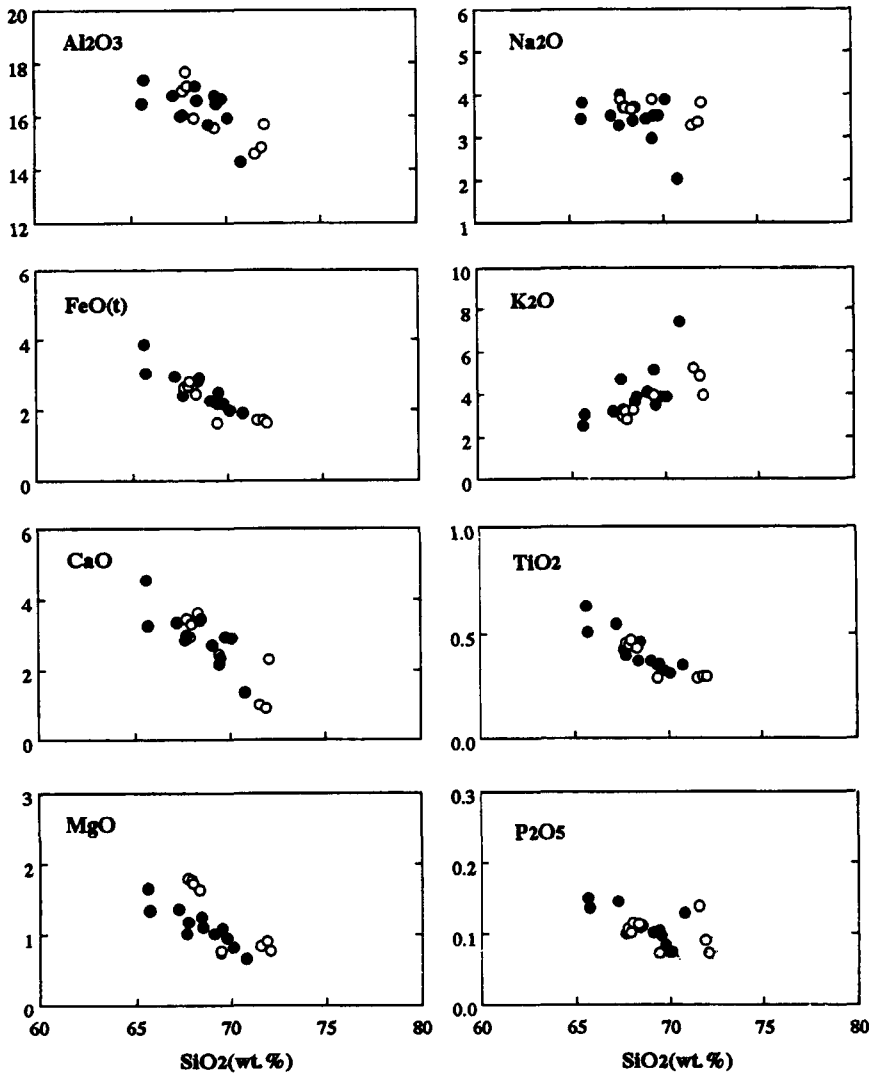


Fig. 2. Harker diagrams for the Chonju and Sunchang foliated granites. open circle: Chonju foliated granite, filled circle: Sunchang foliated granite.

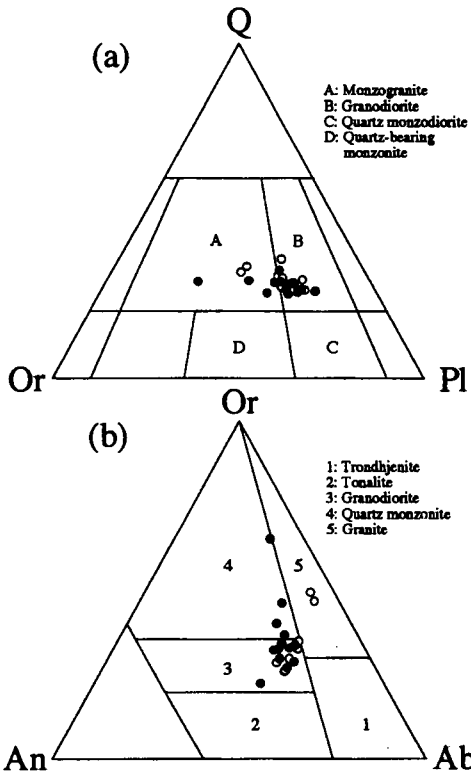


Fig. 3. Normative Q-Or-Pl (a) and An-Or-Ab (b) ternary variation diagram for the Chonju and Sunchang foliated granites. Symbols as in Fig. 2.

음을 시사한다(Bowen, 1928). 화학분석치를 토대로 CIPW norm 조성을 계산하고 normative Q-Or-Pl 삼각도 및 normative An-Or-Ab 삼각도(O'Conner, 1965)를 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에 각각 나타내었다. normative Q-Or-Pl 삼각도에서는 양 암체의 대표시료 대부분이 granodiorite의 영역에 일부가 monzogranite 영역에 도시되는 경향을 보이는 반면 normative Ab-An-Or 삼각

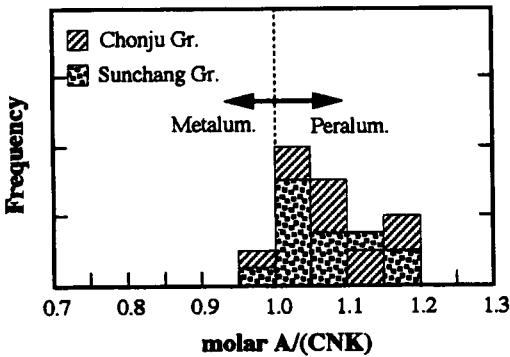


Fig. 4. Shand index histogram for the Chonju and Sunchang foliated granites.

도에서는 normative Q-Or-Pl 삼각도에서와 마찬가지로 대부분의 시료가 granodiorite 영역에 도시되는 경향을 보이나 일부시료 즉 보다 분화가 진행된 시료에서 전주암체와 순창암체가 서로 다른 분화경로를 보이고 있음이 특징적이다. 즉 전주암체의 경우 Or:Ab=50:50으로 변화하는 분화경향을 보여 분화가 진행됨에 따라 granodiorite에서 granite로 분화되는 반면 순창암체에서는 분화가 진행됨에 따라 orthoclase쪽으로 편기하는 경향을 보여 granodiorite에서 quartz monzodiorite로 분화가 진행되는 양상을 보였다. 이는 순창암체가 전주암체에 비해 분화 후기에 K성분이 상대적으로 증가되었다는 사실을 나타내, 후기산물이 강하게 potassic metasomatism에 의해 영향을 받았음을 보이고 있다.

Shand(1951)가 제시한 알루미나 포화도를 기초로 화강암류를 peralkaline(molar Al/(Na+K)<1), metaluminous(molar Al/(Na+K)>1, molar Al/(Na+K+Ca)<1), peraluminous(molar Al/(Na+K+Ca)>1)로 분류한 Streckeisen(1976)의 분류기준에 연구암체를 적용시켜 본 결과 양암체의 시료 대부분이 molar Al/(Na+K+Ca)>1의 값을 보여 양암체가 암석학적으로 대부분 강한 peraluminous로 분류됨을 알 수 있다(Fig. 4). 일반적으로 peraluminous 화강암류는 상부지각물질의 부분 용융에 의해 생성되며 특히 대륙과 대륙이 충돌하는 지구조적 환경에서 생성되기 쉬운 것으로 알려져 있다(Lefort, 1981). 또한 alkalinity와 SiO₂의 상관관계도(Fig. 5)에서 전주 및 순창암체 시료 모두는 calc-alkaline계열을 나타내는 범위에 도시되고 있다.

화강암류 특히 calc-alkaline계열의 화강암류에 대

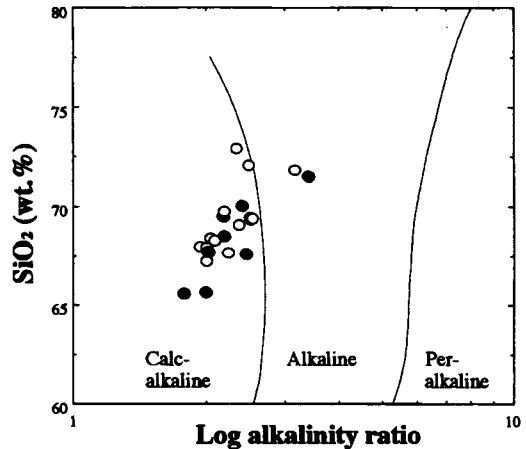


Fig. 5. Log alkalinity ratios vs. silica diagram for the Chonju and Sunchang foliated granites. Classified according to guidelines of Wright (1969). Symbols as in Fig. 2.

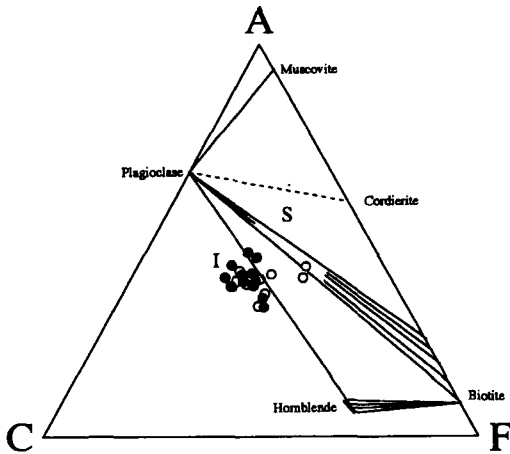


Fig. 6. ACF diagram for the Chonju and Sunchang foliated granites. The boundary of I/S-type granites are after Chappell and White (1974). Symbols as in Fig. 2.

해 그 지화학적 특징과 암석학적 특징을 바탕으로 암석의 성인을 판별하고자 하는 연구가 오랫동안 진행되어 수많은 연구결과가 제시되었다. 그 중에서 가장 널리 받아들여지고 있는 것은 Chappell and White (1974)와 White and Chappell(1977)이 제시한 I/S type으로 I-type 화강암류는 대륙하부지각물질의 재용융에 의해, 반면 S-type은 변성퇴적암류의 재용융에 의해 각각 생성된 마그마로부터 유래되었다고 주장하고 지화학적, 광물학적인 분류기준을 제시하였다. 한편 Ishihara(1977)는 주로 생성된 화강암질 마그마의 산화환원상태에 근거하여 화강암류를 자철석계와 티탄철석계로 분류하고 그 분류기준으로서 대자율값과 함유광물의 차이를 제시하였다. Thakhashi et al.(1980)은 각각의 분류기준에 의해 제시된 자료를 종합하여 자철석계열의 화강암은 I-type 화강암류와 유사한 특성을 보이나 티탄철석계열의 화강암류는 I-type과 S-type 양쪽성을 보임을 제시하고 I/S-type 화강암류의 분류기준으로서 ACF삼각도가 가장 유효함을 밝혔다. I/S-type의 분류기준으로서 가장 유효한

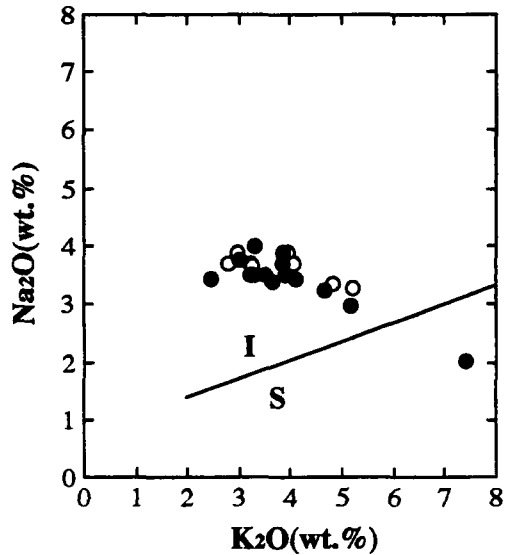


Fig. 7. Na₂O vs. K₂O diagram for the Chonju and Sunchang foliated granites. Symbols as in Fig. 2.

ACF 삼각도에 대상암체의 화학분석결과를 도시한 결과 모든 자료가 plagioclase-hornblend 접속선 가까이나 그 하부에 도시되는 특성을 보여 조사대상 화강암체들이 모두 I-type에 해당함을 보여준다(Fig. 6). 이는 다시 Na₂O-K₂O관계도(Fig. 7)에서도 모두 I-type로 분류되어 위 분류결과를 잘 입증해주고 있다. 그러나 또 다른 I/S-type 분류기준인 normative Corundum에서는 전주암체가 0.07~3.09(1.51±1.00), 순창암체가 0.20~2.86(1.28±0.90), atomic K/(K+Na)에서는 전주암체가 0.46~0.64(0.53±0.15), 순창암체가 0.45~0.80(0.56±0.09)으로 ACF 삼각도나 Na₂O-K₂O관계도와는 달리 대부분 S-type으로 분류되고(Table 2), molar A/(CNK)에서는 I-type(<1.1)와 S-type(>1.1)으로 양분되는 경향을 보이는 등 분류기준에 따라 서로 다른 결과를 보였다. 한편 Ishihara(1975) 등에 의해 제시된 자철석/티탄철석계열의 분류기준에 의거하여 조사암체를 분류해보면, 전주암체는 대자율이 0.11에서

Table 2. Other parameters for the classification scheme of I/S-type and magnetite/ilmenite-series granites

		Norm. C %	Atomic K/(K+Na)	Atomic Fe ³⁺ /(Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	Magnetic susceptibility
Chonju	range	3.09~0.07	0.64~0.46	0.60~0.37	0.11~0.20
	X±σ	1.51±1.00	0.53±0.15	0.51±0.07	0.14±0.03
Sunchang	range	2.86~0.20	0.80~0.45	0.88~0.20	0.11~3.93
	X±σ	1.28±0.90	0.56±0.09	0.60±0.18	0.96±1.31
S-type		>1.00	>0.50		
Manetite				>0.33	>0.30

0.20의 범위를 보여 모두 티탄철석계(<0.30)에 해당하는 값을 보이거나 $Fe^{+3}/(Fe^{+2}+Fe^{+3})$ 의 비는 0.37에서 0.60으로 모두 자철석계(>0.33)로 분류되는 경향을 보여 I/S-type에서와 마찬가지로 분류기준에 따라 서로 다른 결과가 얻어졌다. 반면 순창암체는 대자율과 $Fe^{+3}/(Fe^{+2}+Fe^{+3})$ 의 비에서 각각 $0.11\sim 3.93(0.96\pm 1.31)$, $0.20\sim 0.88(0.60\pm 0.18)$ 의 범위와 평균값을 보여 일부 티탄철석계에 속하는 것도 있지만 대부분 자철석계에 속하는 일관적인 특성을 보였다(Table 2).

이상의 결과를 종합하면, 전주와 순창엽리상화강암은 그 주성분원소 조성에 있어 대부분 서로 중복되는 함량적 분포를 보였으며 암석학적으로는 대부분 화강섬록암에 속하지만 분화가 진행될수록 전주엽리상화강암체는 화강암으로 전이되는 반면 순창엽리상화강암은 quartz monzodiorite로 전이하는 경향을 보였다. 양 암체는 모두 지화학적으로 peraluminous, calc-alkaline 계열에 속하는 특성을 보여 이들 암체가 지각 물질의 재용융에 의해 생성된 마그마가 비교적 산소

분압이 높은 환경에서 분화되었음을 나타낸다. 마그마의 성인분류에 있어서는 양 암체 모두 기존 I/S-type 분류기준에 의해 일관적으로 분류되지않는 특성을 보였다. 한편 자철석/티탄철석 계열의 분류기준에 의해서는 전주암체가 양쪽성을 보이는데 반해 순창암체는 일관적으로 자철석계열로 분류되는 특성을 보여 전주암체와 생성환경 차이가 있음을 추측할 수 있게 한다.

미량성분 원소

마그마가 분화하는 동안 미량성분 원소들은 정출 원소와 잔장사이의 분배계수(D)에 따라 그 함유량이 달라진다. 일반적으로 K, Rb, Sr, Ba, 희토류원소(REE)등을 포함하는 친석원소들은 $D < 1$ 로 마그마의 결정분화작용동안 잔장에 농축되는 경향을 보이며 화강암류를 형성시킨 근원마그마의 진화를 평가하는데 있어 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 주로 Rb, Sr, Ba을 대상으로 근원마그마의 진화를 평가하고자 각 원소를 주성분 원소 분석과 함께 분말압축성형법과 XRF로 동시분석하였다. 그 결과는 Table 1에 나타냈다.

이들 원소들의 함유농도는 대부분 장석분별작용에 의해 지배되므로 장석분별작용과 분화가 진행됨에 따라 K와 Rb은 Sr에 비해 잔장에 부화되는 경향을 보이며 그 부화율은 K에 비해 Rb이 더 크다. 한편 Ba은 분화초기에는 잔장에 부화되다가 분화후기에는 다시 감소되는 경향을 갖는다. 따라서 이들 원소들은 고도로 분화된 마그마일수록 Rb이 상대적으로 부화되는 조성을 갖게된다.

SiO_2 함량에 따른 Ba, Rb, Sr원소의 변화를 나타낸 Fig. 8에서 보는 것 처럼, 전주엽리상화강암은 SiO_2 가 증가함에 따라 Ba의 경우 심하게 분산되면서 증감의 변화를 찾기 어려운 반면 Rb은 급격히 증가되는 경향을 Sr은 급격히 감소되는 경향을 보이고 있으나 순창엽리상화강암은 모든 원소가 전체적으로는 SiO_2 가 증가함에 따라 Ba와 Rb은 증가하는 경향을, Sr은 감소하는 경향을 보이지만 모두 전주암체에 비해 매우 심하게 분산되어 있어 미량원소 화학적으로 교란되어 있음을 시사한다.

전주와 순창엽리상화강암의 분화정도를 알아보기 위하여 각 암체에서 분석된 미량원소자료를 Rb-Ba-Sr삼각도(Bouseily and Sokkary, 1975)와 K/100-Rb-Sr삼각도(Krauskopf, 1967; Tischendorf, 1977)에 도시하였다(Fig. 9). Rb-Ba-Sr삼각도(Fig. 9(a))와 K/100-Rb-Sr삼각도(Fig. 9(b))에서 전주 및 순창엽리상화강암은 주성분 원소에서와 마찬가지로 대부분 서로 중복되는 원소조성을 보이고 있으며 분류기준에

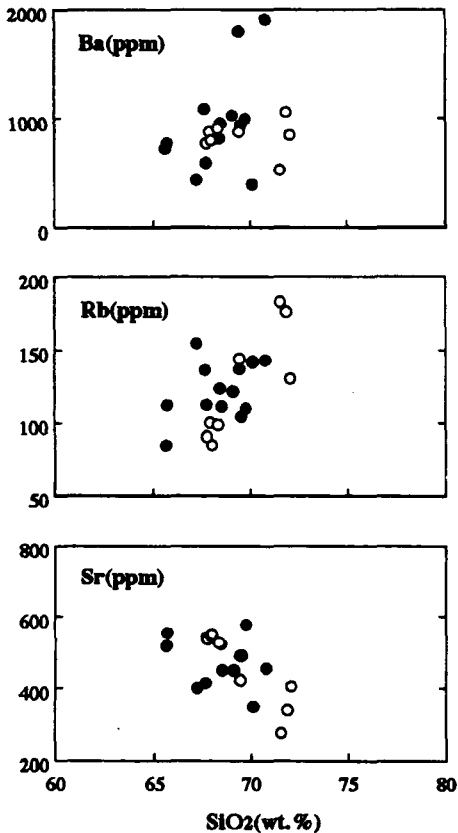


Fig. 8. Scatter diagrams of trace elements vs. silica for the Chonju and Sunchang foliated granites. Symbols as in Fig. 2.

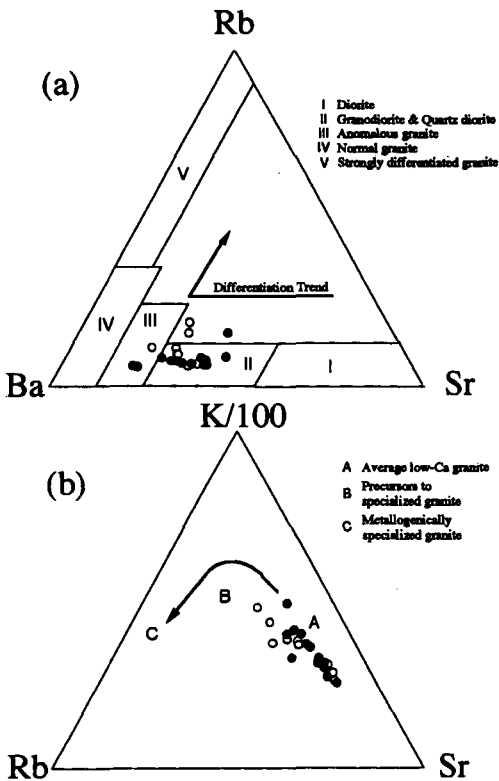


Fig. 9. Rb-Sr-Ba (a) and K/100-Rb-Sr ternary variation diagram showing average compositions of the granitoids. The arrow represents differentiation trend. Symbols as in Fig. 2.

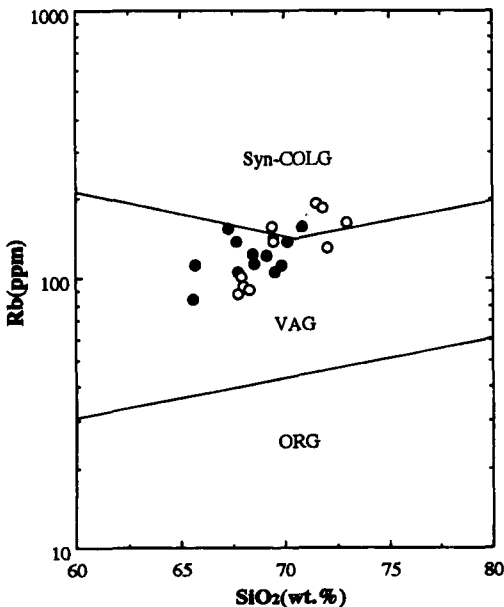


Fig. 10. Rb vs. SiO_2 diagram for the Chonju and Sunchang foliated granites. Classified according to guidelines of Pearce et al. (1984). Symbols as in Fig. 2.

따르면 양암체는 미량원소 지화학적으로 각각 granodiorite와 average low-Ca granite에 속함을 알 수 있다. 이러한 특성은 주성분원소 조성에서의 일치된 경향으로 양암체를 형성한 마그마의 분화정도가 서로 유사했음을 시사하고 있다.

Pearce et al. (1984)은 화강암류를 마그마의 관입위치에 따라 Oceanic Ridge Granite(ORG), Volcanic Arc Granite(VAG), Collision Granite(COLG)등으로 구분하고 이들에 대한 판별기준으로서 SiO_2 -Rb 관계도를 제시하였다. 이러한 판별기준에 따라 조사대상 화강암체들의 지구조적 위치를 추정해본 바 Fig. 10에 나타난 것 처럼 양 암체를 형성시킨 마그마의 관입위치는 대부분이 VAG에 속하며 일부 특히 분화가 상대적으로 진행된 시료는 Syn-COLG에 속함을 알 수 있다.

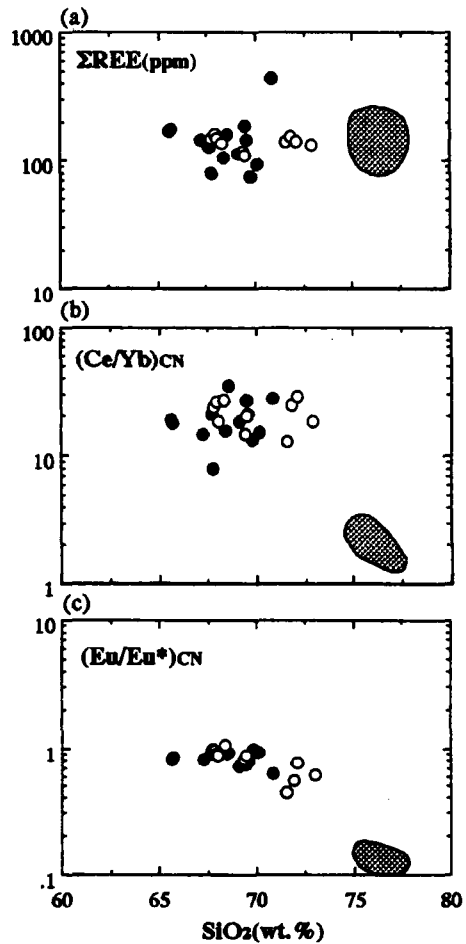


Fig. 11. Variations in ΣREE (a), $(Ce/Yb)_{CN}$ (b), and $(Eu/Eu^*)_{CN}$ (c) with SiO_2 for the Chonju and Sunchang foliated granites. The dotted areas are of Cretaceous granitoids. Symbols as in Fig. 2.

희토류 원소(REE)

희토류 원소들은 모두 지화학적으로 유사한 성질을 갖고 있고 일반적으로 운석값에 의해 표준화된 각 희토류 원소의 부화정도는 근원암에서의 초기 REE 함량, 부분용융의 정도 및 일련의 분별결정화작용과 흡수적이기 때문에 화성암류의 암석성인을 연구하는데 있어 유용하게 이용되고 있다.

전주 및 순창엽리상화강암에 대한 희토류원소의 분석결과는 Table 1에 나타냈으며, 마그마의 분화정도에 따른 희토류원소의 거동을 알아보기 위하여 Fig. 11에 SiO_2 에 대한 희토류원소의 총합량(ΣREE), $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{CN}}$, $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 을 각각 도시하였다. 또한 Nakamura 운석값(Nakamura, 1973)에 의해 표준화된 희토류원소의 분포 경향을 보이기 위해 Fig. 12에 각 희토류 원소의 원자 번호순으로 그 표준화된 값을 도시하였다.

희토류원소의 총합량(ΣREE)은 전주엽리상화강암이 108.18~156.96 ppm으로 비교적 일정한 범위를 보이는데 반해 순창엽리상화강암은 77.80~442.33 ppm으로 보다 분산된 범위의 함량분포를 보인다. 이처럼 큰 폭의 REE 총합량 분포는 일반적으로 화강암류의 ΣREE 대부분이 allanite, sphene, zircon, apatite 등과 같이 다량의 REE를 함유하는 부성분 광물에 함유되어 있다는 점으로 미루어 이들 광물들의 분포에 대한 상대적 불균질성을 반영하는 결과로 생각된다. 그러나 양암체의 ΣREE 는 평균적으로 볼 때 서로 유사하며 SiO_2 함량변화와 특정한 상관성을 보이지 않는 경향을 보였다(Fig. 11(a)). LREE와 HREE의 상대적 부

화도를 나타내는 $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{CN}}$ 은 전주엽리상화강암이 12.79~28.74, 순창엽리상화강암이 8.12~35.13으로 대부분 서로 유사한 LREE부화도를 보였으며 이 또한 SiO_2 함량변화와 특정한 상관성을 보이지 않았다(Fig. 11(b)). $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 은 전주엽리상화강암이 0.45~1.05, 순창엽리상화강암이 0.63~0.97로 양암체 모두에서 부의 Eu이상은 매우 작거나 거의 나타나지 않았다. 부의 Eu이상은 일반적으로 장석의 분별작용과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있는 반면 조사암체에서와 같은 Eu이상의 결핍은 대략 대륙이나 대륙주변부와 같은 구조적 환경에서 형성된 화성암류에서 자주 보고되고 있으며 매우 다양한 방법으로 해석되고는 있지만 그의 암석성인적 중요성은 아직 명확히 밝혀지지 않고 있다(Hanson, 1978; Cullers and Graf, 1984; Witt and Swager, 1989). SiO_2 와 $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 의 상관관계도(Fig. 11(c))는 $\text{SiO}_2 < 70\%$ 에서는 거의 일정한 $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 값을 보이지만 $\text{SiO}_2 > 70\%$ 에서는 SiO_2 가 증가함에 따라 $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 이 점차 낮아지는 경향을 보여 분화가 진행될수록 부의 Eu이상이 커짐을 알 수 있다.

이상을 종합하면, 전주와 순창엽리상화강암에서 보여지는 REE 분포형태는 높은 상호 유사성과 작거나 거의 없는 Eu(-) 이상(negative Eu anomaly)과 매우 큰 $(\text{Ce}/\text{Yb})_{\text{CN}}$ 비를 갖는 REE분포를 보였다(Fig. 12). 이는 이들 화강암체가 서로 유사한 단계의 결정 분별과정을 거쳤음을 시사하고 있다. 또한 이러한 분포경향은 기발표된 주라기 대보화강암의 REE 분

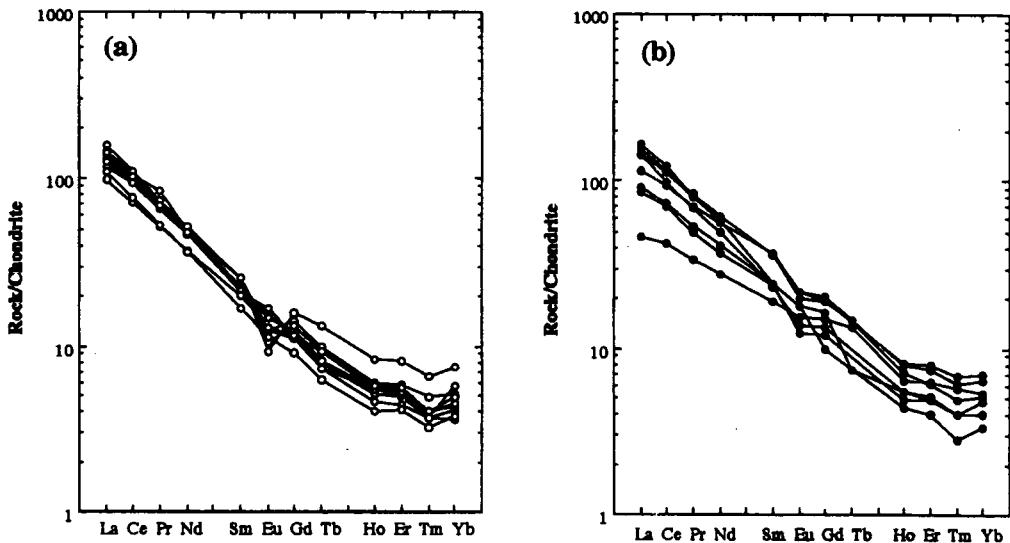


Fig. 12. Chondrite-normalized REE patterns for the Chonju (a) and Sunchang (b) foliated granites. Normalization values are those recommended by Nakamura (1973).

포형태와 매우 유사하다(김규한과 신윤수, 1990; Tsusue *et al.*, 1987). 이와 같은 형태의 REE분포경향은 잔류 석류석과 각섬석을 함유하는 하부지각물질의 부분용융(Arth and Hanson, 1975; Arth and Baker, 1976) 또는 각섬석의 침전제거를 수반하는 분별결정화 작용(Frey *et al.*, 1976)의 결과로서 해석되어진바 있다.

결 론

진안층군을 사이에 두고 옥천대의 중앙대와 동남대 중앙부에 각각 분포하고 있는 전주염리상화강암과 순창염리상화강암의 암석학적 및 지화학적 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 특성을 보여준다.

1. 전주 및 순창염리상화강암체는 대부분 염리상흑운모화강암으로 구성되어 있으며 부분적으로 반정조석이 발달되어있다. 순창암체의 경우 일부 각섬석을 포함하기도 한다.

2. 전주 및 순창염리상화강암은 주성분 및 미량성분원소에서 매우 유사하고 중복되는 함량분포를 보였으며 암석지화학적으로 대부분 화강섬록암에 속하였으나 분화가 진행됨에 따라 전주암체는 Or대 Ab의 비가 거의 1에 가까워지면서 화강암으로 진화되는 반면 순창암체는 현저하게 Or쪽으로 편기되면서 quartz monzodiorite로 진화되는 경향을 보였다.

3. 양 암체는 원소화학적으로 모두 peraluminous, calc-alkaline계열에 속하며, 대부분이 VAG, 일부 특히 분화가 진행된 시료의 경우 Syn-COLG에 해당하는 특성을 보여 대륙이나 대륙연변부의 구조운동시 지각물질이 재용융된 마그마로부터 분화된 산물임을 시사한다.

4. 양 암체는 마그마의 기원을 추정할 수 있는 I/S-type의 분류기준에 의거 일관적으로 분류되지않는 특성을 보였으며 마그마의 생성환경과 밀접한 관계가 있는 자철석/티탄철석 계열의 분류기준에서는 전주암체가 I/S type 분류와 마찬가지로 분류의 일관성이 보이지 않았으나 순창암체는 일관성있게 자철석 계열로 분류되는 특성을 보였다. 전체적으로 볼 때 양 암체는 모두 I-type과 자철석 계열의 특성이 S-type과 티탄철석 계열의 특성에 비해 강하게 나타났다.

5. 양 암체의 희토류원소 분포특성은 대부분의 국내 선맥악기 화강암류에서와 마찬가지로 고도로 부화된 LREE, 거의 없거나 매우 작은 부의 Eu이상을 보였으며, 전주암체가 순창암체에 비해 약간 큰 부의 Eu이상을 보이고 있지만 대부분이 거의 중복되는 Eu(-)이상, ΣREE 및 LREE부화도를 보여 이들 암체가 거의 동일한 분화과정을 거쳤음을 시사하고 있다.

6. 이상의 결과로부터 전주 및 순창염리상화강암은 암상적으로나 원소화학적으로 뚜렷한 차이없이 대부분이 거의 중복되는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 양 암체가 유사하거나 동일한 기원의 마그마 특히 화성암질 지각물질의 부분용융에 의해 생성된 화강암질 마그마로부터 유래되었음을 시사함과 아울러 그 분화과정에서도 거의 유사한 경로를 거쳐 형성되었음을 알 수 있다.

사 사

본 연구는 전략광물자원연구센터의 연구비와 전북대학교 기초과학연구소의 교육부 학술 연구조성비(BSRI-97-5425)에 의하여 연구된 것임을 밝히며 이에 감사한다.

참고문헌

- 김규한, 신윤수, 1990, 충주-월악산-제천 화강암류의 암석지화학적 연구, 광산지질 23(2), 245-259.
- 김옥준, 1971, 남한의 신기화강암의 관입시기와 지각변동, 광산지질 4, 1-10.
- 김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기 화강암질암의 지질시대와 성인에 대한 연구, 광산지질 19권 특별호, 151-162.
- 김용준, 김정민, 1988, 장계-일실간에 분포하는 화성암류에 대한 암석학적 연구, 지질학회지 24 특별호, 87-110.
- 김용준과 이창신, 1988, 장수-운봉지역에 분포하는 화성암류와 화성활동에 대한 연구, 지질학회지 24 특별호, 111-131.
- 김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 1989, 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동(I): 남원-거창-상주 지역을 중심으로, 광산지질 22(4), 355-370.
- 김용준, 박영석, 강상원, 1994, 호남 전단대내에 분포하는 염리상화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구, 자원환경지질 27(3), 247-261.
- 김정민, 김용준, 1984, 광주 북동부에 분포하는 소위 편상 화강암에 대한 암석학적 연구, 광산지질 17, 197-214.
- 김정민, 김용준, 1990, 담양-진안사이에 분포하는 염리상 화강암에 대한 암석 지화학적 연구, 광산 지질 23, 233-244.
- 남기상, 서영교, 1985, 전주 편마암과 황산 흑운모화강암의 미량성분에 관한 연구, 전북대학교 교육논총 제 5집, 197-205.
- 박희인, 1966, 한국지질도 순창도폭(1:50,000), 국립지질조사소.
- 전주지질도(1:250,000), 1973, 국립지질 광물연구소.
- 조규성, 1987, 전주일대에 분포하는 화강암과 변성암의 미량성분에 관한 연구, 전북대학교 석사학위논문.
- 주승환, 1986, 영남육괴와 Rb-Sr년대측정연구 III(예천-단양, 무주-거창지역 화강암질편마암 및 화강암류의 Rb-Sr년대측정), 한국동력자원연구소 KR-86-2-17, 1-28.
- 주승환, 김성재, 1986, 영남육괴 연대측정연구 II(지리산 서남부 일대 화강암질 편마암 및 편마상 화강암류), 한국동력자원연구소 KR-86-7, 7-33.

- Arth, J. G. and Baker, F., 1976, Rare earth partitioning between hornblend and dacitic liquid and implications for the genesis of trondhjemitic-tonalitic magmas, *Geology* 4, 534-536.
- Arth, J. G. and Hanson, G. N., 1975, Geochemistry and origin of the early Precambrian crust of northern Minnesota, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 39, 325-362.
- Bouseily, A. M. and Sokkary, A. A., 1975, The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks, *Chem. Geol.* 16, 207-219.
- Bowen, N. L., 1928, The evolution of igneous rocks, Princeton univ. press, Princeton.
- Chappell, B. W., and White, A. J. R., 1974, Two contrasting granite type, *Pacific Geology* 8, 173-174.
- Crock, J. G., Lichte, F. E. and Wildman, T. R., 1984, The group separation of the rare-earth elements and yttrium from geologic materials by cation-exchange chromatography, *Chem. Geol.* 45, 149-163.
- Cullers, R. L. and Graf, J. L., 1984, Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust; intermediate and silicic rocks-ore petrogenesis, In Hanson, P.(ed.), *Rare earth element geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 275-316.
- Frey, F. A., Chappell, B. W. and Roy, S. D., 1976, Fractionation of rare earth elements in the Toulumne intrusive series, Sierra Nevada batholith, California, *Geology* 6, 239-242.
- Hanson, G. N., 1978, The application trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition, *Earth Planet. Sci. Lett.* 38, 26-43.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks, *Mining Geology* 27, 293-305.
- Krauskopf, K. B., 1967, *Introduction to Geochemistry*, New York, McGraw-Hill, 721.
- Lefort, P., 1981, Manasulu leucogranite; a collision signature of the Himalaya. A model for its genesis and emplacement, *J. Geophys. Res.* B11, 86, 10545-10568.
- Na, C. K., Nakano, T., Tazawa, K., Sakagawa, M. and Ito, T., 1995, A systematic and practical method of liquid chromatography for the determine of Sr and Nd isotopic ratios and REE concentrations in geologic samples, *Chemical Geology*, 123, 225-237.
- Nakamura, N., 1973, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 38, 757-775.
- O'Conner, J. T., 1965, A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios, U.S. Geol. Surv. Prof. paper, 525b, 79.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984, Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks, *J. Petrol.* 25, 956-983.
- Shand, S. J., 1951, *Eruptive rocks*, New York, John Wiley, 488.
- Simamura, 1925, Geologic map of Korea, Chonju and Chinan sheet, *Surv. of Chosen.*
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name, *Earth Sci. Rev.*, 12, 1-33.
- Thakahashi, M., Aramaki, S. and Ishihara, S., 1980, Magnetite-ilmenite series vs I/S-types, *Mining Geology, Special Issue*, 8, 13-28.
- Tischendorf, G., 1977, Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with acid magmatism, *Stemprok, M., Burnol, L. and Tischendorf, G. eds.*, 2, 41-96, *Geol. Surv. Prague.*
- Tsue, A., Mizuda, T., Tamai, T. and Kim, S. W., 1987, Mesozoic granitic rocks of south Korea; Trace elements evidence regarding their differentiation; 2. REE patterns, *J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.* 82, 23-35.
- White, A. J. R. and Chappell, B. W., 1977, Ultramorphism and granitoid genesis, *Technophy.* 43, 7-22.
- Witt, W. K. and Swager, C. P., 1989, Structural setting and geochemistry of Archean I-type granites in the Bardoc-Cooligardi area of the Norseman-Wiluna belt, Western Australia. *Prec. Res.* 44, 323-351.
- Write, J. B., 1969, A simple alkakinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.* 106, 370-384.