

승주-순천 지역에 분포하는 정편마암류의 지구화학적 특성

안건상^{1,*} · 오창환² · 박배영³

¹조선대학교 지구과학과, 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

²전북대학교 지구환경과학과, 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

³전남대학교 지구환경과학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

Geochemistry of Orthogneisses in the Seungju-Suncheon Area, Korea

Kun Sang Ahn^{1,*} · Chang Whan Oh² · Bae Young Park³

¹Department of Earth Sciences, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

²Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

³Division of Earth and Environmental Sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

Abstract: Granite gneiss, pophyroblastic gneiss and leucocratic gneiss are widely distributed in the Seungju-Suncheon area, the southwestern part of the Sobacksan Massif, Korea. These orthogneisses show intrusive relationships in outcrops of the study area. This study focuses on the geochemical properties and the tectonic environments for the original rocks of these orthogneisses. The pophyroblastic gneiss is plotted in diorite and granodiorite domain, and granite gneiss and leucocratic gneiss are plotted in both of granodiorite and granite domains on IUGS silica-alkali diagram. Geochemical properties of major elements suggest that these rocks are sub-alkali rock series, and were formed from S-type magma which generated in syn-collision tectonic environment. Discrimination diagrams using HFS elements suggest that original rocks of the three orthogneisses were granitoid of calc-alkali rock series, and were formed in syn-collision environment.

Key words: geochemistry, orthogneisses, Seungju-Suncheon area, Sobacksan massif, tectonic setting

요 약: 소백산육괴의 서남부에 위치한 승주-순천 지역에는 화강편마암, 반상변정질편마암, 우백질편마암이 우세하게 분포한다. 이들 정편마암은 연구지역에서 순차적인 관입관계를 보여준다. 이 연구는 이 세 정편마암들의 원암인 화강암질암의 지구화학적특징과 지구조적인 환경을 파악하고자 하였다. 실리카-알칼리 IUGS 분류도에 의하면 반상변정질 편마암은 섬록암에서 화강섬록암 영역에 속하고, 화강편마암과 우백질편마암은 화강섬록암과 화강암 영역에 걸쳐 접시된다. 주성분원소의 여러 특성은 본 편마암류의 원암은 비알칼리암이며, 동시충돌형 구조장에서 형성된 S형의 마그마임을 지시한다. 고장력원소를 이용한 구조장 판별도에서는 본 편마암류의 근원암이 칼크알칼리암계열의 화강암류이며, 동시충돌형 구조장에서 형성되었음을 지시한다.

주요어: 지구화학, 정편마암, 승주-순천지역, 소백산육괴, 구조장

서 언

한반도의 기저는 북쪽에서 남쪽으로 선캠브리아시대의 낭림육괴, 경기육괴, 그리고 소백산육괴로 구성되어있으며, 낭림육괴와 경기육괴는 임진강대에 의해, 그리고 경기육괴와 소백산육괴는 옥천대에 의하여 분

리되어 있다. 소백산 육괴는 경기육괴와 달리 화성기 원으로 보이는 편마암류가 광범위하게 분포하고 있다(나기창, 1998). 특히 소백산육괴 서남부 지역인 지리산 일대에는 화성기원으로 생각되는 화강편마암, 반상변정질편마암 및 우백질편마암이 우세하게 분포하고 있다(이민성 외, 1989; 유환수 외, 1993; 송용선, 1999).

김용준(1988)은 본 연구 지역을 포함한 광범위한

*E-mail: aksahn@mail.chosun.ac.kr

지리산지역에 분포하는 고기화강암류에 대한 지질연대 연구에서, 화강편마암이 관입정지 한 이후 이어서 반상변정질편마암이 생성된 것으로 해석했다. 또한 화강편마암, 반상변정질편마암 및 혼성편마암 사이의 관계는 관입 및 점이적 관계로 해석했다. 또한 그는 영남육괴의 지리산 지역에 분포하는 편마상화강암이나 화강암질 편마암류들은 거의 같은 시기에 관입한 고기 마그마의 일련의 분화상일 가능성을 제시했다. 한편 조규성·남기상(1990)과 조규성(1994, 2000)은 지리산 지역의 편마암복합체에 대해 미량성분으로 원암의 성인(퇴적암과 화성암)을 밝히는 노력을 해왔다.

본 연구에서는 순천시와 승주군 일대에 산출되는 편마암의 변성암석학적, 동위원소지질학적 연구에 앞서, 이들에 대한 정밀한 야외조사 결과를 기초로 편마암류가 가진 지구화학적 특징을 알아보고자 한다. 이러한 연구에서 문제점은 본 연구의 대상 암체가 화강암류가 변성되어 만들어진 정편마암인 것은 야외에서 관입 관계로 확인되지만, 다양한 변성작용을 경험하는 동안 원소의 이동이 광범위하게 일어났을지도 모른다는 점이다. 만일 모든 원소의 이동이 활발하였다면 편마암류의 원암에 대한 해석이 불가능할 수도 있다. 그러나 여기서는 변성작용시 원소의 이동이 제

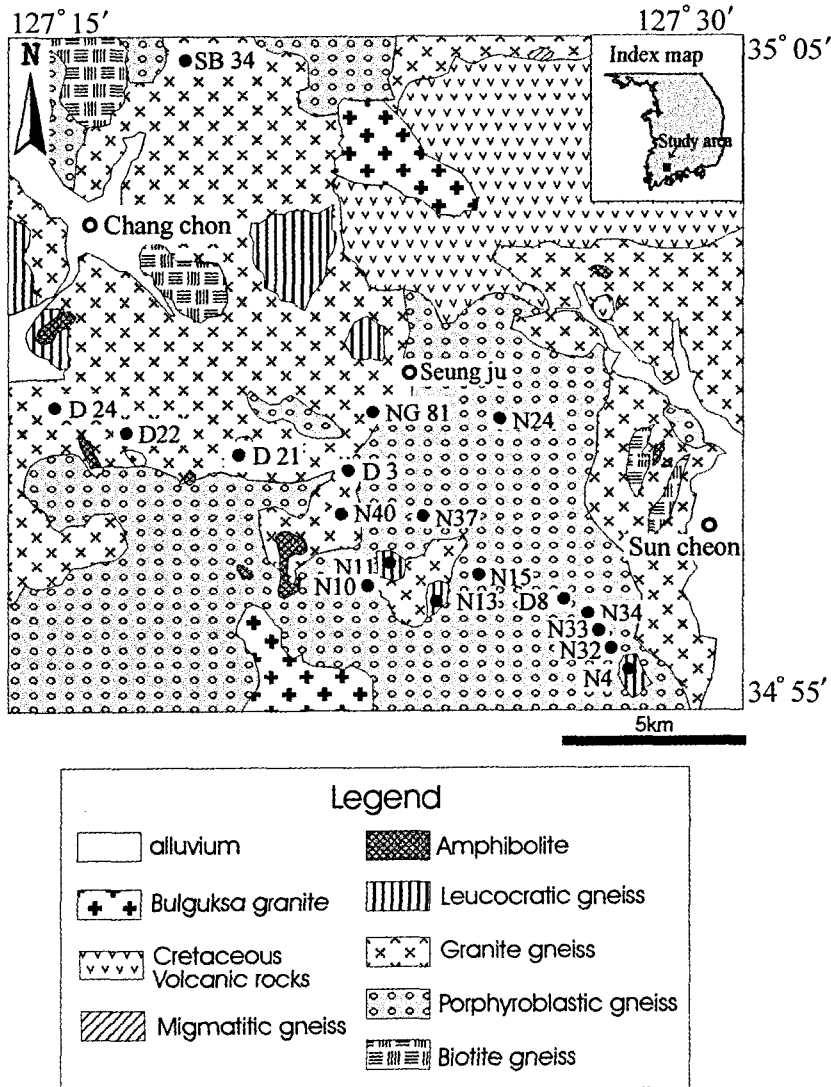


Fig. 1. Geologic map of the Seungju-Suncheon area (after Lee *et al.*, 1989; You *et al.*, 1993).

한적으로 일어났다는 가정 하에서 주원소, 미량원소 및 희토류원소가 나타내는 특성을 변성되지 않은 화강암을 대상으로 하는 연구방법을 이용하여 편미암류의 근원암을 추적하고자 하였다.

지질개요 및 암석기재

연구지역인 전라남도 승주-순천 지역은 괴목도폭(유환수 외, 1993) 남부지역과 순천도폭(이민성 외, 1989) 북부지역에 걸쳐있으며 주로 선캄브리아기의 변성암류로 이루어져 있다. 이들 변성암류의 일부는 백악기의 퇴적암류와 화산암류에 의해 부정합으로 덮이거나 관입되고 있으며, 선캄브리아기의 변성암류와 백악기 퇴적암류 및 화산암류는 다시 백악기의 불국사 화강암에 의해 관입당했다(Fig. 1). 변성암류는 화강편마암과 반상변정질편마암이 주를 이루며, 이외에 우백질편마암, 흑운모 편마암, 미그마타이트질 편마암, 그리고 각섬암이 함께 산출된다. 연구지역에서 북동-남서 주향을 가지며 남동으로 경사하는 엽리가 우세하나 곳에 따라 다양한 변화를 보인다. 그리고 연구지역의 일부에서는 단층 파쇄대 및 압쇄화작용의 흔적들이 관찰된다.

화강편마암은 연구지역의 중서부와 동부에서 비교적 넓게 분포한다. 본암은 극부적으로 유색광물의 함량의 차이를 보이나 유색광물(주로 흑운모)이 우세한 곳에서는 흑운모의 정향 배열에 의한 편마구조가 관찰된다. 주 구성광물은 중립 내지 조립질의 석영, 미사장석, 퍼사이트, 사장석, 흑운모, 백운모, 석류석이며 규선석, 저어콘, 인회석, 티탄철석 등이 부수적으로 산출한다. 석류석은 1~3mm의 반상변정으로 산출하며 경우에 따라서는 석영과 흑운모를 포획하고 있다. 백운모는 0.5mm 미만의 세립으로 산출하며 일부에서는 사장석의 변질에 의한 2차 광물로서 산출되기도 한다.

흑운모편마암은 북서부인 창촌일대에 분포하며, 화강편마암과 반상변정질편마암 내에 포획암 형태로도 산출하며 흑운모로 이루어진 암갈색 대와 석영장석질의 우백색 대의 교호에 의한 뚜렷한 편마구조를 보여준다. 흑운모 편마암의 주 구성광물은 중립질의 석영, 미사장석, 사장석, 흑운모 및 백운모이다. 미그마타이트질 편마암은 북동부 지역에서 소규모로 산출되며 암갈색 대와 우백색 대가 서로 교호하면서 호상구조를 보이나 전체적으로 미그마틱 습곡 등이 발달

하면서 원래의 편마구조가 교란되어 나타난다. 주 구성 광물은 흑운모 편마암과 유사하고 주로 석영, 퍼사이트, 미사장석, 사장석, 흑운모 석류석 등으로 구성되어 있다.

반상변정질편마암은 화강편마암과 함께 연구지역을 대표하는 암석으로 연구지역의 중남부 및 북부에서 나타난다. 반상변정은 주로 미사장석이나 퍼사이트로 되어있고 보통 5cm 내외의 크기이나 일부 지역에서는 10cm 이상의 거정으로 산출된다. 이들은 대부분 엽리에 평행하게 장방형의 배열을 보이고 일부 지역에서는 안구상 편마암의 형태로 나타난다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 퍼사이트, 흑운모, 석류석이고 저어콘과 인회석이 부수적으로 산출된다. 일부 시료에서는 근청석, 홍주석 및 규선석이 관찰된다. 석류석은 보통 중립질이고 경우에 따라서는 흑운모와 사장석을 포획하고 있으며, 매우 드물게는 석류석이 장석 반상변정 내에 산출한다.

우백질편마암은 곳곳에 소규모적으로 산재되어 화강편마암과 반상변정질편마암을 관입하지만, 승주읍 북서부에서는 비교적 큰 규모로 나타난다. 우백질편마암의 주 구성광물은 중립 내지 조립질의 석영, 사장석 및 정장석이고 간혹 흑운모와 석류석이 주 구성광물과 수반되어 나타나는데, 화강편마암과의 관입 접촉부에서 석류석이 밀집되어 관찰된다. 각섬암은 여러 지역에 소규모로 산출되며 주로 각섬석과 사장석으로 되어 있으며 약간의 흑운모와 석영을 포함한다.

주승환·김성재(1986)는 보성-순창 지역의 화강편마암과 반상변정질편마암에 대해 각각 $2,230 \pm 50\text{Ma}$ 와 $2,090 \pm 60\text{Ma}$ 의 Rb/Sr 전암연령을 보고하였다. 한편, 연구지역의 인접지역에서 Turek and Kim(1996)은 화강편마암과 반상변정질편마암으로부터 각각 $1934 \pm 14\text{Ma}$ ~ $2120 \pm 10\text{Ma}$, $1890 \pm 6\text{Ma}$ ~ $1945 \pm 5\text{Ma}$ 의 U/Pb 저어콘 연대를 보고한 바 있다. 비록 두 연구에서의 연대측정 결과가 약 100~200Ma의 차이를 보이고 있으나, 두 연구 모두 화강편마암보다 후기에 반상변정질편마암이 관입하였음을 지지하며, 이는 반상변정질편마암이 화강편마암을 관입하고 있는 야외 관찰 결과와 잘 일치하고 있다. 김용준(1986)은 Ar/Ar 연령 측정 방법을 이용하여 연구 지역의 변성작용 연대로 예상되는 $1998 \pm 8\text{Ma}$ 의 각섬석 연대, $1330 \pm 2\text{Ma}$ 의 백운모 연대, 그리고 $261 \pm 2\text{Ma}$ 흑운모 연대를 보고하였다. 하지만 이들 자료가 연속적인 냉각 시기를 지지하는지 혹은 서로 독립된 열 역사를 지

시하는지 현재로서는 확실하지 않다. 한편, 김동연 (1999)은 하동-산청 지역에 산출하는 백립암상의 변성작용을 받은 차노카이트로부터 1820±11Ma 전암-석류석 Sm/Nd 연대를 보고하였다.

광물 화학

화강편마암 2개, 반상변정질편마암 3개 시료를 선별한 후, 이들의 연마편을 제작하여 전자현미분석(EPMA)을 실시하였다. 전자현미분석은 고려대학교 전략광물 자원센터(CMR)의 JEOL JXA-8600을 사용하였다. 분석조건은 가속전압 15kv, 빔(beam) 직경은 5µm, 그리고 빔 전류는 10nA이다. 분석치 보정은 ZAF 방법을 사용하였다. 각 원소의 분석에 사용된 표준광물은 천연산 혹은 합성광물로서 알바이트(albite; Na, Al, Si), 규회석(wollastonite; Ca), 정장석(K-feldspar; K), 알만딘(almandine; Fe), 장미석(rhodonite; Mn), 파이로프(pyrope; Mg), 그리고 합성 TiO₂(Ti)이다. 광물성분의 분석자료에서 Fe 값은 모두 Fe²⁺로 계산되었다.

사장석

사장석은 연구지역의 편마암류에 보편적인 주구성 광물로서 화학조성은 Table 1과 Fig. 2에 나타났다.

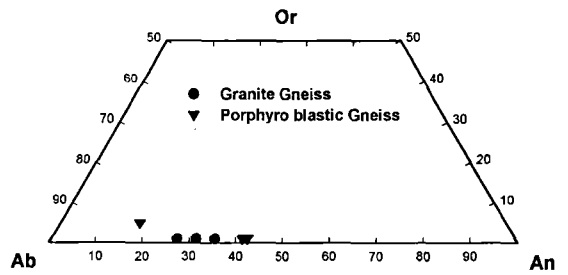


Fig. 2. The compositions of plagioclase for gneisses from the Seungju-Suncheon area.

화강편마암 내에 산출하는 사장석은 An₂₇₋₃₄로서 올리고클레이스-안테신에 속한다. 한편, 반상변정질편마암 내의 사장석은 각 시료 내에서는 An 함량이 34-45 (안테신)의 제한된 성분변화를 보이지만, 시료 N39의 일부 사장석은 An₁₇로 올리고클레이스에 해당한다.

흑운모

흑운모는 화강편마암과 반상변정질편마암의 주 구성 광물을 이루며, 일부 호상구조가 발달된 시료에서는 주 엽리를 이루고 있다. 흑운모의 화학조성은 Table 2에 나타났다. 연구 지역의 화강편마암과 반상변정질 편마암에서 산출하는 흑운모 조성의 변화를 알아보기 위해 X_{Fe}에 대한 Al^{IV}의 변화를 Fig. 3에 도시하였다.

Table 1. Representative compositions of plagioclases from gneisses in the Seungju-Suncheon area.

Sample	Granite gneiss				Porphyroblastic gneiss			
	D3	NG81-1		N10	N24		N39	
remarks	matrix	inclusion		matrix	matrix		matrix	
SiO ₂	61.34	60.20	58.44	58.29	57.97	57.89	62.99	58.46
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	24.22	24.70	26.19	26.06	26.09	26.04	22.95	25.51
FeO	0.00	0.31	0.00	0.41	0.30	0.32	0.00	0.00
CaO	5.80	6.31	7.34	6.89	8.61	8.64	3.47	7.70
Na ₂ O	8.37	7.60	7.49	7.34	6.63	6.48	8.98	7.28
K ₂ O	0.11	0.10	0.19	0.00	0.16	0.17	0.89	0.25
Total	99.84	99.22	99.65	98.99	99.77	99.54	99.28	99.20
Si	2.728	2.695	2.620	2.627	2.603	2.605	2.807	2.635
Al	1.268	1.302	1.383	1.383	1.380	1.380	1.204	1.354
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.012	0.000	0.015	0.011	0.012	0.000	0.000
Ca	0.276	0.303	0.353	0.333	0.414	0.416	0.166	0.372
Na	0.722	0.660	0.651	0.641	0.577	0.565	0.776	0.636
K	0.006	0.006	0.011	0.000	0.009	0.010	0.051	0.014
X _{ab}	0.72	0.68	0.64	0.66	0.58	0.57	0.78	0.62
X _{an}	0.27	0.31	0.35	0.34	0.41	0.42	0.17	0.36
X _{or}	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01

X_{ab}=Na/Q, X_{an}=Ca/Q and X_{or}=K/Q, where Q=Na+Ca+K.

Table 2. Representative compositions of biotites from gneisses in the Seungju-Suncheon area.

samples	Granite gneiss				Porphyroblastic gneiss				
	D3		NG81-1		N10		N24		N39
SiO ₂	32.03	32.61	32.46	33.16	35.24	34.50	35.43	34.75	34.94
TiO ₂	0.74	1.26	1.93	1.59	2.99	2.36	2.25	4.36	1.98
Al ₂ O ₃	19.84	18.48	17.95	18.45	17.00	17.38	18.33	17.44	18.77
FeO	30.60	29.90	26.59	25.87	20.83	21.32	18.49	19.98	20.45
MnO	0.23	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
MgO	3.33	2.94	5.04	5.19	8.82	9.25	10.58	8.65	8.77
CaO	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Na ₂ O	0.04	0.02	0.40	0.33	0.50	0.29	0.43	0.34	0.37
K ₂ O	7.29	8.65	9.65	9.65	9.23	9.41	9.92	9.96	9.80
Total	94.13	94.04	94.02	94.24	94.61	94.51	95.71	95.63	95.08
Si	2.596	2.660	2.628	2.659	2.730	2.688	2.689	2.666	2.691
Al ^{IV}	1.404	1.340	1.372	1.341	1.270	1.312	1.311	1.334	1.309
Al ^{VI}	0.490	0.435	0.340	0.401	0.281	0.283	0.327	0.242	0.393
Ti	0.045	0.077	0.118	0.096	0.174	0.138	0.128	0.252	0.115
Fe	2.074	2.039	1.800	1.735	1.350	1.389	1.174	1.282	1.317
Mn	0.016	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
Mg	0.402	0.357	0.608	0.620	1.019	1.074	1.197	0.989	1.007
Ca	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Na	0.006	0.003	0.063	0.051	0.075	0.044	0.063	0.051	0.055
K	0.754	0.900	0.997	0.987	0.912	0.935	0.961	0.975	0.963
X _{Fe} *	0.84	0.85	0.75	0.74	0.57	0.56	0.50	0.56	0.57

* represents Fe/(Fe+Mg).

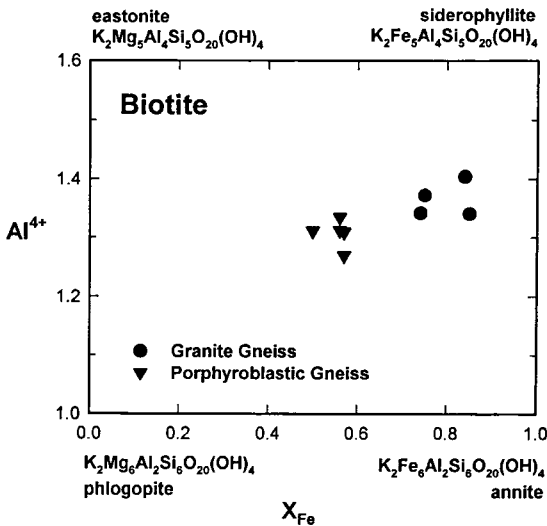


Fig. 3. The compositions of biotites for gneisses from the Seungju-Suncheon area.

두 편마암의 흑운모는 매우 제한된 범위 내에서 유사한 Al^{IV} 값을 갖지만 X_{Fe} 값에 의해 확연히 구분되어진다. 화강편마암의 경우 흑운모의 X_{Fe} 값은 0.74 ~ 0.85의 높은 값을 보인다. 반상변정질편마암의 흑운모는 X_{Fe} 값은 0.50 ~ 0.65로서 화강편마암내 흑운모

의 X_{Fe} 값에 비해 낮고, 제한된 범위를 갖는다. 반상변정질편마암 내의 흑운모가 화강편마암 내의 흑운모에 비해 낮은 X_{Fe}를 갖는 경향은 반상변정질편마암 내의 석류석이 화강편마암 내의 석류석에 비해 낮은 X_{Fe}를 갖는 경향과 함께 반상변정질편마암이 화강편마암에 비해 전암성분의 X_{Fe}가 낮음을 지시한다.

석류석

석류석은 본역의 편마암을 구성하는 대표적인 변성 광물로서 반자형 내지 타형의 반상변정으로 산출한다. 석류석 내 포획광물로는 주로 석영, 흑운모, 사장석이 주를 이룬다. 화강편마암 및 반상변정질편마암에 산출하는 석류석의 성분을 Table 3과 (Ca+Mn)-Mg-Fe 삼각도(Fig. 4)에 나타냈다. 전반적으로 반상변정질편마암 내 석류석은 Mg가 높은 반면, 화강편마암 내 석류석은 Fe가 상대적으로 높은 경향을 보인다. 그러나 화강편마암의 한 시료(NG 81-1)의 중심부 성분은 반상변정질편마암의 성분 범위 내에 점시된다. 전체적으로 중심부가 주변부보다 Mg 성분이 높게 나타난다. 한편, 석류석의 성분 변화에서 특이한 점은 화강편마암은 Ca+Mn 함량의 변화가 상대적으로 심한 반면 반상변정질편마암의 것은 Fe-Mg 변화가

Table 3. Representative compositions of garnets from gneisses of the Seungju-Suncheon area.

Sample	Granite gneiss						Porphyroblastic gneiss									
	D3			NG81-1			N10			N24			N39			
	core	rim		core	rim		rim	core		rim	core	rim	rim	core	rim	
SiO ₂	36.53	36.11	36.45	36.45	37.35	37.05	36.76	35.86	35.73	37.00	36.51	37.59	37.59	37.21	36.37	36.41
TiO ₂	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.06	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.12	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.95	20.48	20.81	20.76	20.68	20.24	20.48	20.43	20.19	20.45	20.36	21.09	21.00	21.31	20.43	20.67
FeO	38.45	38.72	39.04	38.38	35.47	36.24	35.76	36.11	34.04	36.32	36.50	36.07	34.73	34.81	36.01	35.11
MnO	1.07	1.95	1.65	2.64	2.79	2.50	4.55	3.50	6.82	1.83	1.58	1.44	1.32	1.34	3.32	4.50
MgO	1.87	1.17	1.38	0.99	2.50	2.73	1.50	1.89	1.33	2.89	2.79	3.05	4.41	4.48	2.59	1.85
CaO	1.00	1.04	1.05	1.15	1.60	1.86	1.37	1.86	1.66	1.90	1.76	1.42	1.58	1.42	1.31	1.33
Na ₂ O	0.02	0.33	0.02	0.00	0.29	0.19	0.32	0.46	0.39	0.39	0.30	0.18	0.18	0.20	0.35	0.39
Total	99.89	99.80	100.49	100.44	100.82	100.93	100.94	100.11	100.16	100.78	99.80	100.86	100.89	100.89	100.38	100.26
Si	2.977	2.955	2.971	2.975	2.924	2.984	2.967	2.904	2.900	2.957	2.951	3.000	2.973	2.939	2.930	2.946
Al ^{IV}	0.023	0.045	0.029	0.025	0.076	0.026	0.033	0.096	0.100	0.043	0.049	0.000	0.027	0.061	0.070	0.054
Al ^{VI}	1.988	1.929	1.965	1.975	1.885	1.930	1.914	1.853	1.829	1.881	1.889	1.982	1.929	1.921	1.868	1.916
Ti	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.004	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.007	0.000	0.000
Fe	2.621	2.650	2.657	2.620	2.444	2.370	2.414	2.446	2.310	2.427	2.467	2.407	2.297	2.299	2.426	2.376
Mg	0.227	0.143	0.167	0.120	0.299	0.325	0.180	0.228	0.161	0.344	0.336	0.363	0.520	0.527	0.311	0.223
Mn	0.074	0.135	0.114	0.183	0.190	0.169	0.311	0.240	0.469	0.124	0.108	0.097	0.088	0.090	0.227	0.308
Ca	0.087	0.091	0.092	0.101	0.138	0.168	0.118	0.161	0.144	0.163	0.152	0.121	0.134	0.120	0.113	0.115
Na	0.003	0.052	0.003	0.000	0.045	0.037	0.050	0.072	0.691	0.060	0.047	0.028	0.028	0.031	0.055	0.061
X _{Fe*}	0.92	0.95	0.94	0.96	0.89	0.88	0.93	0.91	0.93	0.88	0.88	0.87	0.82	0.81	0.89	0.91
X _{alm}	0.87	0.88	0.88	0.87	0.80	0.78	0.80	0.80	0.75	0.79	0.81	0.81	0.76	0.76	0.79	0.79
X _{pyp}	0.08	0.05	0.06	0.04	0.10	0.11	0.06	0.07	0.05	0.11	0.11	0.12	0.17	0.17	0.10	0.07
X _{sps}	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.10	0.08	0.15	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.10
X _{grs}	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

* represents Fe/(Fe+Mg).

X_{alm}=Fe/D, X_{pyp}=Mg/D, X_{sps}=Mn/D and X_{grs}=Ca/D, where D=Fe+Mg+Mn+Ca.

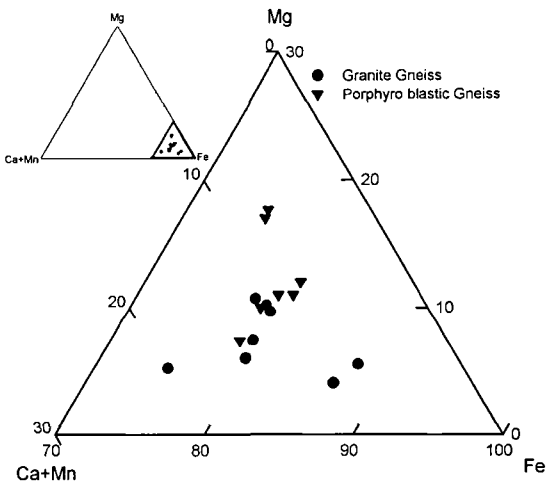


Fig. 4. The compositions of garnet for gneisses from the Seungju-Suncheon area.

크게 나타난다.

암석별 주성분 및 미량성분

암석 화학성분 분석을 위하여 7개의 화강편마암과 4개의 우백질편마암 그리고 9개의 반상변정질편마암을 선정했다. 반상변정질편마암과 우백질편마암은 시료는 직경 약 30cm, 화강편마암은 약 20cm 정도를 60 mesh 이하로 텅스텐 절구에서 파쇄한 후, 이들의 1/4분을 취하여 다시 100 mesh 이하로 분쇄하여 잘 혼합한 후, 이 중 500g은 텅스텐 카바이드 볼밀을 이용하여 200 mesh 이하의 분말을 만들었다. 이때 편마암 내에 포함된 반상변정은 분리하지 않았다. 이들 총 20개 시료에 대한 주성분과 미량성분, 그리고 15개 시료의 REE 분석은 런던대학교 Royal Holloway and Bedford New College에 설치되어 있는 ICP를 이용하여 Walsh 박사에 의해 수행되었다. 런던대학에 의뢰한 동일시료에서 2g을 취하여 XRF용 유리비드를 제작하고, 조선대학교 공과대학 공동실험관에 설치된 일본 Rigaku사의 X-ray 형광분석기를 이용하여 SiO₂에 대한 정량분석을 실시했다.

주성분원소

각 암체에 대한 주성분원소의 분석치는 Table 4와 같다. 연구지역에서 SiO₂의 함량을 보면, 화강편마암과 우백질편마암은 각각 68.1~75.8 wt.%와 66.6~76.6 wt.%로 유사한 범위를 가지며 산성암에 속하고,

반상변정질편마암은 58.1~65.4 wt.%의 범위로 중성암에 해당한다. IUGS 분류에 의하면 화강편마암과 우백질편마암은 화강암에서 화강섬록암 영역에 걸쳐 나타나며 반상변정질편마암은 섬록암에서 화강섬록암 영역에 속한다(Fig. 5). 이 그림에서 본역의 편마암류는 모두 비알칼리암계열에 속한다. AFM 삼각도(Fig. 6)에서 Kuno(1968)의 경계선 및 Irvine and Baragar (1971)의 경계선을 기준으로 화강편마암과 우백질편마암은 칼크알칼리암에 속하며, 반상변정질편마암은 경계선에 걸치거나 슐레이트 영역에 속한다.

본역에 분포하는 화성암류의 분화에 따른 주성분원소의 변화경향을 알아보기 위하여 SiO₂를 가로축으로 그리고 각 산화물을 세로축으로 한 하키도표를 이용하였다(Fig. 7). 화강편마암-우백질편마암과 반상변정질편마암 사이에는 SiO₂ 66 wt.%를 경계로 SiO₂의 변화에 따른 주원소의 변화가 서로 다른 양상을 보여준다. 반상변정질편마암은 다른 두 암류에 비하여 알칼리 성분(Na₂O, K₂O)을 제외한 모든 성분의 함량이 풍부하다. 특히, TiO₂, FeO*, MgO, MnO는 그 함량 차이가 뚜렷하다. Fig. 7에서, SiO₂가 증가에 따른 변화는 K₂O를 제외하고 전체적으로 부(-)의 상관관계를 보여준다. 특히 반상변정질편마암의 경우, SiO₂가 증가에 따른 주원소 성분의 변화는 아주 크다. 우백질편마암인 시료 N11-2는 다른 우백질편마암과도 전혀 다른 양상을 보여 주는데, SiO₂, MgO, CaO 및 K₂O의 함량이 반상변정질편마암과 유사하다.

미량원소

본역에 분포하는 편마암류에 대한 미량성분 원소의 분석치는 Table 4에, 그리고 SiO₂의 함량에 대한 미량원소의 변화는 Fig. 8에 나타냈다. 그림에서 반상변정질편마암은 SiO₂의 함량변화에 따라 대부분의 원소들이 부의 경향을 보이는 반면, 화강편마암과 우백질편마암은 Zn과 Nb를 제외한 원소들은 뚜렷한 경향을 나타내지 않는다. 또한 함량에 있어서도 대부분의 원소에서 반상변정질편마암이 높게 나타난다.

친석원소인 Ba의 함량은, 화강편마암에서 550~1370ppm, 우백질편마암이 562~1408ppm, 반상변정질편마암이 600~1411ppm으로 함량변화가 극심하다. Sr은 화강편마암에서 90~172ppm, 우백질편마암이 95~428ppm, 반상변정질편마암이 187~280ppm으로, 우백질편마암을 제외하면 좁은 영역으로 수렴한다. 이 원소들은 SiO₂의 증가에 따라 일정한 경향을 보

Table 4. Major and trace chemical composition for gneisses of the Seugju-Suncheon area.

	Granite gneiss										Leuco gneiss										Porphroblastic gneiss									
	D3	D21	D22	D24	N40	NG81-1	SB34	N4	N11-1	N11-2	N13	D8	N10	N15	N24	N26	N32	N33	N34	N39	D8	N10	N15	N24	N26	N32	N33	N34	N39	
SiO ₂	73.29	75.82	68.08	69.25	69.84	74.2	73.1	73.3	76.56	66.6	74.99	65.35	69.43	65.24	63.45	64.81	64.79	62.09	64.21	63.93	65.35	69.43	65.24	63.45	64.81	64.79	62.09	64.21	63.93	
TiO ₂	0.26	0.2	0.34	0.39	0.38	0.24	0.34	0.19	0.1	0.44	0.03	0.77	0.7	0.84	0.88	0.81	0.82	1.02	0.87	0.93	0.77	0.7	0.84	0.88	0.81	0.82	1.02	0.87	0.93	
Al ₂ O ₃	13.29	12.82	14.6	14.23	15.15	13.65	13.74	13.53	12.39	15.54	12.81	15.36	12.76	15.06	14.81	15.25	15.12	15.27	15.39	15.36	15.36	12.76	15.06	14.81	15.25	15.12	15.27	15.39	15.36	
Fe ₂ O ₃	2.47	1.84	3.14	5.18	3.46	2.23	2.8	2.36	1.72	4.41	2.5	6.36	7.65	6.98	7.6	7.13	6.92	9.07	7.15	7.85	6.36	7.65	6.98	7.6	7.13	6.92	9.07	7.15	7.85	
MgO	0.35	0.35	0.48	1.78	0.57	0.52	0.41	0.19	0.22	1.52	0.43	1.76	1.72	1.9	2.28	2.14	2.08	2.74	2.23	2.14	1.76	1.72	1.9	2.28	2.14	2.08	2.74	2.23	2.14	
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.07	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.08	
CaO	1.66	1.15	1.94	0.86	1.84	0.86	1.6	0.82	0.98	2.77	1.09	2.75	2.13	2.89	3.41	3.45	3.32	3.1	2.97	3.37	2.75	2.13	2.89	3.41	3.45	3.32	3.1	2.97	3.37	
Na ₂ O	2.31	1.95	2.29	1.65	2.53	2.15	2.22	2.45	2.27	3.07	2.18	2.52	1.89	2.43	2.57	2.8	2.53	2.43	2.53	2.59	2.52	1.89	2.43	2.57	2.8	2.53	2.43	2.53	2.59	
K ₂ O	4.68	5.6	5.27	3.71	4.92	5.43	5.06	5.54	5.5	4.4	5.17	4.21	2.84	3.51	2.42	2.47	2.87	3.17	3.7	2.69	4.21	2.84	3.51	2.42	2.47	2.87	3.17	3.7	2.69	
P ₂ O ₅	0.1	0.12	0.17	0.09	0.16	0.07	0.15	0.13	0.06	0.28	0.07	0.19	0.09	0.21	0.18	0.17	0.18	0.19	0.17	0.22	0.19	0.09	0.21	0.18	0.17	0.18	0.19	0.17	0.22	
Total	98.44	99.88	96.34	97.17	98.89	99.37	99.45	98.53	99.81	99.07	99.34	99.33	99.29	99.13	97.67	99.1	98.7	99.17	99.29	99.16	99.33	99.29	99.13	97.67	99.1	98.7	99.17	99.29	99.16	
Ba	919	550	1209	611	1370	741	922	870	562	864	1408	1146	822	869	600	623	885	798	1411	511	1146	822	869	600	623	885	798	1411	511	
Sr	151	125	162	90	172	105	132	95	207	428	142	234	187	223	241	255	251	234	280	220	234	187	223	241	255	251	234	280	220	
Li	25	18	17	50	20	36	48	20	14	53	61	42	37	40	45	40	31	51	42	53	42	37	40	45	40	31	51	42	53	
Cu	6	6	8	24	8	3	7	5	41	9	3	22	34	21	27	25	20	34	23	23	22	34	21	27	25	20	34	23	23	
Zn	27	23	49	80	43	39	51	48	20	95	16	84	74	82	100	86	86	104	87	104	84	74	82	100	86	86	104	87	104	
Co	47	31	25	31	27	31	44	26	28	30	37	31	32	34	33	30	31	33	30	33	31	32	34	33	30	31	33	30	33	
Cr	10	11	15	72	17	9	11	7	6	27	7	66	67	69	83	78	77	97	83	77	66	67	69	83	78	77	97	83	77	
Ni	10	12	13	36	13	9	10	9	7	16	6	35	38	37	41	39	34	53	43	43	35	38	37	41	39	34	53	43	43	
Sc	5	4	5	6	6	5	4	3	2	6	20	14	17	15	17	17	16	20	15	18	14	17	15	17	17	16	20	15	18	
V	10	9	18	61	21	18	15	7	6	47	5	61	65	73	83	77	76	96	81	82	61	65	73	83	77	76	96	81	82	
Nb	6	5	10	9	10	8	11	7	4	13	1	14	12	12	13	13	13	15	12	16	14	12	12	13	13	13	15	12	16	
Y	20	17	17	10	16	4	16	19	6	18	68	17	44	17	30	30	20	21	28	28	17	44	17	30	30	20	21	28	28	

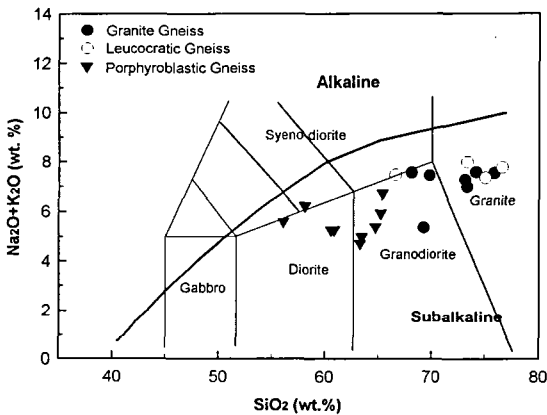


Fig. 5. Total alkali vs. silica diagram for the gneisses of the Seungju-Suncheon area (Wilson, 1989).

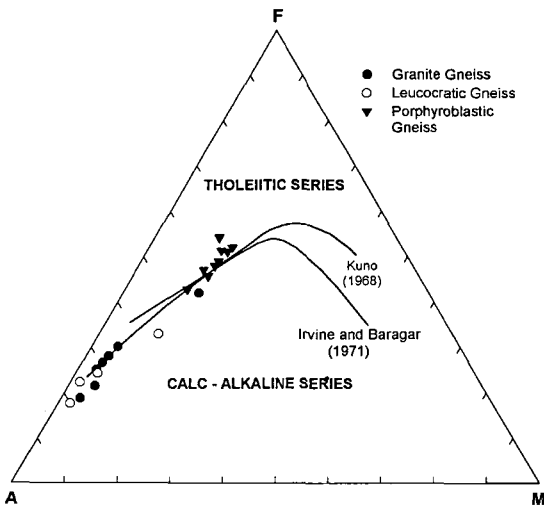


Fig. 6. Triangular diagram of AFM for the gneisses of the Seungju-Suncheon area. Boundaries between tholeiitic and calc-alkaline are Kuno (1968), Irvine and Baragar (1971).

여주지 않으며, 마그마에서 사장석의 감소에 기인되는 Ba와 Sr의 상관관계(Henderson, 1978)가 없다. Ba나 Sr은 대표적인 LIL 혹은 LFS 원소로서 HFS 원소에 비해 변성작용 동안에 비교적 잘 이동하는 원소이므로, 이러한 극심한 변화가 변성작용동안에 일어났을 가능성도 있다.

Li는 화강편마암에서 17~50ppm, 우백질편마암이 14~61ppm, 반상변정질편마암이 31~53ppm으로 전체적으로 반상변정질편마암이 높다. Fig. 8에서 반상변정질편마암은 뚜렷한 부(-)의 상관관계를 보이는 반면, 나머지 두 편마암은 함량변화도 심하며 어떠한

경향도 나타내지 않는다. 친석원소인 Li는 마그마분화의 비교적 후기에 농집되는 원소로, 주요 운반자는 흑운모로서 흑운모 내에서 Mg^{2+} 와 결합되는 것으로 알려져 있다(Mason and Moore, 1982). 반상변정질편마암에서 Li의 함량이 비교적 높은 것은 흑운모의 량에 관련된 것으로 추정된다. 반상변정질편마암에서 친동원소인 Cu와 Zn은 SiO_2 와 부의 상관관계를 보인다. 화강편마암과 우백질편마암에서 Cu는 별다른 경향을 보여주지 않지만 Zn은 SiO_2 와 부의 상관관계를 나타낸다.

Co의 평균함량은 화강편마암에서 34ppm, 우백질편마암이 30ppm, 반상변정질편마암이 32ppm으로 거의 비슷한 값을 갖는다. 분화후기에 형성된 것으로 보이는 본 암류에서는 SiO_2 함량변화와의 관계없이 낮은 값을 보인다. Ni의 평균함량은 화강편마암에서 15ppm, 우백질편마암이 10ppm이며, 반상변정질편마암이 40ppm으로 높게 나타난다. V은 자철석에서 Fe^{3+} 을 치환하여 마그마에서 빠져 나오며, 각섬석, 흑운모에도 함유된다. Cr의 평균함량은 화강편마암에서 21ppm, 우백질편마암이 12ppm, 반상변정질편마암이 77ppm으로, V의 평균함량은 화강편마암에서 22ppm, 우백질편마암이 16ppm, 반상변정질편마암이 77ppm이다. Fig. 8에서 철-마그네슘계열 원소인 Ni, Cr, V는 SiO_2 함량이 낮은 반상변정질편마암이 다른 두 편마암보다 높게 나타나며, SiO_2 와 뚜렷한 부의 상관관계를 보이는 반면 나머지 두 편마암의 상관관계는 완만한 부의 경사 또는 미약하게 나타낸다.

이온 포텐셜이 2.0 보다 큰 고장력(HFS)원소는 Ti, Y, Sc, Nb, Y, 희토류원소 등이며, 이들은 LIL원소(Rb, K, Ba, Sr 등)에 비해 이동성이 적으며, 변질이나 변성과정 중에서 이동에 대한 저항력이 큰 원소로 알려져 있다. LIL 원소의 농집은 유체상의 양상에 따라 좌우되나, HFS 원소의 농집은 기원물질의 화학조성과 분별결정 동안에 일어나는 결정/용액의 상호관계에 의해 제어된다. 그러나 이동성이 작은 원소들은 가끔 개개의 광물에 의해 제어되는데, 그 예로는 Zr은 지어콘, P는 인회석, Ti는 티탄철석, Nb는 금홍석(rutile)에 의해 제어된다(Rollinson, 1995). 반지름이 Fe^{2+} 와 유사한 Sc은 철-마그네슘 광물에 포획되므로 회석에 농축되며, 각섬석과 흑운모 내에 들어가며 티탄석(titanite)에도 많이 농집된다. Sc의 평균함량은 화강편마암에서 5ppm, 우백질편마암이 8ppm, 반상변정질편마암이 17ppm으로 철-마그네슘의 원소와 유사

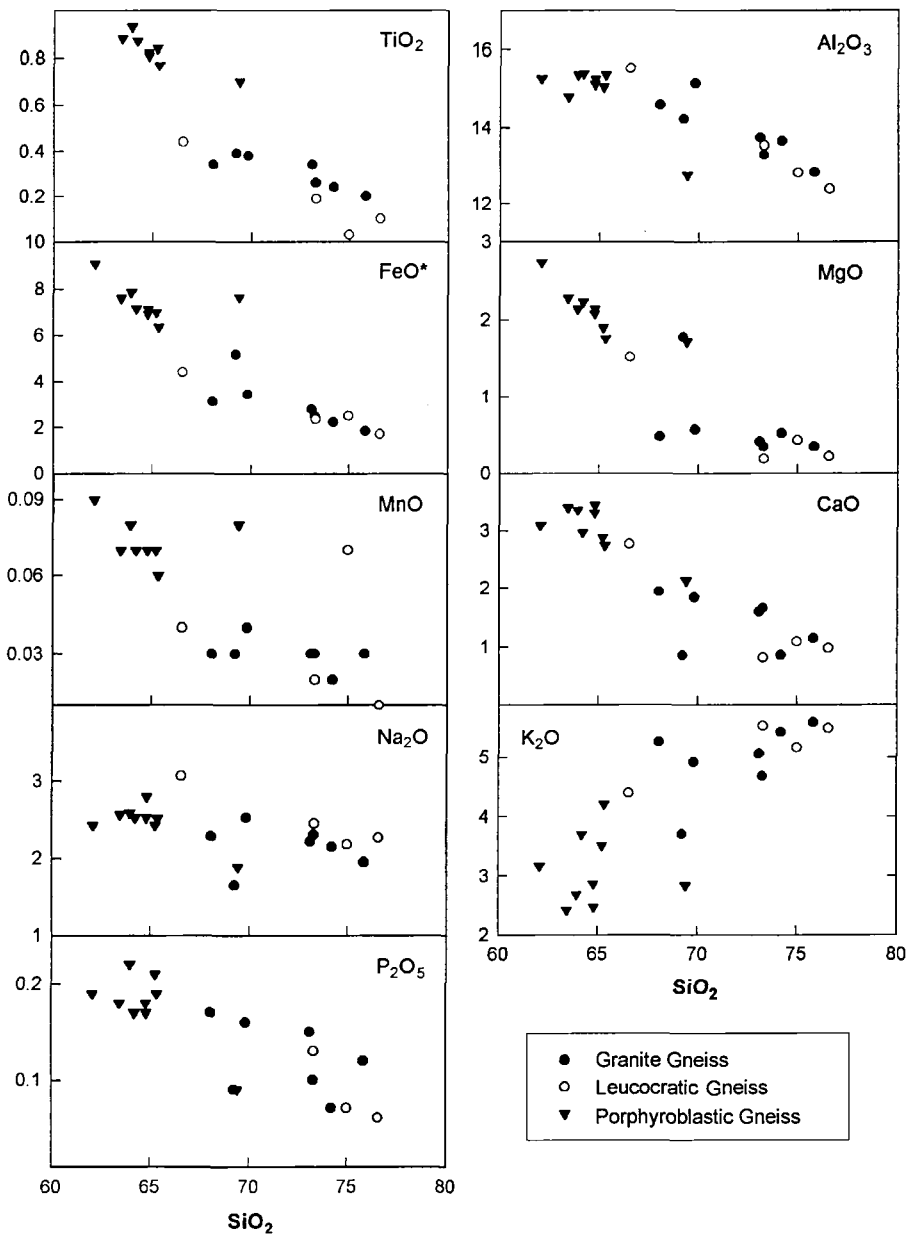


Fig. 7. Major elements vs. SiO₂ for the gneisses of the Seungju-Suncheon area.

한 변화 경향을 보여준다. 이러한 경향은 SiO₂에 대한 TiO₂의 변화 경향과도 유사하다. 즉 반상변정질편마암에서 SiO₂가 증가함에 따라 급격히 감소하며, 분화 말기 산물로 여겨지는 화강편마암과 우백질편마암에서는 완만한 부의 경사를 갖는다. 이러한 경향은 각섬석 또는 흑운모의 정출에 따른 것으로 추정된다. HFS 원소인 Nb와 Y은 세 편마암 모두 SiO₂와 부의 상관 관계를 보인다(Y에서 두 시료는 제외). 화강편마암과

우백질편마암에서 Y의 평균함량은 Taylor(1965)가 제시한 화강암과 화강섬록암의 평균값과 거의 유사하다.

희토류원소

희토류원소(REE)는 물리화학적 성질이 매우 유사하여 암석학적 또는 광물들의 분별 결정에 따라 서로 다른 거동을 가지므로 지각 또는 맨틀의 부분용융, 분별결정작용 및 마그마의 혼화와 같은 과정을

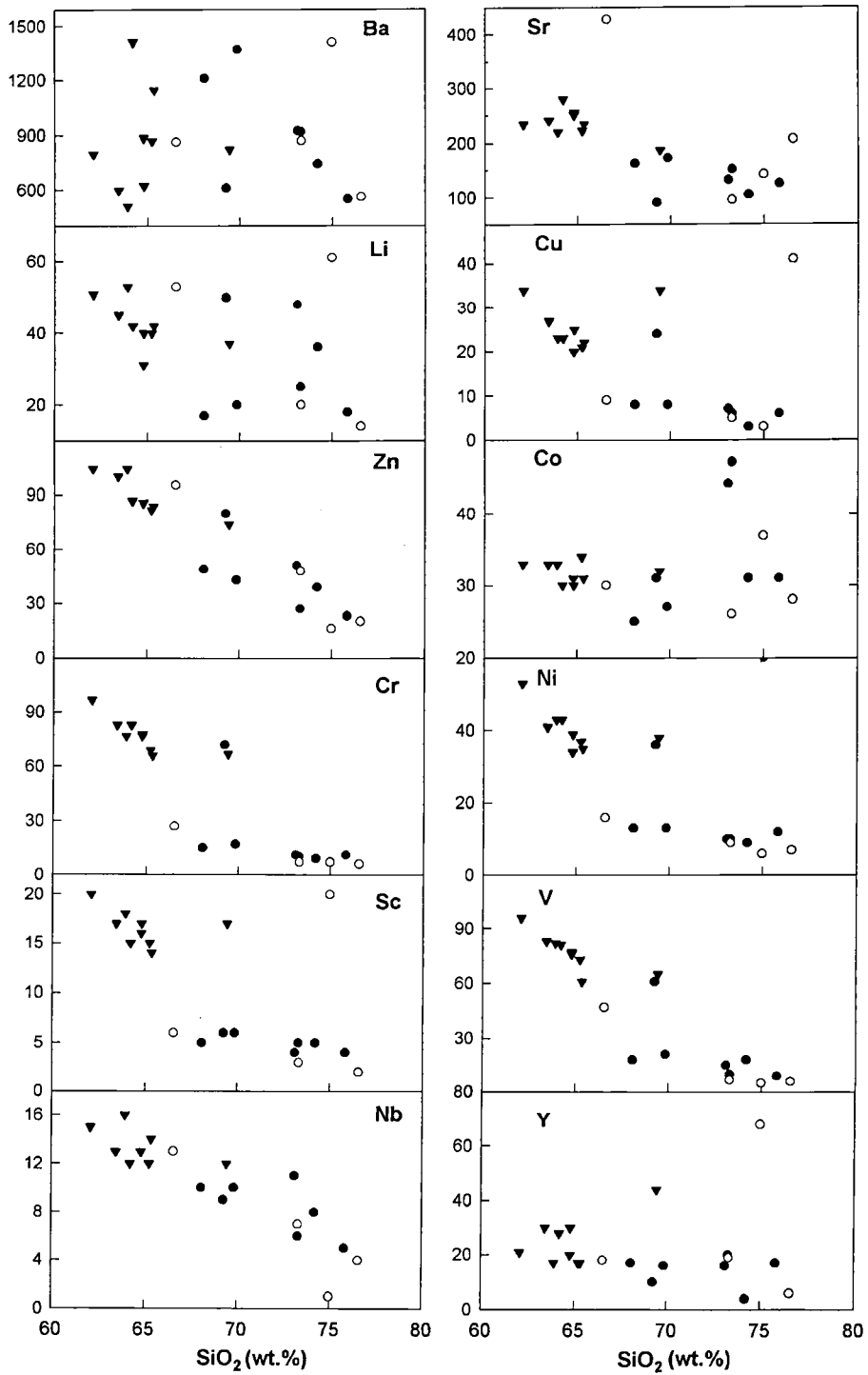


Fig. 8. Trace elements vs. SiO₂ for the gneisses of the Seungju-Suncheon area.

포함하는 화성암류의 분화과정을 밝히는데 매우 중요하게 이용된다(Henderson, 1984). 본역의 편마암류에

대해 각 암체의 산상과 구성광물의 특성에 따라 선정된 화강편마암 6개 시료, 우백질편마암 2개 시료

Table 5. Rare earth elements for gneisses of the Seugju-Suncheon area.

	Granite gneiss					Leuco gneiss					Porphyrroblastic gneiss				
	D3	D21	D22	D24	SB34	N11-1	N13	N-15	N-24	N-26	N-32	N-33	N-34	N-39	
La	54.55	33.52	55.82	48.70	73.03	56.69	33.85	66.21	66.79	62.96	66.31	69.45	61.34	70.49	
Ce	108.73	67.27	111.86	99.27	145.05	117.95	65.12	128.30	129.84	121.99	128.58	135.12	118.72	138.79	
Pr	11.47	6.93	11.97	10.37	15.29	12.77	6.82	13.51	13.86	12.79	13.75	14.47	12.38	14.69	
Nd	46.52	26.83	49.90	42.30	64.05	54.79	28.25	54.67	56.05	51.99	56.40	59.17	50.26	59.07	
Sm	7.82	4.72	8.85	7.80	11.33	9.56	4.91	9.02	9.45	8.90	9.34	9.68	8.48	9.98	
Eu	1.40	0.89	1.60	0.95	1.81	1.34	1.44	1.65	1.58	1.61	1.69	1.57	1.82	1.54	
Gd	5.61	3.81	6.50	5.95	7.72	6.64	4.26	6.29	6.93	6.51	6.66	6.87	6.19	6.80	
Dy	4.57	3.98	4.62	3.14	4.37	4.35	7.80	4.61	5.52	5.47	4.93	4.94	5.35	4.51	
Ho	0.91	0.79	0.81	0.44	0.76	0.79	2.65	0.93	1.13	1.16	0.99	0.99	1.10	0.87	
Er	2.09	2.24	1.48	0.42	1.36	1.70	10.91	2.48	3.15	3.30	2.80	2.61	3.20	2.16	
Yb	1.90	1.87	1.21	0.46	1.11	1.24	16.49	1.89	2.90	2.81	2.28	2.22	2.70	1.62	
Lu	0.28	0.28	0.18	0.08	0.17	0.17	3.02	0.29	0.47	0.46	0.36	0.35	0.42	0.25	
Sum	245.84	153.13	254.85	219.88	326.05	267.99	185.53	289.85	297.67	279.95	294.09	307.44	271.96	310.76	
LR/HR	15.01	10.81	16.16	19.96	20.05	16.99	3.11	16.57	13.81	13.21	15.32	16.10	13.34	18.18	
Eu/Sm	0.18	0.19	0.18	0.12	0.16	0.14	0.29	0.18	0.17	0.18	0.18	0.16	0.21	0.15	
La	165.81	101.88	169.67	148.02	221.98	172.31	102.89	201.25	203.01	191.37	201.55	211.09	186.44	214.26	
Ce	125.70	77.77	129.32	114.76	167.69	136.36	75.28	148.32	150.10	141.03	148.65	156.21	137.25	160.45	
Pr	94.76	57.28	98.93	85.69	126.32	105.51	56.40	111.62	114.52	105.73	113.67	119.62	102.31	121.39	
Nd	73.84	42.59	79.21	67.14	101.67	86.97	44.84	86.78	88.97	82.52	89.52	93.92	79.78	93.76	
Sm	38.52	23.25	43.60	38.42	55.81	47.09	24.19	44.43	46.55	43.84	46.01	47.68	41.77	49.16	
Eu	18.18	11.56	20.78	12.34	23.51	17.40	18.70	21.43	20.52	20.91	21.95	20.39	23.64	20.00	
Gd	20.33	13.80	23.73	21.56	27.97	24.06	15.43	22.79	25.11	23.59	24.13	24.89	22.43	24.64	
Dy	13.32	11.60	13.47	9.15	12.74	12.68	4.64	13.44	16.09	15.95	14.37	14.40	15.60	13.15	
Ho	11.67	10.13	10.38	5.64	9.74	10.13	3.59	11.92	14.49	14.87	12.69	12.69	14.10	11.15	
Er	9.28	9.95	6.60	1.86	6.06	7.57	48.50	11.03	14.00	14.65	12.43	11.60	14.24	9.58	
Yb	8.64	8.50	5.50	2.09	5.64	5.64	74.95	8.59	13.18	12.77	10.36	10.09	12.27	7.36	
Lu	8.24	8.24	5.29	2.35	5.00	5.00	88.82	8.53	13.82	13.53	10.59	10.29	12.35	7.35	
Sum	588.28	376.55	606.47	509.03	763.53	630.72	606.73	690.13	720.36	680.77	705.93	732.89	662.18	732.26	
(La/Yb) _N	19.20	11.99	30.85	70.79	44.00	30.57	1.37	23.43	15.40	14.98	19.45	20.92	15.19	29.10	
Eu/Eu*	0.62	0.62	0.62	0.41	0.56	0.49	0.94	0.64	0.57	0.62	0.63	0.56	0.74	0.54	

Eu/Eu* = Eu/(0.5Sm+0.5Gd).

그리고 반상변정질편마암 7개의 시료에 대해 희토류 원소의 분석값은 Table 5에 나타났다.

희토류원소의 총 함량은 화강편마암에서 153 ~ 326 ppm(평균 245)으로 다른 편마암류에 비해 변화폭이 크며, 우백질편마암은 186과 217ppm(평균 201)이다. 반상변정질편마암은 272 ~ 311ppm(평균 293)으로 그 범위가 제한적이며, 가장 부화되어 있다. Eu/Sm비는 화강편마암에서 0.12 ~ 0.19, 우백질편마암이 0.16과 0.29, 반상변정질편마암이 0.15 ~ 0.21이다. [La/Yb]_{Ch}은 화강편마암이 12 ~ 71, 우백질편마암이 1 ~ 94, 반상변정질편마암이 15 ~ 29의 범위를 갖는다. 이러한 값을 Henderson(1984)이 제시한 중성·산성암의 REE 함량과 비교하면, 본 편마암들은 모두 Eu(-) 이상을 갖는 화강암류의 함량과 유사하다.

경희토류 원소에 대한 중희토류 원소의 비(Σ REE/ Σ HREE)는 화강편마암에서 11 ~ 20, 우백질편마암이 3과 35, 반상변정질편마암이 13 ~ 18의 범위이며, Eu/Eu*은 화강편마암이 12 ~ 71, 우백질편마암이 1 ~ 94, 반상변정질편마암이 15 ~ 29로 다소 차이는 있으나, 경희토류가 집중되는 경향을 보여준다. 일반적으로 화성암류에 포함된 희토류원소는 주로 티탄석, 인회석, 저어콘 및 모나자이트와 같은 부수광물에 농집되고 이러한 광물들은 중희토류 보다 경희토류를 농집시키는 경향이 크다. 우백질 편마암에서 이 비의 극단적인 차이는 이러한 광물의 유무에 따른 것으로 보인다.

콘드라이트 값(Wood *et al.*, 1979)에 표준화시킨 희토류원소의 분포양상은 Fig. 9와 같다. 사장석의 분별작용을 지시하는 Eu(-) 이상은 화강편마암과 반상변정질편마암에서는 비교적 적거나 중간 정도의 Eu(-) 이상을 보여주지만, 우백질편마암의 한 시료는 부의 이상을 보여주지 않는다. 콘드라이트로 표준화한 희토류원소의 거동은 전체적으로 경희토류에서 중희토류까지 약간 급격한 부(-) 경사를 보인다. 시료 D24와 N11-1은 중희토류 원소가 급격히 하강하는 부(-) 경사를 보인다. 우백질편마암인 시료 N13는 중희토류 원소가 농집되어, 경희토류 원소가 감소하다가 오히려 나중에 상승하는 경향을 나타낸다. 이러한 경향은 2개의 우백질편마암 중 한 시료에서만 보이는 현상이므로, 중희토류원소가 풍부한 근원마그마로부터 형성된 것으로 보기는 어렵다. 중희토류원소의 부화는 저어콘이나 xenotime에 농집되어 일어나며, 부분적으로는 중희토류 함량이 많은 석류석에 의해 발

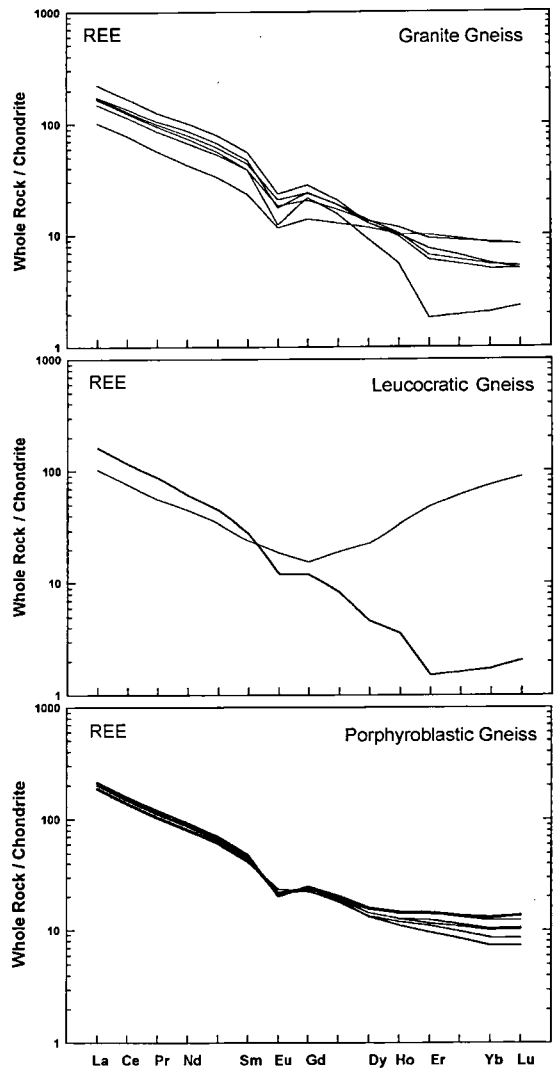


Fig. 9. Chondrite-normalized (by Wood *et al.*, 1979) REE patterns for the gneisses of the Seungju-Suncheon area.

생하는 것으로 알려져 있다(Watson and Harrison, 1983, 1984). 우백질편마암은 미량이지만 모두 저어콘을 포함한다. 따라서 저어콘의 영향으로 해석하기도 어렵다. 우백질편마암의 야외산상을 보면, 전체적으로 적은 양의 석류석을 포함하지만 다른 편마암과의 관입 접촉부 부근에 다량의 석류석을 포함하고 있다. 물론 모든 석류석이 변성과정에서 형성되었을 가능성도 배제할 수는 없으나 우백질편마암에 포함된 다수의 석류석이 화성기원이라면, 접촉부와 비교적 가까운 곳에서 채취한 시료 N13은 석류석함량이 높아, 이러한 석류석의 영향으로 중희토류 함량이 높은

것으로 해석할 수도 있다.

토의 및 결론

이미 수 차례에 걸쳐 변성작용을 경험한 편마암의 기원암을 밝히는 것은 쉬운 일이 아니다. 우리는 현재의 결과만을 관찰할 수밖에 없으며, 과거에 일어난 과정을 그대로 재현시킬 수 없기 때문이다. 그러나 다행히도 암석은 희미하게나마 과거의 역사를 보존하고 있기 때문에 야외에서 노두 관찰을 통해 암석의 형성단계를 추정할 수 있겠지만 이도 한계를 갖는다. 다양한 변성작용을 경험하는 동안 원소의 이동이 광범위하게 일어났다면, 편마암류의 기원암에 대한 해석이 어렵게 된다. 다행히 희토류원소를 포함한 고장력(HFS)원소가 변질이나 변성과정 중에서 이동에 대한 저항력이 큰 원소로 알려져 있으나, 그 한계는 각 섬암상 정도이다. 이러한 원소들이 고도의 변성작용에 까지 안정할 것인가에 대해서는 자세히 알 수 없다.

본 정편마암류가 나타내는 지구화학적 특성을 살펴보면 다음과 같다. 본역의 편마암류의 원암인 화성암류는 SiO₂에 대한 Na₂O+K₂O의 판별도에서는 모두가 비알칼리암 영역에 도시되며, 화강편마암과 우백질편마암은 화강암에서 화강섬록암 영역에 걸쳐 나타나며 반상변정질편마암은 섬록암에서 화강섬록암 영역에 속한다. 또한 희토류원소가 보여주는 특징, 예를 들면 희토류의 총합량, 적거나 중간적인 Eu(-) 이상, Eu/Sm 및 (La/Yb)_{CN} 값으로 보아 편마암류의 근원암은 섬록암이나 화강암으로 추정된다. 솔레아이트와 칼크알칼리를 구분하는 AFM 삼각도에서는 본역의 편마암들은 칼크알칼리암에 속함을 보여준다.

물비로 나타낸 Al의 포화지수 Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)는 1.0에서 1.3 정도로 2개의 우백질편마암 시료를 제외한 모든 시료가 S형 화강암류에 속한다(Fig. 10). 주성분원소 조성을 Batchelor and Bowden(1985)이 분류한 조구조도에 점시해 보면(Fig. 11), 본 편마암들은 대부분 동시충돌형(syn-collision) 영역에 해당한다. 동시충돌형 화강암은 대륙충돌과 동시에 상부지각의 부분융융에 의해 만들어진 우백질 화강암으로 대표되며 특징적으로 높은 운모함량과 높고 제한된 SiO₂ wt.%.를 보이는 전형적인 S형 화강암체로 알려져 있다(Pearce et al., 1984; Harris et al., 1986). 이러한 특징은 현재 암상과는 완전히 일치하지 않지만, Al의 포화지수에서 S형 화강암류로 점시되는 점을

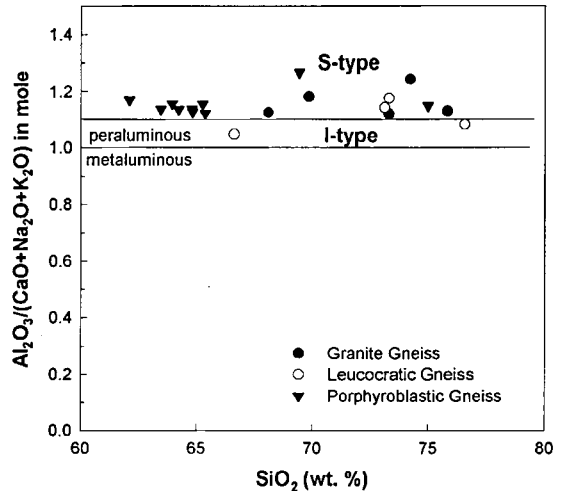


Fig. 10. Molar ratio of Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) vs. SiO₂ for the gneisses of the Seungju-Suncheon area. Boundary between I- and S-type is Hine et al. (1978).

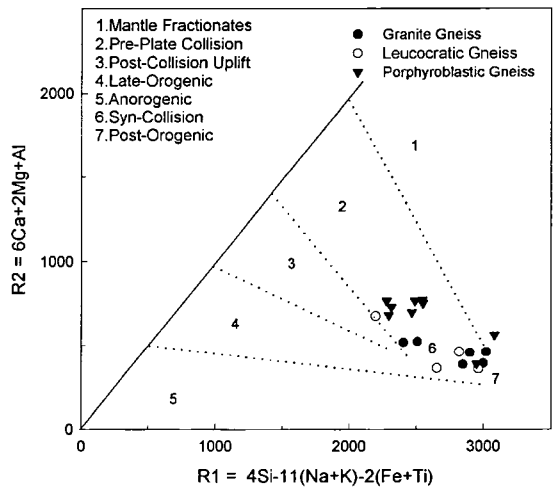


Fig. 11. Tectonic discrimination diagram for the gneisses of the Seungju-Suncheon area (Batchelor and Bowden, 1985).

감안하면 대륙의 충돌시 형성된 동시충돌형 화강암류일 가능성이 크다.

Pearce et al.(1984)은 화강암질 암류를 형성시킨 지구조적 위치를 4개의 그룹, 즉 해령 화강암(ORG), 호상열도 화강암(VAG), 판 내부 화강암(WPG) 그리고 충돌대 화강암(COLG)로 나누었다. SiO₂ 대 Y 및 Nb의 구조장 판별도(Fig. 12)에서 세 편마암 모두 VAG+COLG+ORG의 영역에 속하며, 또한 Nb 대 Y의 구조장 판별도(Fig. 13)에서는 모두가 VAG+syn-COLG의 영역에 점시된다.

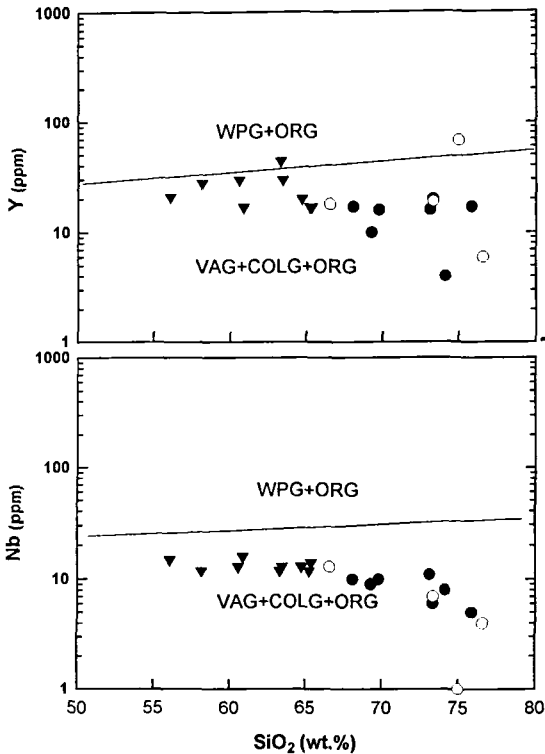


Fig. 12. Tectonic discrimination diagram (SiO_2 vs. Y and Nb) for the gneisses of the Seungju-Suncheon area (Pearce *et al.*, 1984). Abbreviation: VAG (volcanic arc granite), COLG (collisional granite), ORG (oceanic ridge granite), WPG (within plate granite).

위의 판별도를 주성분 원소가 지시하는 구조장과 연관시켜보면 S형의 동시충돌형으로 추정된다. 그러나 낮은 이온전위를 갖는 Sr, K, Rb, Ba는 다른 원소에 비해 상대적으로 높은 값을 갖는 반면, 높은 이온전위를 갖는 Nb, Ti, Y, Yb 등의 함량은 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이러한 경향에 대해 Foly and Wheller(1990)는 낮은 이온 전위를 갖는 원소들은 합수유체에 녹기 쉬운 유동원소여서, 지판의 섭입 시 탈수작용에 의해 생성된 합수유체에 농집되어 해양지각 슬랩으로부터 맨틀에 유입되었기 때문이며, 높은 이온 전위를 갖는 원소들이 상대적으로 낮은 값을 보여주는 것은 이들이 합수 유체에 녹기 어려운 원소로서 탈수작용에 의해 고체상에서 빠져나가기 어렵기 때문인 것으로 추정했다. 이러한 특성은 본 편마암류가 LIL 원소가 부화되고, Nb, P, Ti가 결핍된 화산호 환경에서 만들어졌을 가능성도 있음을 의미한다.

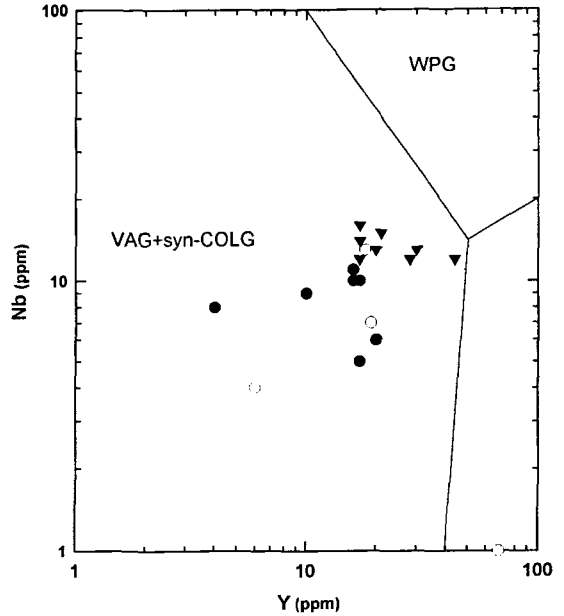


Fig. 13. Tectonic discrimination diagram (Y vs. Nb) for the gneisses of the Seungju-Suncheon area (Pearce *et al.*, 1984). Abbreviation: syn-COLG (syn-collisional granite) and others are the same as those in Fig. 13.

결론적으로 편마암류의 기원암을 형성시킨 마그마의 구조장에 관한 주원소의 특성은 동시충돌형의 S형 화강암임을 보여 주며, 변질이나 변성과정 중에서도 이동에 대한 저항력이 비교적 큰 원소가 나타내는 구조장 판별도에서는 동시충돌형 또는 화산호 환경임을 지시한다. 또한 지각의 동화작용이나 변질, 변성작용에 큰 영향을 받지 않아 근원물질의 균질도를 지시하는 Nb/Y의 비가 대부분 1~3의 범위에 속하여, 마그마의 분화가 진행되면서 다량의 지각물질이 마그마에 동화되었을 가능성도 있다. 거의 20억 년 전에 일어난 화성활동과 판구조적인 상황을 정확히 이해하기 위해서는 변성작용 동안에 일어난 상세한 원소의 이동에 대한 연구, 동위원소에 관한 연구 등이 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 논문은 과학기술기초 중점연구지원과제(기초과학연구소, 1998-015-D00269)의 지원으로 수행되었다. 그림 작업에 수고한 이정화, 나영미 석사에게 감사드리며, 정성스럽게 원고를 읽고 지적해준 전은영 박사 와 익명의 심사자에게도 고마운 마음 전하고자 한다.

참고문헌

- 김동연, 1999, 지리산 동부지역에 분포하는 차노카이트의 암석학, 지구화학 및 지구연대학. 이학석사 학위논문. 부경대학교 대학원, 79 p.
- 김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기화강암질암의 지질 연대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 19, 151-162.
- 김용준, 1988, 보성-순천 지역에 분포하는 정편마암류의 지질시대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 21, 69-83.
- 나기창, 1998, 선캠브리아기 이연층. 한국의 지질. 시그마프레스, 33-35.
- 송영선, 1999, 소백산육괴 서남부 지리산지역의 반상변정질 편마암에서 산출되는 백립암질 포획암. 암석학회지, 8, 34-45.
- 유환수 · 김용준 · 박배영, 1993, 괴목도폭 지질보고서. 한국 자원연구소, 19 p.
- 이민성 · 박봉순 · 백광호, 1989, 순천도폭 지질보고서. 한국 동력자원연구소, 22 p.
- 조규성, 1994, 구례-하동 일대의 편마암류에 대한 암석 지구화학적연구. 한국지구과학회지, 15, 286-294.
- 조규성, 2000, 구례-순천간에 분포하는 화강암질편마암의 암석화학적 연구. 자원환경지질, 33, 173-180.
- 조규성 · 남기상, 1990, 소백산육괴 남서부지역(남원 일대)에 분포하는 편마암류의 미량원소함량과 지구화학적연구. 지질학회지, 26, 227-234.
- 주승환 · 김성재, 1986, 영남육괴 Rb-Sr 연대측정 연구(II): 지리산 남서부일대 화강암질암 및 편마상화강암류. 조사보고서, 7-33.
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985, Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48, 43-55.
- Foly, S.F. and Wheller, G.E., 1990, Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanics and continental potassic igneous rocks: the role of residual titanites. *Chemical Geology*, 85, 1-18.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A., and Tindle, A.G., 1986, Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In Coward, M.P. and Reis, A.C. (eds.), *Collision tectonics*. Special Publication of the Geological Society, 19, 67-81.
- Hine, R., Williams, I.S., Chappell, B.W., and White, A.J.R., 1978, Contrast between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *Journal of the Geological Society of Australia*, 25, 219-234.
- Henderson, G.N., 1978, The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. In Allegre, C.J. and Hart, S.R. (eds.), *Trace elements in igneous petrology*. Elsevier, 26-43.
- Henderson, P., 1984, *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier Science Pub, Co. Inc., 510 p.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- Kuno, H., 1968, Differentiation of basalt magmas. In Hess, H.H. and Poldervaart, A. (eds.), *Basalt: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition*, 2. Interscience, New York, 623-688.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, *Principles of Geochemistry*. John Wiley and Sons Inc., New York, 344 p.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Rollinson, H., 1995, *Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Group UK, 352 p.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace Elements data to problems petrology. *Physics and chemistry of the Earth*, 6, 133-213.
- Turek, A. and Kim C., 1996, U-Pb zircon for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massif, Korea. *Geochemical Journal*, 30, 231-249.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1983, Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304.
- Watson, E.B. and Harrison, T.M., 1984, Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic systems: A summary and prospects of experimental approaches. *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 35, 19-30.
- Wilson M., 1989, *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 500 p.
- Wood, D.A., Tarney, J., Varet, J., Saunders, A.D., Bougault, H., Joron, J.L., Treuil, M., and Cann, J.R., 1979, Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implication for mantle heterogeneity. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, 77-97.

2001년 1월 8일 원고 접수
2001년 5월 18일 수정원고 접수
2001년 6월 9일 원고 채택