

연천 고남산 지역에 분포하는 반력암질암의 암석화학과 관입시기

김규한* · 이현주*

Geochemistry and K-Ar Age of Gabbroic Rocks in the Konamsan Area of Yonchon Province, South Korea

Kyu Han Kim* and Hyun Joo Lee**

ABSTRACT: Gabbroic rocks in which titanomagnetite orebodies are embedded were emplaced in Precambrian meta-sedimentary rocks. Hornblende K-Ar ages for equigranula and gneissic gabbros were obtained to be 1021.8 ± 14.5 Ma and 1468.4 ± 20.8 Ma, respectively. Biotite-granite has an age of 116.4 Ma, which has corresponded to Daebo granite. Amphibole minerals of the gabbroic rock and the magnetite orebodies belong to calcic amphibole group such as ferroan pargasite, pargasite, and ferro-pargasite. The gabbroic rocks have unusually high content of TiO_2 ranging from 0.88 to 6.03 wt.% with an average value of 3.46 wt.% as compared to normal gabbroic rock with 1.32 wt.% in TiO_2 . Incompatible elements such as Ba and Sr of the gabbros are negatively correlated with SiO_2 . In contrast, Co and Cr have a positive correlation with SiO_2 , suggesting a normal differentiation trend of gabbroic magma.

서 언

남한에서 고남산, 양평, 하동 지역 등지에서 알칼리 반력암질암체가 드물게 분포하고 있다. 서울에서 북쪽으로 80 km 떨어진 경기도 연천군 관인면 삼울리 고남산을 중심으로 반력암질암이 선캠브리아기의 변성퇴적암류를 관입분포하고 있으며 합티타늄 자철광체와 밀접히 수반되고 있다. 본암의 암석 지구화학적 연구 (염병우, 1985, 장호완 외, 1987)에 의하여 조립-중립-세립질 반력암에서 층상집적 알칼리암으로 분화된 결과로 보고된 바 있다.

본 연구에서는 본암의 분포지역 주변의 지질조사를 실시하여 변성암지층을 세분하였다. 그리고 암상이 다소 다른 반력암질암의 관입시기와 암석성인을 해석하고 각섬석의 광물 화학적 특징을 규명하기 위하여 암석의 화학 분석과 K-Ar 연대측정 등을 실시하였다. 화학분석은 영국 런던 대학교 Royal Holloway and Bedford New College에 의뢰하여 ICP (Inductively Coupled Plasma) 분석 방법으로 실시하였으며, 광물의 전자현미분석은 서울대학교 지질학과에서 실시하였다. 그리고 암석의 절대연령 측정은 한국 자원연구소에 의뢰하여 K-Ar법으로 시행되었다.

지질개요

조사지역의 지질은 선캠브리아기의 변성퇴적암류로 구성되어 있다. 변성퇴적암류는 하부에서부터 흑운모 편마암, 흑운모-각섬석 편암, 규암 (석영-견운모 편암), 대리암, 운모편암 등으로 구성되어 있다. 지층의 주향은 대체로 $\text{N}30^\circ \sim 40^\circ \text{E}$, 경사는 $30^\circ \sim 78^\circ \text{NW}$ 이다 (Fig. 1).

장호완 외 (1987)에 의하면 이들 변성퇴적암류는 저압 각섬석암상에 속하는 변성상을 나타낸다. 반력암질암이 상기 변성퇴적암류의 주향에 평행하게 변성퇴적암류의 지층을 관입하고 있으며, 흑운모 화강암과 석영반암, 염기성 암맥 등이 이를 관입하고 있다. 그리고 상기지층에 부정합적으로 제 4기의 현무암 용암이 한탄강변을 따라 하천의 양안에 분포하고 있다.

흑운모 편마암

조사지역에서 최하부지층으로 조사지역의 남서측 뱃마루 부근에 분포하며 흑운모 편마암, 흑운모-흑연질 편마암으로 구성되어 있으며 주향 $\text{N}30^\circ \sim 40^\circ \text{E}$ 경사 $40^\circ \sim 70^\circ \text{NE}$ 로 부분적으로 변형되어 있다. 본 층은 북측에 흑운모 화강암과 접촉하고 있으며, 접촉부의 화강암은 조립질이며 석영이 우세하고 흑연화된 부분과 50 cm 폭의 함석석 페

* 이화여자대학교 과학교육과 (Dept. Science Education, Ewha Womans Univ., Seoul 120-750, Korea)

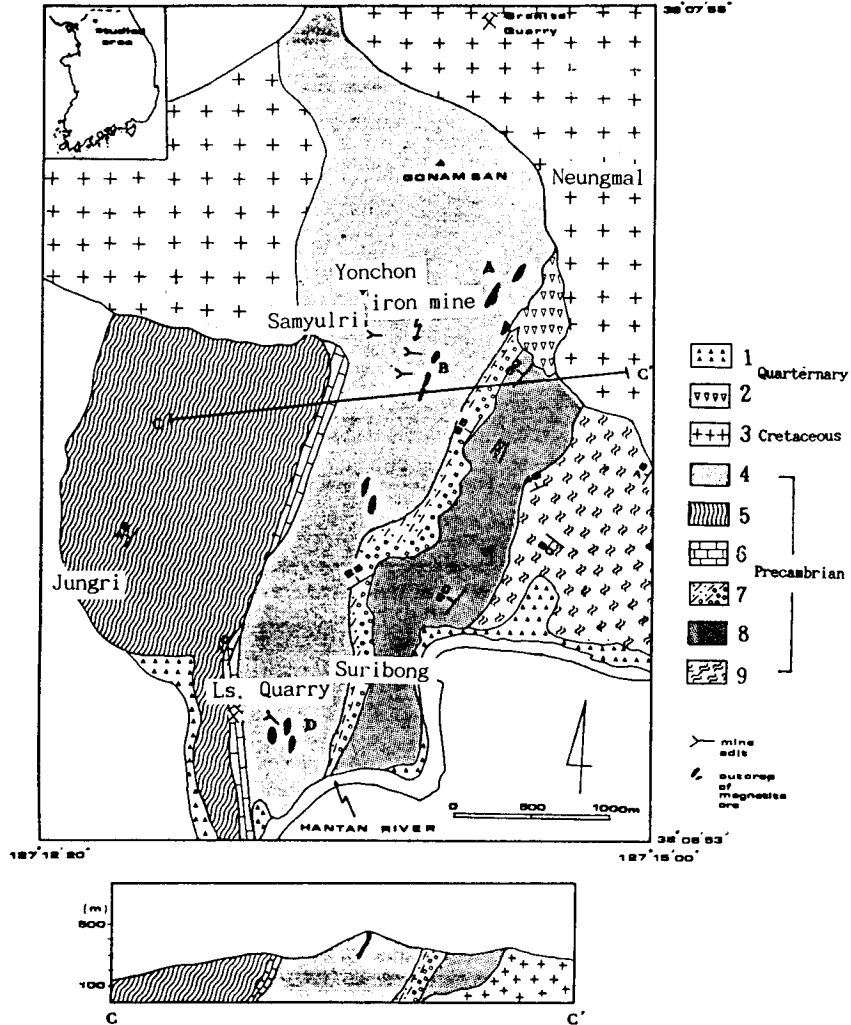


Fig. 1. Geological map of the Yonchon titanomagnetite ore deposits (Kim and Lee, 1993). 1; Quaternary basalt, 2; quartz porphyry, 3; biotite granite, 4; gabbroic rock, 5; mica schist, 6; marble, 7; quartzite and quartz-sericite schist, 8; biotite-hornblende schist, 9; biotite gneiss, A; massive magnetite ore body, B; skarn type magnetite ore body, and D; layered magnetite ore body.

그마타이트맥도 관찰된다.

흑운모-각섬석 편암

흑운모 편암상위에 정합적으로 총후 250~350 m 내외의 흑운모-각섬석 편암, 각섬석 편암으로 대표되는 지층이 분포하고 있다. 암녹색의 각섬석편암과 흑운모-각섬석 편암 사이의 암상은 점이적으로 변화하고 있다. 새재 고개 동측 도로상에서 각섬석 편암과 편리구조가 미약한 화성기원의 각섬암의 노두가 관찰된다.

규암 (석영-견운모 편암)

폭 10~50 m 내외의 규암 (석영-견운모 편암)층이 하부의 운모편암층의 주향경사와 조화적으로 연속분포하고 있다. 세립질의 재결정 석영으로 이루어진 규암층과 견운모가 우세한 석영-견운모 편암이 호층을 이루고있다. 규암과 석영-견운모 편암간에는 암상이 점이적으로 변화하고 있다. 석영-견운모 편암내의 견운모는 편리구조를 잘 나타내며 그 함량은 점이적이다.

대리암

결정질의 회백색내지 암회색 대리암이 삼율리와 교동을 연하여 한탄강변까지 연속적으로 분포하고 있다 (Fig. 1). 삼율리에서 과거 대리암을 채석하였으며, 현재 교동부근에서 대리암을 채석하고 있다. 채석장의 대리암 노두에서 소습곡구조가 관찰되며, 부분적으로는 규화되어 있다.

운모편암

대리암층 상위에 운모편암이 하부의 지층들과 조화적으로 분포하고 있다. 본암은 암갈색, 암녹색을 띠며, 석영과 운모, 녹니석 등이 편리구조를 잘 발달시키고 있다.

반력암질암

반력암질암이 대리암과 규암 지층사이에 고남산과 수리봉을 연하여 이들 지층의 주향과 거의 평행하게 관입 분포하고 있다. 반력암질암은 조립질 내지 거정질의 입상 반력암질암과 엽리구조를 잘 나타내는 조립질 각섬석과 장석으로 편마상구조를 보여주는 편마상 반력암질암으로 구분된다. 광상시추조사보고 (1982, 1983)와, 한국의 광상 (1990), 염병우 (1985) 등은 각섬암으로 기재하였으나 장호완 외 (1987)는 암석화학적 연구에서 알카리 반력암으로 조립 내지 거정질 입상조직을 보여주는 알카리 반력암질암, 중립질의 입상조직을 나타내는 알카리 반력암질암 및 층상구조를 보여주는 층상 알카리 반력암질암으로 암상을 구분하였다. 함티타늄자철광체가 반력암질암체내에 괴상 또는 렌즈상으로 발달하거나 반력암과 변성퇴적암류의 접촉부에 스키른 광물과 수반되어 산출된다. 또한 편마상 반력암의 편리구조와 평행하게 층상으로 자철광체가 발달하기도 한다.

흑운모 화강암

흑운모 화강암이 변성 퇴적암류와 반력암질암을 관입하고 있다. 지표와 갯내에서 반력암질암을 관입한 접촉부가 관찰된다 (사진 1). 화강암은 주로 조사지역 북동부에서 저반을 이루며 넓게 분포하고 있다. 또한 고남산 서측에도 큐폴라 (cupola)상으로 분포하고 있으며 반력암질암과의 접촉부에는 세립질이거나 석영과 장석이 우세하고 유색광물이 적은 암상을 나타내기도 한다. 흑운모 화강암은 석영, 정장석, 사장석 및 흑운모로 구성되어 있으며, 피어사이트조각이 잘 관찰되고, 핑크색 칼리장석이 우세한 부분도 있다.

석영반암

고남산 남동측 산능에 흑운모 화강암과 변성퇴적암류, 반력암과 접하여 석영반암이 관입하고 있다.

염기성 암맥

폭 1~2m 내외의 염기성암맥이 고남산 동남측에 분포하고 있으며 갯내에서도 관찰된다.

현무암

제 4기 추가령 구조곡을 따라 관입 분출한 현무암 용암이 한탄강 강변의 낮은 부분과 한탄강의 지류를 따라 변성퇴적암류를 부정합적으로 덮고 있다.

반력암질암의 산출상태

반력암질암은 주로 각섬석과 사장석으로 구성되어 있으며 소량의 휘석이 수반된다.

반력암질암은 그 산출상태와 구성 광물의 종류, 크기, 함량, 각섬석의 방향성 등이 다양하게 나타난다. 이같은 특징에 따라 반력암질암은 (1) 거정질 내지 조립질 반력암질암, (2) 조립질 내지 중립질 각섬석이 방향성을 잘 나타내는 편마상 반력암질암 (gneissic gabbroic rock)으로 대분된다. 상기 두 암군간에는 점이적으로 암상이 변하기도 하고 연속성이 없으며, 편마상 반력암질암이 조립질 입상 반력암질암내에 Autolith로 남아 있기도 한다.

본 암에 대하여 장호완 외 (1987)는 조직의 특징에 따라 (1) 거정질 내지 조립질 알카리 반력암질암, (2) 중립질 알카리 반력암질암, (3) 층상 알카리 반력암질암으로 구분하고 이들을 순서적인 분별 정출분화 과정의 산물로 해석하였다.

반력암 암체를 흑운모 화강암이 관입하고 있으며 반력암 암체내에 운모 편암, 석회암 및 규암이 르프펜던트나 포획암으로 포획되어 있기도 한다. 거정질 내지 조립질 반력암질암과 중립질 반력암질암은 각섬석, 휘석, 사장석등의 주구성광물과 함티타늄 자철석, 스펀, 일메나이트의 부정 분광물을 수반한다. 사장석은 $An_{43.66}$ 이다 (장호완 외, 1987). 드물게 각섬석과 석영이 함께 관찰되며 휘석과 사장석 또는 휘석과 일메나이트 사이에 반응연 (reaction rim)의 형태로 일메나이트의 주변부를 둘러싸고 있는 각섬석도 관찰된다. 불투명광물은 주로 일메나이트와 함티타늄자철석으로 구성되며, 함티타늄자철석은 미립의 조암광물 입

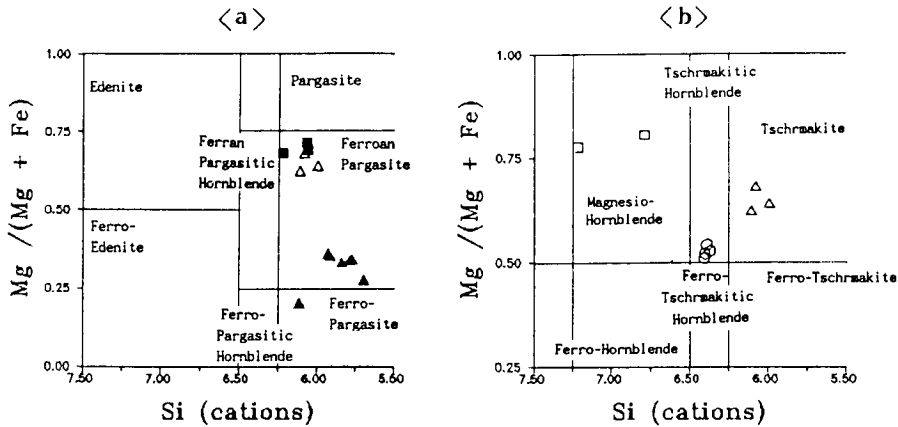


Fig. 2. Variation of Mg/(Mg+Fe) with Si for calcic amphiboles from the Yonchon iron mine. Solid rectangle; amphibole from coarse grained gabbroic rock, solid triangle; amphibole in magnetite ore, open triangle; amphibole from foliated gabbroic rock, open circle; amphibole of skarn in the vicinity of magnetite ore, and open rectangle; amphibole from the layered gabbroic rock.

자사이에 산출된다. 자철석 주변에는 스펀이 관찰되고 있다.

편마상 반러암질암은 조립질 각섬석과 장석의 엽리구조가 잘 발달하는 암상과 중립 내지 세립질 각섬석과 장석류의 엽리구조가 잘 발달하는 암상으로 대표되며 이같은 엽리구조의 방향은 변성 퇴적암류의 편리의 방향과 일치하고 있다. 편마상 반러암질암은 사장석, 휘석, 각섬석, 일메나이트, 스펀 및 인회석 등으로 구성되어 있으며 엽리구조가 잘 발달하고 있다. 2차 변질광물로 견운모와 녹염석 등이 관찰된다. 편마상 구조가 발달하는 반러암은 마그마 분화과정에서 형성된 것이 아니고 관입 후 변성 작용시에 형성된 변성구조로 해석된다. 중립 내지 조립질 입상 반러암질암체내에 함티타늄자철광체가 포켈상 또는 렌즈상으로 발달하고 있으며 반러암질암내에 산점상인 조립의 일메나이트, 함티타늄자철석 등이 다량 관찰된다.

각섬석의 광물화학

산출상태가 상이한 상기의 각섬석의 전자현미분석 결과는 Table 1과 같다. 모든 분석치에서 양이온에 근거한 각섬석 구조식에서의 양이온 값과 Fe^{2+} , Fe^{3+} 의 구분은 Laird and Albee (1981)의 방법에 의해 재계산되었다. 이때 전체 양이온을 15에서 Na^+ 와 K^+ 의 양을 제외한 값으로 놓는 15-NK 방법과 13에서 Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 의 양을 제외한 값을 전체 양이온값으로 계산하는 13-CNK 방법을 이용하여 그 평균값을 채택하였다.

시료 대부분의 각섬석군은 $(Na+K)_A > 0.5$; $Ti < 0.50$;

$Fe^{3+} < Al^{vi}$ 에 해당된다. Fig. 2a에서와 같이 대체로 산출 상태에 관계없이 각섬석군의 광물은 Ferroan pargasite와 Pargasite, 그리고 Ferro-pargasite 영역에 속한다. 그러나, 시료 (S-1)의 각섬석은 A자리의 $Na+K$ 양이 0.198~0.480으로 $(Na+K)_A < 0.5$; $Ti < 0.50$ 에 해당되어 Tschermakitic Hornblende와 Magnesio-hornblende에 속한다 (Fig. 2b).

$[Al]^{vi}/(Na+K)$ 와 $[Al]^{iv}/([Al]^{vi}+Fe^{3+}+Ti)$ 에 의한 각섬석군 광물의 분류 (Deer et al., 1965)에서도 본 연구 지역의 각섬석군은 Pargasite질 각섬석으로 구분된다.

$[Al]^{iv}$ 과 $[Al]^{vi}$ 는 1:2에 가까운 비례관계를 보이며 (Fig. 3b), 이와 함께 $[Al]^{iv}$ 과 A자리의 관계에서 보이는 선형 선형 변화경향 (Fig. 3a)은 각섬석군중 파게사이트 치환 ($Al^{iv} + Mg^{vi} + 2Si^{iv} = Na^A + Al^{vi} + 2Al^{iv}$)에 의한 것임을 나타낸다. 일반적으로 파게사이트치환으로 인한 선형경향은 온도의 증가와 f_{O_2} 의 감소시에 잘 나타난다 (Spear, 1981).

반러암의 K-Ar연령

함티타늄자철광체와 성인적으로 밀접한 관계를 가지고 있는 반러암중 조립등립질 반러암과 편리구조를 나타내는 편마상 반러암시료에 대하여 각섬석 광물의 K-Ar광물연령을 측정하였다. 그리고 반러암을 관입하고 있는 흑운모-각섬석 화강암에 대하여 흑운모 K-Ar광물연령을 측정하였으며 그 결과는 Table 2과 같다. 조립질 반러암은 1468.4 ± 20.8 Ma, 편마상 반러암은 1021.8 ± 14.5 Ma로 원생대 중기 (Middle Proterozoic)로 밝혀졌다. 편마상 반러암이 조립등립질 반러암보다 젊게 측정된 연령 측정결

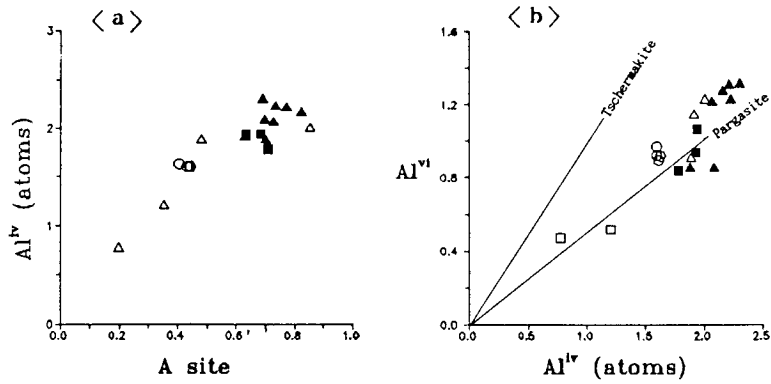


Fig. 3. The compositional variation of amphiboles in terms of cations [Al]^{iv} vs. A-site occupancy (a) and Al ([Al]^{vi}) vs. Al ([Al]^{iv}) (b). Symbols are the same as in Fig. 2.

Table 4. Chemical compositions of amphiboles for gabbroic rocks and skarn iron ores from the Yonchon titanomagnetite ore deposits.

Sample No. Analytical point	E-11a			G-2			G-1						S-1		
	35	36	38	40	41	39	20	21	22	23	24	25	27	45	49
SiO ₂	41.56	41.32	40.79	39.79	40.78	46.62	37.66	36.35	38.15	36.58	36.07	35.26	37.09	49.33	39.93
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.04	0.01	0.07	0.01	0.04	/ 0.00	0.01
Al ₂ O ₃	14.84	16.56	17.18	18.23	17.45	10.04	17.72	18.18	14.52	18.58	18.65	19.02	15.67	7.23	15.53
FeO	11.88	12.16	11.08	11.66	11.48	11.08	18.83	18.57	19.38	19.83	28.54	20.45	21.30	9.66	15.16
MnO	0.10	0.25	0.16	0.12	0.21	0.13	0.11	0.10	0.08	0.04	0.05	0.17	0.22	0.14	0.05
MgO	11.94	11.96	11.62	10.87	11.26	15.22	5.62	5.08	6.58	5.10	5.04	3.88	5.32	15.61	9.77
Cr ₂ O ₃	0.04	0.06	0.03	0.14	0.07	0.07	0.05	0.03	0.07	0.00	0.04	0.05	0.08	0.02	0.11
CaO	12.44	11.61	12.09	10.15	11.02	10.16	11.38	11.57	11.08	11.18	11.39	11.04	11.71	11.65	10.84
Na ₂ O	2.45	2.55	2.52	3.58	2.62	2.02	2.49	2.63	2.40	2.56	2.53	2.34	2.22	1.02	1.98
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.06	0.00	0.01
Total	95.26	96.50	95.47	95.54	94.90	95.33	93.93	92.59	92.32	93.92	92.42	92.24	93.71	94.65	93.48
Cations per 23 oxygens															
Si	6.22	6.06	6.06	5.99	6.08	6.80	5.93	5.83	6.11	5.77	5.78	5.69	5.91	7.22	6.11
Al(iv)	1.78	1.94	1.94	2.01	1.92	1.21	2.07	2.17	1.89	2.23	2.22	2.31	2.09	0.78	1.89
Al(vi)	0.84	0.94	1.07	1.23	1.15	0.52	1.22	1.28	0.86	1.23	1.31	1.32	0.86	0.47	0.91
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.24	0.45	0.23	0.10	0.26	0.55	0.16	0.06	0.37	0.32	0.14	0.34	0.52	0.20	0.60
Mg	2.66	2.62	2.57	2.44	2.50	3.30	1.32	1.22	1.57	1.20	1.20	0.93	1.26	3.41	2.23
Fe ²⁺	1.25	1.04	1.14	1.37	1.17	0.80	2.32	2.43	2.23	2.30	2.35	2.42	2.32	0.99	1.34
Mn	1.25	1.04	1.14	1.37	1.17	0.80	2.32	2.43	2.23	2.30	2.35	2.42	2.32	0.99	1.34
Cr	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Fe ⁺² (M4)	0.00	0.08	0.04	0.17	0.11	0.20	0.04	0.01	0.05	0.05	0.02	0.04	0.00	0.08	0.10
Ca	1.99	1.83	1.92	1.64	1.76	1.59	1.92	1.99	1.90	1.89	1.96	1.91	2.00	1.83	1.79
Na(M4)	0.00	0.09	0.04	0.91	0.13	0.22	0.04	0.01	0.05	0.06	0.02	0.05	0.00	0.09	0.11
Na(A)	0.71	0.63	0.68	0.85	0.63	0.35	0.72	0.81	0.69	0.72	0.76	0.69	0.69	0.20	0.48
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
vi	1.07	1.39	1.30	1.33	1.41	1.07	1.38	1.34	1.23	1.55	1.46	1.66	1.38	0.67	1.51
Mg	0.64	0.63	0.65	0.62	0.63	0.71	0.35	0.33	0.38	0.31	0.33	0.25	0.31	0.74	0.53
Fe	0.32	0.28	0.31	0.36	0.32	0.20	0.64	0.67	0.59	0.66	0.66	0.72	0.65	0.22	0.38

Table 2. K-Ar mineral ages for the gabbroic rock and biotite granite from the Yonchon iron mine.

Sample No.	Description	Mineral	%K	Ar(mol/g)	Age	Remark
E-9	Coarse equigranular gabbro	Hb	0.21	8.257	1468.4 (± 20.8)	Middle Proterozoic
E-10	Gneissic gabbro	Hb	0.34	8.104	1021.8 (± 14.5)	Middle Proterozoic
K-10	Biotite-hornblende granite	Bt	4.94	1.030	116.4 (± 1.7)	Early Cretaceous

Hb; Hornblende and Bt; Biotite.

Table 3. Chemical compositions of the gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits.

No. Element	H-1	H-6	M-1	M-2	Y-5	5-11	5-13	5-14a	KH-1	H-3	Y-6	H-5	H-7	5-7	5-14b	G-1	AF-1
SiO ₂	48.08	46.65	49.10	46.51	49.65	44.32	46.09	45.50	50.62	47.68	48.74	49.45	49.74	41.48	67.31	43.94	48.36
TiO ₂	2.29	2.06	2.37	4.45	1.63	4.61	3.08	3.38	0.88	1.37	1.39	1.58	0.92	6.03	0.06	2.28	1.32
Al ₂ O ₃	8.15	12.53	13.43	16.27	10.45	12.49	12.82	12.56	14.05	14.47	14.68	13.49	13.58	12.50	19.20	14.87	16.84
Fe ₂ O ₃ *	11.19	17.30	10.59	12.33	9.45	18.02	12.94	14.43	11.89	13.42	12.80	14.88	13.47	16.91	0.98	13.03	10.47
Fe ₂ O ₃	2.53	3.91	2.40	2.79	2.14	4.08	2.93	3.26	2.69	3.04	2.90	3.37	3.05	3.83	0.22	4.36	
FeO	8.66	13.39	8.19	9.54	7.31	13.94	10.01	11.17	9.20	10.38	9.90	11.51	10.42	13.08	0.76	7.80	
MnO	0.19	0.24	0.20	0.23	0.15	0.28	0.29	0.26	0.19	0.25	0.23	0.24	0.22	0.22	0.01	0.16	0.18
MgO	9.79	7.59	6.13	3.61	9.35	5.51	7.67	7.63	7.81	7.29	6.90	6.26	7.61	5.58	0.08	9.31	8.06
CaO	18.53	10.16	14.97	11.83	16.46	10.42	13.14	12.16	11.66	11.71	11.22	10.06	11.97	13.03	1.21	12.37	11.07
Na ₂ O	0.92	2.07	2.43	3.29	1.59	2.94	2.04	2.45	1.94	2.23	2.47	2.44	1.99	2.42	7.50	1.33	2.26
K ₂ O	0.47	1.15	0.54	0.67	0.98	0.80	1.32	1.25	0.80	1.38	1.36	1.38	0.33	0.78	3.62	0.92	0.56
P ₂ O ₅	0.39	0.25	0.24	0.81	0.29	0.61	0.61	0.38	0.16	0.20	0.21	0.22	0.17	1.05	0.03	0.44	0.64

Fe₂O₃*; Total iron. G-1; Alkali gabbroic rock from the Gadiner complex of Greenland (Nielsen, 1981). AF-1; Basic alkaline intrusive rocks from South Africa (McIver, 1981).

과는 지질구조운동과 관련된 변성작용시 Ar유실에 기인한 변성작용의 연령을 의미하고 있다. 세계적으로 잘 알려져 있는 남아프리카의 부쉬벨드 복합체 (Bushveld Complex) 와 스웨덴의 키루나 (Kiruna)철광상의 함티타늄 철광상에서의 모암인 반려암 또는 알카리 염기성암류의 연대가 16~20억년 내외로 원생대로 알려진 지질 년대 (Welin et al, 1970)와 조화적이다. 지리적으로 한반도 남부의 하동 산청 회장암 및 반려암질 회장암의 관입시기가 Sm-Nd 아이소크론에서 1698 Ma (Kwon and Jeong, 1990)가 얻어졌으며 한반도의 선크브리아의 기반암의 지체구조 해석에 중요한 결과를 얻었다. 하동산청지역의 반려암질 회장암의 암상, 관입시기 및 일메나이트가 다량 수반되는 점 등에서 연천지역의 고탐 유티타늄 반려암질암과 대단히 유사하다. 한반도 중부지역에서 원생대의 함티타늄철광상 관련 반려암의 관입 시기 확인은 선크브리아기 철광상의 성인 연구는 물론 한반도 선크브리아기 기반암의 지체구조 및 화성활동사 연구에도 대단히 중요한 자료가 될 것이다.

그리고 반려암을 관입하고 있는 흑운모화강암의 흑운모 K-Ar연령은 116.4±1.7 Ma (백악기초)로 대보화강암류 (주라기와 초기 백악기)에 해당되고 있다. 대보화강암의 관입시기는 주라기와 초기 백악기이고 불국사 화강암은 중기 백악기에서 제 3기로 알려져 있다 (Kim, 1975; Won, 1987). 우리나라 중생대 화강암류중 대보화강암은 석영의 δ¹⁸O값이 +7.0~+10.0%이며 불국사 화강암은 δ¹⁸O값이 +4.0~+8.3%이다 (Kim et al., 1992). 이 지역의 흑운모 화강암의 석영의 산소안정동위원소비가 δ¹⁸O=10.2%로서 대보화강암의 값의 범위에 들어가 K-Ar연대 측정 결과를 뒷받침하여 주고 있다. 광체가 편마상 반려암의 편리와 조화적 (concordant)으로 산출되기도 하고 괴상 자철광체가 조립질 반려암을 관입하거나 괴상자철광체에 조립질 반려암이 포획되어 있는 점, 반려암내에 이상적으로 TiO₂의 함량이 높은 점 등에서 함티타늄자철석의 광화작용의 시기는 1021~1468 Ma 사이인 것으로 해석이 된다. 이 시기는 경기지역 연천계 변성퇴적암 복합체의 변성작용의

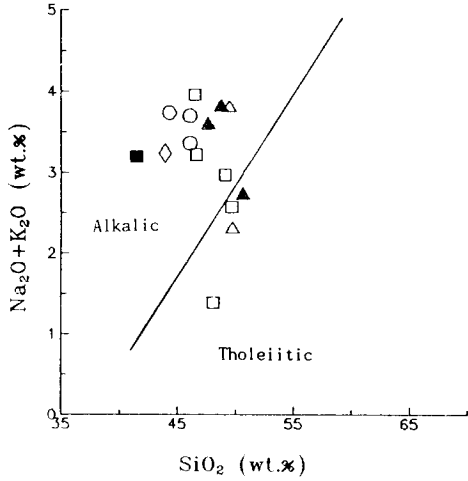


Fig. 4. Alkali vs. silica diagram for the gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Divided line between alkalic and tholeiitic rocks after MacDonald and Katsura (1964). Open rectangle; coarse grained gabbroic rock, open circle; medium grained gabbroic rock, open triangle; fine grained gabbroic rock, solid triangle; well foliated gabbroic rock, solid rectangle; layered gabbroic rock, and open diamond; alkali gabbroic rock (Nielsen, 1981)

시기 (2666 ± 40 Ma, 나기창, 이동진, 1973)보다 다소 후기로 나타나고 있다.

반려암질암의 암석화학

반려암류의 주성분원소에 대한 화학분석결과는 Table 3과 같다. 분석 시료를 입도와 편리구조 유무에 따라 (A) 거정-조립질 반려암질암 (시료번호 H-1, H-6, M-1, M-2, Y-5)와, (B) 약한 엽리구조를 나타내는 중립질 반려암질암 시료 (시료번호 5-11, 5-13, 5-14a)와, (C) 세립질 반려암질암 (시료번호 H-5, H-7), (D) 편리구조가 잘 발달되어 있는 중립질 반려암질암 (시료번호 KH-1, H-3, Y-6), (E) 층상 반려암질암 (시료번호 5-7) 등으로 구분하였다. 시료 5-14b는 중립-조립질 반려암질암과 접촉하고 있는 흑운모 화강암의 시료이다.

Nielsen (1981)에 의한 그린랜드 동부의 Gradiner complex의 알카리 반려암질암의 평균 화학성분이나 남아프리카의 반려암질암과 고남산지역의 반려암질암의 주성분원소의 함량과 대단히 유사하다.

그러나, TiO_2 함량은 평균 3.46 wt.%로 고남산 반려암이 훨씬 높으며, 스캐어가드 (Skaergaard)반려암체의 TiO_2 1.61 wt.% (Haslund, 1984) 보다도 TiO_2 함량이 높은 암

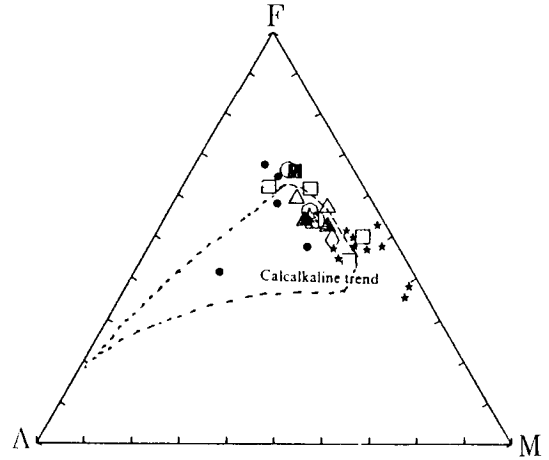


Fig. 5. AFM diagram showing whole rock compositions in terms of $Na_2O+K_2O=A$; Total iron= F ; $MgO=M$, for the gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Dashed line represents the differentiation trend of calcalkaline trend. Solid circle; data of the gabbroic rock from the Yonchon iron mine (Jang et al., 1987), solid asterisk; Skaergaard intrusive rocks (McBirney, 1975). and The other symbols are the same as in Fig.4.

체로 확인되었다. 반려암과 접촉한 화강암은 TiO_2 가 0.06 wt.%로 대단히 낮다. 또한 고남산 반려암은 P_2O_5 의 함량이 1.11 wt.%로 보통의 반려암 (0.44~0.64 wt%)에서보다 높은 특징을 나타내고 있다.

$SiO_2-Na_2O+K_2O$ 그림 (MacDonald and Katsura, 1964)에서 연천지역 반려암질암은 알칼리암계열에 도시된다 (Fig. 4).

A-F-M 다이어그램에 도시한 결과 카스케이드, 알류산 열도 및 뉴질랜드지역이 칼크-알칼리암계열의 관입암체의 분화 초기와 유사한 경향을 갖는다 (Fig. 5). 또한 이 시료의 분석 결과를 Streckeisen and Le Maitre (1979)의 화성암 분류도에 도시하면 Fig. 6에서와 같이 Foid-bearing gabbro에 도시되고 있다. 이는 장호완 외 (1987)의 결과와도 일치하고 있다.

각 주성분원소의 SiO_2 에 대한 산화물 변화 경향을 Harker diagram으로 나타내면 Fig. 7과 같다. SiO_2 에 대한 TiO_2 와 Total FeO함량은 부의 상관성을 보이고, CaO, Al_2O_3 , K_2O , MgO 등은 상관성이 없이 비교적 모든 시료가 균질한 성분을 나타내고 있다. 일반적으로 SiO_2 가 증가함에 따라 TiO_2 는 감소하고 있다. 즉, 분화가 진전됨에 따라 TiO_2 가 초기 정출광물에 분배됨을 알 수 있다. 그리고, $Fe/(Fe+Mg)$ 에 대한 TiO_2 의 변화는 정의 상관성을 보여주고 있다 (Fig. 8).

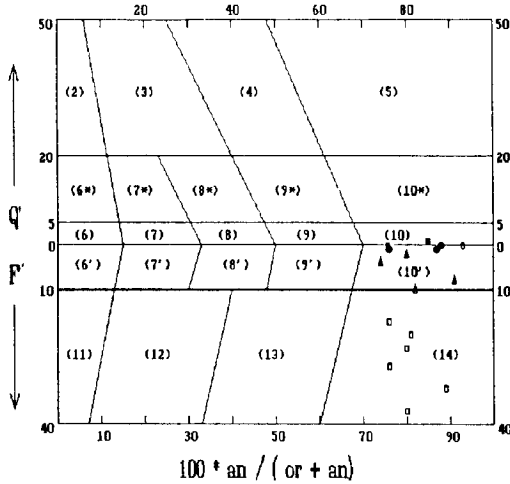


Fig. 6. Normative classification of gabbroic rocks from the Yonchon iron mine based on Strekeisen and Le Maitre's scheme (1979), [10]; Gabbro and diorite, [10]; foid bearing gabbro and foid bearing diorite, and [14]; foid diorite and foid gabbro.

미량원소와 희토류원소성분

조립질, 중립질, 세립질 반러암질암과 엽리구조가 발달하는 반러암질암의 미량원소와 희토류원소의 분석결과는 Table 5와 같다. Table 3에서와 같이 암상이나 산출상태의 차이에 따른 미량원소나 REE함량의 변화는 나타나지 않는다. 중립내지 조립질 반러암질암은 Ba 104~384 ppm, Sr 123~1556 ppm, V 157~352 ppm으로 타성분에 비해 이들 함량이 높다. 엽리구조가 잘 발달하는 반러암질암은 Ba 74~125, Sr 155~304, V 284~332 ppm으로 조립질 암석과 유사한 조성을 가진다. SiO₂에 대하여 Ba, Sr과 같은 불호정원소 (incompatible element)는 부의 상관관계 (상관계수=0.61)를 나타내며 호정원소 (compatible element)인 Co, Sc, Cr 등은 정의 상관성을 나타내고 있어 반러암질 마그마의 분화를 반영하고 있다 (Fig. 9). 그리고 Sm, Nd, Eu, Ce, La, Nb 등과 SiO₂함량은 부의 상관성 (상관계수=0.8~0.9)이 잘 나타나고 Sc는 정의 상관성 (상관계수=0.66)을 나타낸다. 각석석, 휘석 등의 규산염 광물에서 TiO₂의 함량이 낮은 사실에서 티타늄성분은 반러암 결정화시 규산염용액과 일메나이트나 함티타늄자철석을 주로 하는 함티타늄 철산화물 멜트의 불혼화용액으로 분리되어 함티타늄자철광체가 형성되었음을 의미하여 주고 있다.

반러암내의 V는 284~332 ppm으로 TiO₂와 함께 기타 미량성분에 비해 비교적 높은 함량이 포함되어 있다.

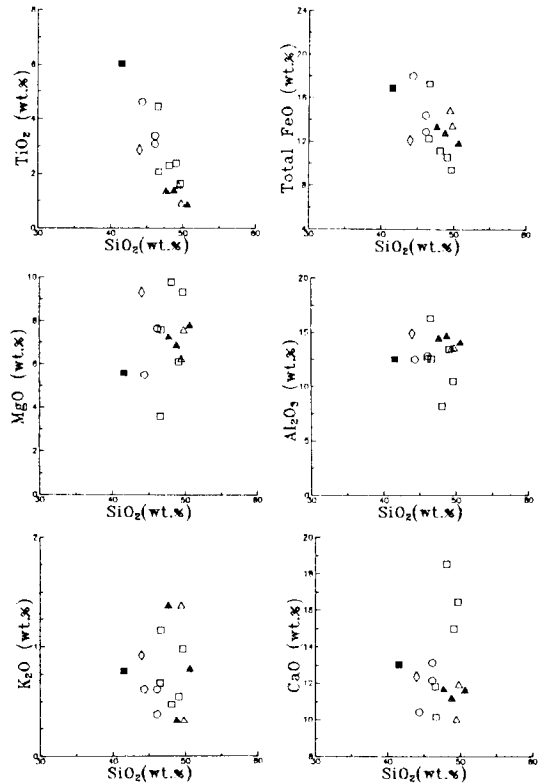


Fig. 7. Harker's variation diagrams for the gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Symbols are the same as in Fig. 4.

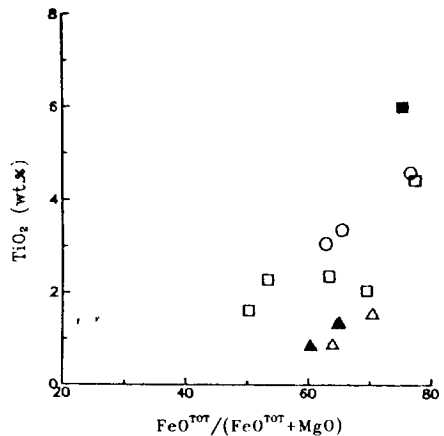


Fig. 8. The variation of TiO₂ versus total iron content for the gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Symbols are the same as in Fig. 4.

반러암질암의 시료와 화강암 시료에 대한 REE 분석 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Concentration of trace elements and REE in gabbroic rocks from the Yonchon iron mine.

Sample No. Element	H-1	H-6	M-1	M-2	Y-5	5-11	5-13	5-14a	KH-1	H-3	Y-6	H-5	H-7	5-7	5-14b
Ba	104	305	216	280	236	384	342	301	74	1255	95	136	58	170	142
Co	31	42	22	11	36	24	32	32	44	42	41	40	49	26	4
Cr	86	286	42	21	128	30	99	122	173	134	132	141	104	40	2
Cu	6	12	6	8	43	29	36	29	146	123	163	111	125	45	9
Li	23	35	18	12	13	15	26	28	11	24	18	15	6	16	52
Nb	18	18	13	27	5	54	33	44	4	8	9	8	3	30	159
Ni	25	185	23	16	39	28	55	78	95	88	80	67	82	28	6
Sc	33	37	22	14	34	23	26	33	49	43	42	42	50	20	0
Sr	299	123	908	1556	653	767	671	670	155	245	304	170	87	561	202
V	322	352	157	165	251	289	260	284	284	332	317	358	312	445	6
Y	27	103	25	20	20	38	25	38	27	27	28	40	30	37	43
Zn	116	146	106	159	77	211	235	197	92	221	200	118	95	166	50
Zr	28	20	15	15	20	16	22	50	9	13	14	13	10	22	12
La	11	38	10	19	9	32	21	25	6	9	11	14	5	47	15
Ce	23	98	25	48	27	69	44	55	8	18	21	25	8	92	27
Nd	19	58	24	33	14	48	29	35	10	15	17	20	10	50	10
Sm	6.0	14.7	602	7.3	5.6	10.4	6.4	8.2	2.4	3.8	4.2	5.2	2.8	10.4	2.1
Eu	1.2	2.1	107	2.3	1.3	2.5	1.5	1.9	0.7	0.9	1.0	1.1	0.7	2.2	0.3
Dy	4.2	13.9	3.8	3.3	3.4	6.4	3.8	5.7	3.2	3.6	3.8	5.5	3.7	5.9	3.8
Yb	1.9	8.6	1.8	1.2	1.3	2.6	1.6	2.8	2.5	2.2	2.3	3.4	2.8	2.3	3.7

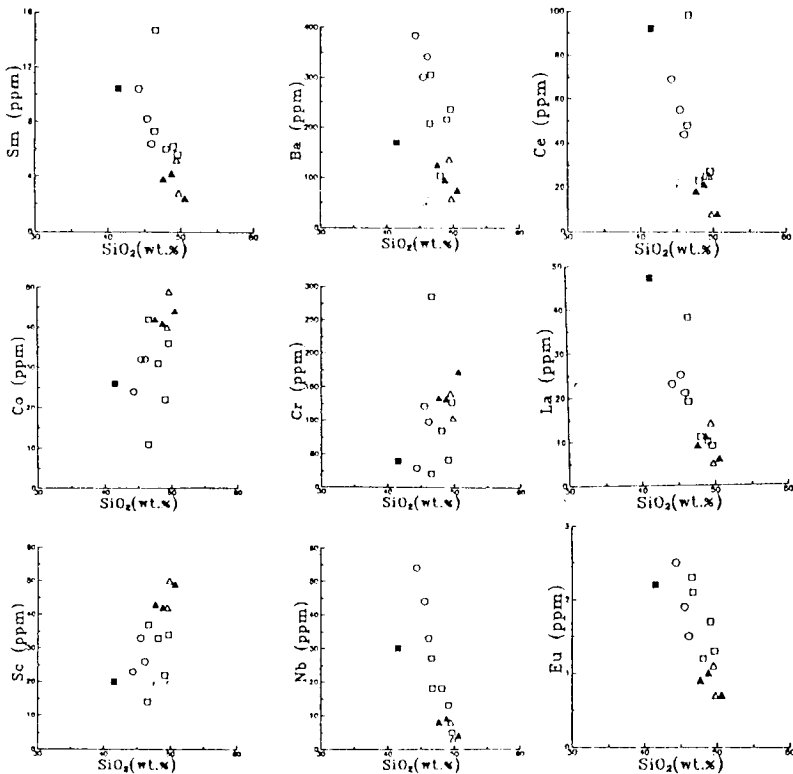


Fig. 9. Trace element variation with SiO₂ for gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Symbols are the same as in Fig. 4.

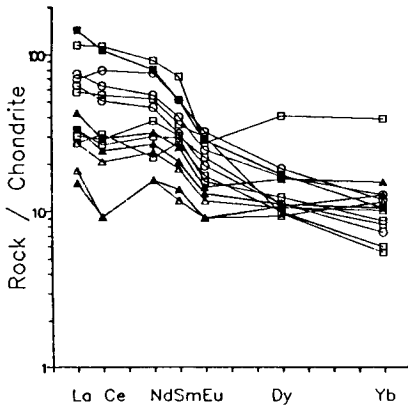


Fig. 10. REE patterns of gabbroic rocks from the Yonchon titanomagnetite ore deposits. Symbols are the same as in Fig. 4.

콘드라이트 (chondrite) 표준화는 Nakamura가 제시한 값 (Nakamura, 1974)을 이용하였다. 연천 함티타늄철광상의 모암인 반러암의 REE패턴은 대부분의 시료에서 LREE가 부화되어 있으며 시료간의 LREE의 함량변화가 HREE에서 보다 크다 (Fig. 10). 그리고 편마상 반러암 세립질 반러암내의 LREE가 낮은 경향이 있다. 반러암질암의 암상에 따라 REE의 함량의 차이가 나타난다. 이는 변성작용 또는 광화작용과 관련되어 REE의 함량의 변화가 일어난 것으로 추정된다. 대부분의 시료가 Eu의 부적 경향을 보이며 거정질, 조립질 반러암시료 (H-6)에서 Eu의 부 (-)의 경향이 현저한 것은 사장석의 정출에 기인한 것으로 해석된다. Niu and Leshner (1991)에 따르면 HREE는 저어콘이나 스펀의 정출을 알려주는데 시료 H-6에서 HREE값이 다른 시료에 비해 높게 나타나는 것은 스펀이 정출되지 않는 사실에 잘 부합된다. 편리가 발달한 시료 (KH-1, H-3, Y-6)와 세립질 시료 (H-7)에서는 LREE가 낮으며 HREE와의 함량차이가 없는 것이 특징적이다. 그리고 산화환경하에서 이동성이 큰 Ce의 부적 이상값이 나타나는데 이는 함티타늄 자철석의 정출로 인해 산화환경에서 환원환경으로의 변화에 기인하는 것으로 해석된다.

결론

1. 고남산지역에 분포하는 반러암질암은 거정질-조립질 반러암, 세립질 반러암, 조립 중립질 편마상 반러암으로 구분된다. 본 반러암체와 밀접하게 연천 함티타늄 자철광상이 발달하고 있으며 광체는 반러암체내에 발달하는 맥

상·렌즈상·괴상 광체, 변성퇴적암류와 반러암과의 접촉부에 발달하는 스카른형 광체와 반러암의 열리구조와 평행하게 발달하는 층상철광체로 구성되어 있다.

2. 반러암의 K-Ar년령은 조립 등립질 반러암 1468.4 ± 20.8 Ma과 편마상 반러암 1021.8 ± 14.5 Ma로 원생대 중기이다. 이와 밀접하게 분포하고 있는 흑운모 화강암은 116.4 ± 1.7 Ma로 대보화강암으로 확인되었다.

3. Foid-bearing gabbro에 해당하는 반러암은 전암의 TiO_2 함량은 0.88~6.03 wt.% (평균 3.46 wt.%)로 보통의 반러암이 갖는 1.32 wt.%보다 훨씬 높은 TiO_2 를 함유하고 있다. 또한 V는 284~332 ppm으로 TiO_2 와 함께 높은 함량을 나타낸다.

4. 반러암은 칼크 알칼리 계열 마그마 분화 초기의 암석 화학적 특징을 나타내며 SiO_2 가 증가함에 따라 TiO_2 가 감소하고 있다. Ba과 Sr 불호정 원소는 SiO_2 와 부의 상관성을 나타내며 Co, Cr 등은 SiO_2 와 정의 상관성을 나타내어 마그마의 분화 경향을 나타내고 있다.

5. 반러암의 구성광물 중 각섬석은 calcic amphibole군에 속하며 Ferroan pargasite, Pargasite 또는 Ferro-pargasite에 해당한다. 각섬석내의 TiO_2 의 함량은 0.005~0.069 wt.%로 TiO_2 의 함량이 대단히 낮다.

사 사

이 연구는 전략광물자원연구센터의 지원과 1993년도 교육부 기초 과학 육성 연구의 지원으로 이루어졌다. 이들 기관에 사의를 표한다. 본 연구 수행시 현지조사에 협조하여 주신 연천 광산 소장 및 관계자 여러분께 감사한다. 그리고 원고 정리시에 수고하여 준 이화여자대학교 교육대학원 신유희, 박성숙 양에게 감사한다.

참고문헌

- 나기창, 이동진 (1973) 경기변성대의 Rb-Sr방법에 의한 지질시대 소고. 지질학회지, 9권.
- 염병우 (1985) 경기도 연천군 관인면 지역에 분포하는 각섬암과 이와 관련한 함티타늄철광상의 암석지구화학적 특징 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 미간행.
- 장호완, 염병우, 박노영 (1987) 고남산 함티타늄자철광상의 모암인 알가리 반러암질암의 암석화학적 연구. 광산지질, 20권, p. 85-95.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1965) Rock forming minerals. Longman.
- Haslund, H. R. (1984) Petrology of the upper border series of the Skaergaard intrusion. J. Pet., v. 25, p. 185-212.
- Kim, K. H., Satake, H. and Mizutani, Y. (1992) Oxygen isotopic compositions of Mesozoic granitic rocks in South Korea. Mining Geol., v. 42, p. 311-322.
- Kim, O. J. (1975) Granites and tectonics of South Korea. J.

- Kor. Inst. Mining Geol., v. 8, p. 223-230.
- Kwon, S. T. and Jeong, J. G. (1990) Preliminary Sr-Nd isotope study of the Hadong-Sanchung anorthositic rocks in Korea: Implication for their origin and for the Precambrian tectonics. *Jour. Geol. Soc., Korea*, v. 26, p. 341-349.
- Laird, J. and Albee, A. L. (1981) Pressure, temperature and time indicator in mafic schist. *Am. J. Sci.*, v. 281, p. 127-175.
- Leake, B. E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Am. Min.*, v. 63, p. 1023-1052.
- McBirney, A. R. (1975) Differentiation of the Skaergaard intrusion. *Nature*, v. 253, p. 691-694.
- McIver, J. R. (1981) Aspects of ultrabasic and basic alkaline intrusive rocks from Bitterfontein, South Africa. *Contr. Mineral. Petrol.*, v. 78, p. 1-11.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 38, p. 757-775.
- Nielsen, T. F. D. (1981) The ultramafic cumulate series, Gerdiner complex, East Greenland. *Contr. Mineral. Petrol.*, v. 76, p. 60-72.
- Niu, Y. and Leshner, C. M. (1991) Hydrothermal alteration of mafic metavolcanic rocks and genesis of Fe-Zn-Cu sulfide deposits Stone Hill district, Alabama. *Econ. Geol.*, v. 86, p. 983-1001.
- Spear, F. S. (1981) An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibole. *Am. J. Sci.*, v. 281, p. 697-734.
- Streckeisen, A. L. and Le Maitre, R. W. (1979) A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 136, p. 169-206.
- Welin, E., Christiansson, K. and Nilssen, O. (1970) Rb-Sr age dating of intrusive rocks of the Haparanda-suite. *Geol. Fören. Stockholm Förh.*, v. 92, p. 336.
- Won, C. K. (1987) Triassic to paleogene igneous rocks, in "Geology of Korea". Lee, D. S., Ed., Kyohaksa.

1993년 11월 16일 원고접수