

## 강원도 고성군 일대의 후기 마이오세 현무암의 암석학적 연구

고정선 · 윤성호\*

부산대학교 사범대학 과학교육학부 지구과학교육전공

### Petrology on the Late Miocene Basalts in Goseong-gun, Gangwon Province

Jeong Seon Koh and Sung-Hyo Yun\*

Major on Earth Science Education, Division of Science Education, College of Education,  
Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**Abstract:** Petrographical and petrochemical analyses for late Miocene basalts in Goseong-gun area, Gangwon province, were carried out to interpret the characteristics and the origin of magma. The basaltic rocks occurred as plug-dome in the summit of several small mountain and developed columnar jointing with pyroxene-megacryst bearing porphyritic texture. And the basalt contains xenoliths of biotite granite (basement rocks), gabbro (lower crustal origin) and lherzolite (upper mantle origin). The basalts belong to the alkaline basalt field in TAS diagram and partly belong to picobasalt and trachybasalt field. On the tectonomagmatic discrimination diagram for basalt in the Goseong-gun area, they fall into the fields for the within plate and oceanic island basalt. The characteristics of trace elements and REEs shows that primary magma for the basalt magma would have been derived from partial melting of garnet-peridotite mantle. This late Miocene basalt volcanism is related to the hot spot within the plate.

**Keywords:** late Miocene, alkali basalt, mantle xenolith, within plate basalt, ocean island basalt, hot spot volcanism.

**요약:** 강원도 고성군 일대에서 산출되는 제3기 후기 마이오세 현무암에 대한 암상 구분과 산출 상태를 파악, 박편 관찰과 주요 구성광물에 대한 화학성분 분석, 현무암의 전암 조성분 · 미량성분 · 희토류 원소의 조성 연구를 통하여 기원 마그마의 성인과 지체구조적 위치를 규명하였다. 고성지역에는 7개의 낮은 산봉우리에 프러그 돔형으로 알칼리현무암이 분포하며, 주상절리가 발달하며 단사회석-반상조각이 우세하다. 현무암에는 기반암인 흑운모화강암과 하부지각 기원의 반려암과 상부맨틀기원의 레졸라이트 포획체를 함유한다. 현무암류는 모두 알칼리 계열로 분류되며, 대부분이 알칼리현무암의 성분 영역에 도시되고 일부 조면현무암과 피크로현무암 영역에 도시된다. 본역의 현무암류는  $K_2O/Na_2O$ 의 비에 따라 정상계열에 도시된다. 이 지역 현무암을 형성한 마그마는 희토류원소의 변화 패턴과 미량원소의 거미그림 특징으로부터, 상부 맨틀 물질인 석류석 페리도타이트의 부분용융에 의하여 형성된 것으로 사료되며, 현무암질 화산활동은 태평양판의 침강 섭입과는 무관한 지판내부현무암에 해당하는 조구조 위치에서 열점과 관련하여 형성되었다.

**주요어:** 후기 마이오세, 알칼리현무암, 맨틀 포획체, 지판내부현무암, 해양도현무암, 열점 화산작용

## 서 언

강원도 고성군 동부 지역은 쥐라기의 흑운모화강암이 기반암을 이루고 있으며, 제3기 마이오세에 관입·분출한 알칼리 현무암이 7개의 낮은 산봉우리에 플러그-돔(plug-dome)형을 이루며 소규모로 분포하고

있다(Fig. 1). 이 지역에서 산출되는 현무암은 다양한 종류의 맨틀 포획암과 하부 지각 물질을 포함하고 있다.

맨틀에서 마그마가 형성된 후에 비교적 빠른 시간 내에(60시간 이내: Kushiro et al., 1976) 지표에 도달하여 분출된 알칼리 현무암질 용암류의 경우에는 각각의 영향에 의한 마그마 성분의 변화가 매우 적은 것으로 알려져 있어 맨틀의 성분이나 마그마의 성인에 대한 정보를 제공해 준다. 또한, 맨틀 포획암들은 맨틀 고유의 조성을 거의 그대로 가지고 있을 수 있

\*Corresponding author: yunsh@pusan.ac.kr  
Tel: 82-51-510-2723  
Fax: 82-51-513-7495

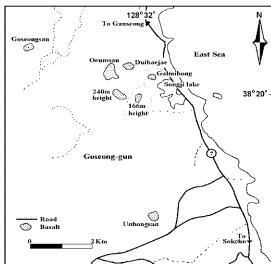


Fig. 1. Simplified geological map of the Goseong-gun area, showing the location of late Miocene (7.4 Ma) alkali basalt.

기 때문에, 포획입들의 광물 조합에 대한 지결온도계와 지결압력계의 사용으로 포획된 당시의 온도-복합을 규명하여 상부 맨틀의 성분을 파악하거나 분출이 일어난 지역의 지은 진화에 대한 정보를 얻을 수 있다(Boyd, 1973).

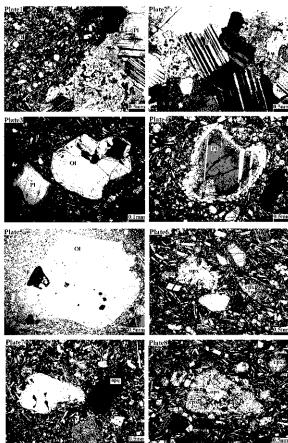
지금까지 발표된 강원도 고성군 일대의 현무암에 대한 연구로는 남한의 알칼리 현무암에 분포하는 맨틀포획입의 암석화학적 연구(이현영, 1995)와 한반도 중부의 신생대 알칼리 화산암체에 대한 암석학 및 암석성인적 연구(박준범과 박계현, 1996)에서 부분적으로 연구된 바 있다. 즉, 이현영(1995)은 현무암에 들어있는 맨틀 포획입이 갈라믹·사방회석·단사회석·스피넬의 구성광물로 된 스피넬-리졸라이트이며, 휘석·지결온도계(Wood and Banno, 1973; Wells, 1977; Mercier, 1980; Sachtleben and Seck, 1981; Bertrand and Mercier, 1985; Brey and Köhler, 1990)와 Wo-고용체 및 Al-용해도를 이용한 지결압력계(Mercier, 1980; Lane and Ganguly, 1980)를 이용하여 맨틀 포획입의 평형 온도 및 압력을 구해 본 결과 남한의 상부맨틀 지은구배가 Mercier(1980)가 분류한 맨틀지은구배 중 퇴상지은구배에 속한다고 발표하였다. 박

준범과 박계현(1996)은 고성 지역의 현무암이 다른 지역(백령도, 전곡·철원지역 등)의 신생대 현무암에 비하여 높은 CaO값을 나타내는 특징을 보이며,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 이 0.70355-0.70365와 0.70430-0.70478의 2개의 화산암 그룹으로 구성되며, 현쪽이 상대적으로 결빙된 특징으로 보아 서로 다른 모암으로부터 분화하였거나 마그마 성인과 관련된 맨틀에서의 과정이 단순하지 않았음을 시사한다고 하였다.

본 연구에서는 강원도 고성군 일대에서 산출되는 제3기 마이오세 현무암에 대한 암석학적 연구를 수행하여 암상 구분과 산출 상태를 파악하고,련강원비경 현에서의 박편 관찰과 주요 구성광물에 대한 화학성분 분석, 현무암의 전암 조성분·미량성분·희토류 원소의 조성 연구를 통하여 기원 마그마의 성인과 지체구조적 위치를 규명하고자 한다.

## 일반지질

강원도 고성군 동부 일대에서 프리그 동행을 이루는 제3기 알칼리 현무암은 간성면의 고성산(298.5 m), 죽왕면의 오음산(290 m), 뒤재(225 m), 갈마봉(105



**Plate 1.** Photomicrograph of contact part between host basalt and gabbroic xenolith. Clinopyroxene and plagioclase of gabbroic xenolith are partly corroded and show sieve textures. [Crossed nicols]

**Plate 2.** Photomicrograph of gabbroic xenolith. [Crossed nicols]

**Plate 3.** Photomicrograph of microphenocryst of olivine and plagioclase in the groundmass of host basalt. [Crossed nicols]

**Plate 4.** Photomicrograph of plagioclase phenocryst showing corroded margin. [Crossed nicols]

**Plate 5.** Photomicrograph of euhedral olivine phenocryst containing spinel crystals. [Open nicols]

**Plate 6.** Photomicrograph of orthopyroxene and clinopyroxene phenocryst in the basaltic groundmass. [Crossed nicols]

**Plate 7.** Photomicrograph of phenocrysts of clinopyroxene and opaque mineral in the basaltic groundmass. [Crossed nicols]

**Plate 8.** Photomicrograph of phenocrysts, showing the reaction rim of clinopyroxene around the orthopyroxene phenocryst. [Crossed nicols]

Abbreviations: Pl - plagioclase, Ol - olivine, cpx - clinopyroxene, opx - orthopyroxene, Sp - spinel, and opq - opaque mineral.

m), 166고지(166 m), 240고지(240 m), 그리고 토성면의 운봉산(286m)으로 이들 산봉우리의 약 7부 능선 이상에서 화도를 충진한 타원형태로 분포하고 있다 (Fig. 1).

이 지역에서 기반을 이루는 흑운모화강암은 속초·고성지역에 걸쳐 넓게 분포하는 저반상의 단일 암체로서 연구지역의 전역에서 중립질~조립질로 유사한 광물 조성을 가지고 있다. 그리고 풍화작용을 받아 저지대를 이루며, 풍화를 심하게 받은 흑운모화강암체의 일부는 세프틀라이트화 되어 나타난다. 주 구성 광물은 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 그리고 소량의 백운모와 불투명광물로 구성된다. 본 흑운모화강암에 대한 Rb/Sr전암연대는 164 Ma, K/Ar전암연대가 170 Ma(한국자원연구소, 1995)로 주라기 대보화강암류에 해당한다.

흑운모화강암을 관입·분출하여 돛형을 이루고 있는 알칼리현무암에서는 주상절리가 특징적으로 잘 나타난다. 알칼리현무암이 분포하고 있는 지역 가운데 죽왕면 갈미봉과 166 m 고지 등의 산 정상부에서는 육각~오각형의 주상절리가 깨어진 채로 나타나며, 토성면 운봉산은 직경이 30~40 cm 정도되는 단면을 가지는 육각의 주상절리가 약 1 m 정도로 깨어져 거의

정상에서 산의 밑 부분까지 여러 갈래로 분포하여 테일러스를 형성하고 있다. 그리고 뒤편에, 오음산, 240 고지와 고성산의 정상부는 다른 곳에 비해 주상절리의 발달이 미약하며 현무암의 암상이 연필심 다발을 박아 놓은 것처럼 구형상으로 분포하고 있는 특징을 가진다.

운봉산 알칼리현무암에 대한 K/Ar전암연대가 7.4 ± 0.4 Ma(이동영, 1996)로 알려져 본 역에서 후기 마이오세 톨토니안절(Tortonian age)에 소규모로 현무암질 화산활동이 있었음을 지시한다.

### 알칼리현무암의 암석기재

알칼리현무암(이하 본암)은 기반암인 흑운모화강암과는 뚜렷한 경계를 보이는 데, 육안으로 관찰해 보면 대부분 신선하고 흑색 내지 암청회색을 띠고 있으며 절 표면이 거칠고, 단단한 치밀한 조직을 하고 있다. 그리고 본 암에는 단사휘석·반상조직이 우세하며, 약 5~10 cm 정도 되는 거정의 단사휘석을 매우 많이 포함하고 있으며, 감람석, 사장석의 반정과 하부 지각 기원의 반려암과 기반암인 화강암 등의 다양한 크기와 종류의 포획체를 가지고 있다.

Table 1. Representative microprobe analyses of plagioclases from the late Miocene basaltic rocks

Sample	G1-1				G2-1		G2-2		G2-6		
	P	G	GB-C	GB-M	G	MG	G	GB	P	G	GB
	○	+	□	◇	+	▷	+	□	○	+	□
SiO <sub>2</sub>	52.20	51.63	55.44	51.89	51.31	54.72	49.41	56.83	52.58	54.46	56.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.92	30.16	28.16	29.79	30.48	28.54	31.42	27.03	29.61	28.19	26.72
FeO <sup>T</sup>	0.50	0.60	0.32	0.55	0.51	0.25	0.88	0.26	0.31	0.46	0.28
CaO	13.26	13.50	10.75	13.37	13.41	10.92	15.20	9.35	12.39	10.76	8.81
Na <sub>2</sub> O	3.82	3.74	5.02	3.72	3.90	5.06	2.85	5.60	4.26	5.08	5.77
K <sub>2</sub> O	0.37	0.30	0.77	0.38	0.23	0.52	0.16	0.82	0.48	0.73	1.12
Total	100.07	99.93	100.46	99.70	99.84	100.01	99.92	99.89	99.63	99.68	99.19
8(O)											
Si	2.38	2.36	2.50	2.37	2.34	2.47	2.27	2.56	2.40	2.48	2.57
Al	1.60	1.62	1.49	1.60	1.64	1.52	1.70	1.43	1.59	1.51	1.43
Fe	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01
Ca	0.64	0.66	0.52	0.66	0.66	0.53	0.75	0.45	0.61	0.53	0.43
Na	0.34	0.33	0.44	0.33	0.35	0.44	0.26	0.49	0.38	0.45	0.51
K	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	0.04	0.07
Or	2.10	1.70	4.40	2.20	1.30	3.00	0.90	4.80	2.80	4.20	6.50
Ab	33.50	32.80	43.80	32.70	34.00	44.20	25.10	49.50	37.30	44.20	50.70
An	64.30	65.50	51.80	65.00	64.60	52.80	74.00	45.70	59.90	51.70	42.80

FeO<sup>T</sup> as total Fe.

Abbreviations: P=phenocryst, G=groundmass, GB=gabbroic xenolith (C: core, M: margin), and MG=megacryst (or xenocryst)

운봉산의 현무암의 특징을 보면 현무암의 규모가 연구지역에서 가장 큰 지역이며 산정부에 주상절리가 발달해 있고, 산 정상부에서 골짜기를 따라서 테일러스를 형성하고 있다. 테일러스를 이루고 있는 주상절리를 나타내는 암괴의 직경은 약 60~70 cm 정도(최대 1 m)의 길이로 나타나며 6~10 cm 내외의 휘석 거정을 포함하고 있다. 기반암 위에 현무암은 풍화를 받아 일부가 잘게 분해되어 자갈처럼 깔려있으며 현무암 내의 거정과 반정으로 산출되던 휘석들은 둥근 알갱이로 산출되어지고 있다. 본 연구에서는 이 휘석 결정 알갱이를 피킹(picking)하여 주성분 및 미량성분을 분석하였다. 뒤배재에서 산출되는 현무암의 특징을 살펴보면 산 정상부의 현무암은 다른 곳에 비해 주상절리가 잘 나타나 있고 구형상으로 분포하고 있으며 산 밑 부분에서 절리 조각들이 군데군데에서 관찰된다. 기질은 은미정질 조직을 보이며 사장석, 감람석, 휘석, 불투명광물 등을 반정으로 가지고 있

다. 이 광물들의 특징도 운봉산 현무암에서 관찰되는 것들과 비슷하며, 멜트와 반응하여 조금 더 심한 응석을 보인다. 고성산의 현무암은 매우 짙은 회색을 띠고 있으며 다른 지역에 비해 노두로 보여지는 부분이 적고, 층적층에 가려져 있어 산 정상부에서는 거의 찾아 볼 수 없다. 이 지역의 현무암에서는 다른 곳에 비해 기반암인 흑운모화강암과 하부 지각 기원의 반려암(Plate 1과 2)이 포획체로 뚜렷이 관찰되어지며, 감람석과 사장석으로 이루어진 맨틀 포획체와 레졸라이트 포획체도 관찰된다. 반정으로는 감람석, 휘석, 사장석, 불투명 광물이 관찰되며 그 특징들도 역시 위에서 설명한 것과 같다.

본 현무암은 현미경 하에서 관찰해 보면 전체적으로 감람석, 사장석, 휘석, 불투명 광물 등의 반정들과 유리질 물질을 포함하며 반정을 이루는 광물들로 이루어진 석기 부분(Plate 3)으로 나누어 볼 수 있다. 사장석은 반정과 단축상(lath)의 석기, 외래 결정편,

Table 2. Representative microprobe analyses of olivines from the late Miocene basaltic rocks

Sample	Mantle xenolith or xenocryst			Phenocryst	Groundmass	
	▷	▷	▷	○	+	+
SiO <sub>2</sub>	40.77	41.37	41.09	38.70	36.57	36.35
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.06	0.03	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.01
FeO <sup>T</sup>	9.57	9.45	9.67	14.88	25.19	27.37
MnO	0.14	0.15	0.13	0.20	0.45	0.68
MgO	49.86	48.74	49.00	45.31	36.73	34.52
NiO	0.53	0.34	0.34	0.17	0.13	0.11
CaO	0.08	0.00	0.02	0.30	0.41	0.40
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
Total	100.97	100.06	100.25	99.65	99.57	99.54
4(O)						
Si	0.991	1.011	1.004	0.978	0.975	0.980
Al	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001
Cr	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Fe <sup>2+</sup>	0.195	0.193	0.198	0.314	0.561	0.617
Mn	0.003	0.003	0.003	0.004	0.010	0.015
Mg	1.807	1.775	1.785	1.708	1.460	1.388
Ni	0.010	0.007	0.007	0.003	0.003	0.002
Ca	0.002	0.000	0.001	0.008	0.012	0.011
Na	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Fa	10	10	10	16	28	31
Fo	90	90	90	84	72	69
Mg <sup>#</sup>	0.903	0.902	0.900	0.845	0.722	0.692

FeO<sup>T</sup> as total Fe and Mg<sup>#</sup> = Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>).

단사휘석과 공존하여 산출된다. 사장석의 반정이나 외래 결정의 외연부는 멜트와 반응하여 용식된 체구조가 관찰되며 (Plate 4), 엘바이트 쌍정 또는 엘바이트-칼스반드 복합쌍정을 나타낸다. 감람석은 맨틀 포획체의 구성 광물 또는 독립된 결정으로 반정으로 자형 또는 반자형의 형태를 보이며 일부는 멜트와 반응하여 용식된 체구조가 관찰되어지며, 매우 심하게 산화되어 이딩사이트로 변질되어서도 나타나기도 한다. 부분적으로 스피넬의 미립을 함유하고 있는 결정도 관찰된다 (Plate 5). 휘석은 사방휘석과 단사휘석이 모두 관찰되며 (Plate 6) 반정과 미반정 광물로서 산출된다. 특히 단사휘석은 매우 큰 거정으로 산출되어지거나 반정 또는 석기를 이루고 있는 광물로도

나타난다 (Plate 7). 형태는 자형·타형·반자형·용식형 등으로 다양하며, 단주상의 반정과 미반정이 우세하나, 긴 주상의 형태도 간혹 관찰된다. 사방휘석은 많은 박편에서 반정과 미반정 광물로서 산출되고 있다. 대부분의 반정과 미반정의 외곽부를 현미경으로 자세히 관찰하면 멜트와 반응에 의해 다소 용융된 조직을 나타낸다. 사방휘석에는 결정이 멜트와의 반응에 의해 용융된 불규칙한 외곽부 주위를 단사휘석이 성장하여 둘러싸고 있는 경우도 관찰된다 (Plate 6과 8). 반정 또는 석기로 나타나는 불투명 광물로서 티탄자철석이 산출된다 (Plate 7). 석기는 단책상의 사장석과 감람석, 휘석, 불투명광물 및 유리질 물질이 입간상조직 또는 인터서탈조직을 나타낸다.

Table 3. Representative microprobe analyses of pyroxenes from the late Miocene basaltic rocks

Sample	OPX								CPX							
	MX-1	MX-2	MX-3	MX-4	MX-5	MX-6	MX-7	MX-8	MG-1	MG-2	P-1	P-2	G	XP-1	XP-2	
	△	△	△	△	▽	▽	▽	▽	▷	▷	○	○	+	◁	◁	
SiO <sub>2</sub>	56.23	55.85	55.91	55.99	52.76	52.65	52.36	52.86	48.36	47.39	48.31	46.65	48.71	49.60	52.33	
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.09	0.12	0.08	0.47	0.48	0.45	0.49	1.62	1.67	1.39	2.39	2.18	0.54	0.14	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.02	4.02	4.07	4.03	5.51	5.93	5.75	5.24	6.27	9.37	7.39	9.71	4.34	3.48	2.02	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	0.30	0.24	0.28	0.63	0.68	0.71	0.53	0.15	0.02	0.04	0.00	0.31	0.02	0.01	
FeO <sup>T</sup>	4.56	4.56	4.58	4.38	1.95	2.07	0.95	1.82	6.00	5.35	5.96	6.33	5.82	10.00	4.03	
MnO	0.14	0.14	0.18	0.14	0.10	0.07	0.09	0.10	0.18	0.13	0.18	0.21	0.12	0.35	0.13	
MgO	32.70	33.27	33.24	33.16	15.21	15.17	15.17	15.21	13.82	13.54	12.89	11.26	13.56	12.43	15.42	
NiO	0.13	0.04	0.08	0.08	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.00	0.07	0.03	0.01	
CaO	0.50	0.55	0.54	0.49	21.53	21.34	21.48	21.60	20.77	19.96	20.71	20.33	22.41	19.69	22.92	
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.07	0.06	0.07	1.28	1.42	1.36	1.35	0.66	0.77	0.86	0.95	0.49	0.65	0.40	
Total	100.86	101.07	101.21	100.79	100.40	100.82	99.28	100.10	99.54	99.72	99.44	99.59	99.47	99.57	99.32	
6(O)																
Tsi	1.93	1.91	1.91	1.92	1.91	1.89	1.91	1.91	1.80	1.75	1.80	1.74	1.82	1.88	1.94	
TAI	0.07	0.09	0.09	0.08	0.10	0.11	0.09	0.09	0.20	0.25	0.20	0.26	0.18	0.12	0.06	
M1Al	0.10	0.08	0.08	0.09	0.14	0.14	0.15	0.14	0.07	0.15	0.12	0.17	0.01	0.03	0.03	
M1Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.07	0.06	0.02	0.00	
M1Fe <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.06	0.07	0.02	0.08	0.11	0.06	
M1Fe <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.06	0.12	0.09	0.14	0.06	
M1Cr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
M1Mg	0.89	0.91	0.91	0.90	0.82	0.81	0.81	0.82	0.77	0.74	0.71	0.63	0.76	0.70	0.85	
M <sub>2</sub> Mg	0.79	0.79	0.79	0.79	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	0.19	0.18	0.19	0.18	0.07	0.07	0.05	0.07	0.12	0.15	0.11	0.11	0.06	0.14	0.06	
M <sub>2</sub> Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	
M <sub>2</sub> Ca	0.02	0.02	0.02	0.02	0.83	0.82	0.84	0.84	0.83	0.79	0.83	0.81	0.90	0.80	0.91	
M <sub>2</sub> Na	0.00	0.01	0.00	0.01	0.09	0.10	0.10	0.10	0.05	0.06	0.06	0.07	0.04	0.05	0.03	
Wo	0.98	1.06	1.04	0.95	47.90	47.63	48.77	48.14	45.16	45.24	46.43	48.02	47.63	41.88	46.81	
En	88.88	88.95	88.88	89.37	47.09	47.11	47.92	47.16	41.81	42.70	40.21	37.01	40.10	36.78	43.82	
Fs	10.14	9.99	10.08	9.68	5.01	5.26	3.31	4.70	13.04	12.07	13.36	14.98	12.28	21.34	9.38	

Abbreviations: MX = mantle xenolith, MG = megacryst, XP = xenocryst, P = phenocryst, and G = groundmass.

## 구성광물의 화학성분

본 암을 구성하는 주요 구성광물에 대하여 한국기초과학연구원기원대전분석소의 CAMECA SX-50 전자현미분석기를 이용하여 분석하였다. 시료는 현무암에 반경과 직기로 나타나는 주요 광물인 칼칼석, 휘석(단사휘석과 사방휘석), 사장석이고, 분할 지점을 정밀하게 선택하여 약 200여점의 분석치를 구하였다. 분석 조건은 조사전류 20 nA, 가속전압 15 Kev, 필적경 1  $\mu\text{m}$ , 측정시간은 10초이다. 전자현미분석에서  $\text{FeO}$ 와  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함량을 따로 구할 수 없으므로, 철의 총량을  $\text{FeO}$ 로 가정하였다. 분석 결과는 이현영(1995), 박준범과 박재현(1996)의 자료와 함께 고찰하였다. 특히 거정으로 산출되는 휘석에 대하여 X-선형광분광분석장치를 이용하여 주성분율, 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하여 미량성분 및 희토류원소를 분석하였다.

사장석, 칼칼석, 휘석의 EPMA 분석자료는 Table 1, 2와 3에 각각 나타내었으며, 사장석은 Or-Ab-An 단성분 분류도(Deer et al., 1992)에, 칼칼석은  $\text{Mg}_2\text{SiO}_5$ - $\text{Fe}_2\text{SiO}_5$  성분도(Deer et al., 1992)에, 휘석류는 Wo-En-Fs 단성분 분류도(Morimoto, 1988)에 도시해 보았다.

사장석은 반경, 석기내의 단핵상(lath), 반라암 포회체내의 것과 외래결정편 등으로 구분하여 그 성분을 나타내 보면, G1-1과 G2-1시료에서 반경으로 산출되는 것은  $\text{An}_{34}$ , 석기 부분은  $\text{An}_{46-48}$ 로 거의 유사한 조성 범위를 나타내며, 반라암 포회체내의 사장석 성분은 중심부가  $\text{An}_{18}$ , 외연부가  $\text{An}_{62}$ 으로 역누대구조를 나타낸다. 사장석 외래 결정편의 조성은  $\text{An}_{34}$ 로 반라암 포회체에 함유된 사장석의 중심부 성분과 유사하므로 하부지각의 반라암질암에서 유래된 것으로 해석된다. G2-2 시료에서 석기를 이루는 사장석은  $\text{An}_{46}$ 으로 가장 높은 값을 나타내며, G2-6시료의 반경과 석기를 이루는 사장석은 각각  $\text{An}_{34}$ ,  $\text{An}_{37}$ 이다. G2-2와 G2-6에서 반라암 포회체내의 사장석 성분은  $\text{An}_{23-43}$ 로서 현무암의 석기 부분에 비하여 낮은 값을 나타내는 특징을 보인다. 현무암의 반경의 성분은  $\text{An}_{39-44}$ , 석기는  $\text{An}_{17-24}$ 로 Or-Ab-An 단성분 분류도에 도시해 보면 비르나이트-라브라도라이트 영역이며, 반라암 포회체내 사장석 성분은 라브라도라이트-안테사이트에 해당된다(Fig. 2).

칼칼석은 맨틀 포회암의 구성 광물이거나 외래결정편, 반경 및 석기로 구분되어지며,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_5$ - $\text{Fe}_2\text{SiO}_5$ ,

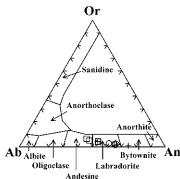


Fig. 2. Ab-Or-An diagram showing plagioclase compositions of the basaltic rocks and gabbroic xenoliths. Symbols are the same as in Table 1.

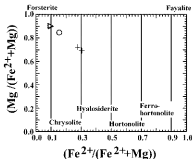


Fig. 3.  $\text{Fo}/(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}))$  versus  $\text{Fa}/(\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}))$  in olivine from the basaltic rocks and mantle xenoliths(Deer et al., 1992). Symbols are the same as in Table 2.

성분도에서 맨틀 포회암을 구성하는 것은 포르스터아이트( $\text{Fo}_{90}$ )에, 현무암내의 반경은  $\text{Fo}_{88}$ , 기질부의 미세 결정은  $\text{Fo}_{72-68}$ 로 크리슬라이트 영역에 도시되어진다(Fig. 3).

휘석도 맨틀 포회암의 일부이거나, 외래결정편, 거반경, 반경 및 석기로 구분된다. Wo-En-Fs 단성분 분류도에서 휘석의 성분 조성의 범위를 살펴보면(Fig. 4), 크게 엔스타라이트 영역으로 사방휘석에 해당하는 것과 투휘석 영역의 단사휘석에 해당하는 것의 두 종류의 휘석이 모두 산출된다. 맨틀 포회체중

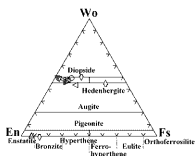


Fig. 4. Pyroxene compositions of the basaltic rocks and mantle xenoliths. Symbols are the same as in Table 3.

구성하는 휘석은 사장휘석( $Wo_0En_{100}Fs_0$ )과 단사휘석(대부분이 무휘석)이다. 특히 단사휘석은 직경이 약 10 cm의 거점에서 다양한 크기의 반정과 미반정 형

은 석기로 구분되지만 그 성분은 거의 일정한 무휘석( $Wo_{42-48}En_{57-63}Fs_{2-15}$ )이다. 이는 거점의 단사휘석이 이룰 수반하는 현무암과 불완전마르부르프 조기에 정출된 집적암에서 유래하는 것을 지시한다. 그렇게 용석형용 보이는 반정 결정이 보물회석 성분을 나타내는데 이는 빈리암 포획체의 일부로 해석되는 휘석 외래결정으로 해석된다. 때를 포획체의 단사휘석은 휘석거점과 반정에 비하여  $Fe_2$  낮은 순수한 무휘석의 조성을 나타낸다.

## 암석화학

### 주성분 원소

현무암의 주성분 원소 분석 결과와 CIPW 노후 계산값은 Table 4와 같다. 본 연구에서 분석한 16개 암석시료 분석치를 박종범과 박계현(1996)의 자료와 함께 현무암의 암석화학적 특징을 고찰하였다. 야외에서 채취한 신선한 시료에 대하여 각 암석 시료량 당

Table 4. Major element abundances (wt.%) and CIPW norm of the late Miocene basaltic rocks in the Cansong-gun area

Sample	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12	K-13	K-14	K-15	K-16
SiO <sub>2</sub>	45.27	46.61	46.40	46.11	47.97	44.43	46.76	47.62	45.19	48.18	47.33	47.45	46.14	46.24	46.43	46.80
TiO <sub>2</sub>	2.29	2.28	2.09	2.12	1.97	2.34	1.79	1.82	2.30	1.87	1.71	1.80	1.78	1.81	1.60	1.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.22	14.57	15.38	15.53	14.99	14.21	14.76	15.57	14.22	15.97	15.47	16.13	14.57	14.80	14.51	15.37
FeO <sup>1</sup>	11.44	11.12	10.35	10.57	10.48	11.32	10.44	10.37	11.22	10.35	9.73	10.25	10.36	10.30	9.55	10.41
MnO	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.14	0.17
MgO	11.61	9.74	8.97	9.40	8.60	11.13	9.21	7.11	11.32	7.05	6.78	7.00	8.95	8.75	8.66	9.41
CaO	10.34	10.66	10.26	10.12	9.70	10.55	10.11	9.31	10.24	8.48	9.70	9.29	11.05	10.98	10.58	10.73
Na <sub>2</sub> O	2.44	2.95	2.56	2.75	2.75	2.30	2.26	2.39	2.32	2.92	2.74	3.29	2.57	2.58	2.22	2.54
K <sub>2</sub> O	1.27	0.67	1.59	1.69	1.85	1.03	1.73	2.09	1.42	2.36	2.14	2.23	1.35	1.39	2.04	1.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.33	0.38	0.40	0.43	0.31	0.43	0.55	0.33	0.59	0.58	0.62	0.37	0.38	0.40	0.42
LOI	0.41	0.79	1.21	0.71	0.91	1.96	1.28	2.16	0.60	0.97	2.22	1.10	0.94	0.83	1.80	1.35
Total	99.77	100.04	99.32	99.55	99.62	99.73	98.93	98.97	99.31	98.91	98.54	99.33	98.23	98.22	97.92	100.70
CIPWnorm																
Or	7.51	3.96	9.40	9.99	10.93	6.09	10.22	12.35	8.39	13.95	13.25	13.53	8.28	8.51	12.47	10.69
Ab	11.66	19.37	16.03	13.66	19.50	12.20	17.12	20.22	11.71	22.61	22.26	21.48	16.97	17.37	16.44	14.79
An	24.10	25.03	25.78	25.04	23.10	25.41	25.02	25.59	24.19	23.50	24.64	23.19	25.08	25.53	24.80	25.62
Di	4.87	3.03	3.05	5.21	2.04	3.93	1.09		4.29	1.14	1.07	3.81	3.01	2.83	1.76	3.79
Ne	20.25	20.87	18.39	18.31	18.11	20.16	18.15	13.93	19.78	12.06	17.96	16.35	23.76	23.02	22.36	20.86
Hy								3.30								
Ol	23.89	19.98	18.83	19.86	18.89	22.87	19.86	15.07	23.29	17.99	13.15	12.17	15.45	15.23	15.16	16.96
Mt	1.97	1.91	1.78	1.83	1.62	1.96	1.80	1.78	1.93	1.78	2.96	4.58	3.11	3.09	2.90	3.06
Il	4.35	4.33	3.97	4.03	3.40	4.44	3.40	3.46	4.37	3.55	3.40	3.51	3.51	3.56	3.19	3.30
Ap	0.76	0.76	0.88	0.93	1.00	0.72	1.00	1.27	0.76	1.37	1.33	1.39	0.84	0.86	0.92	0.93
Mg <sup>2</sup>	0.50	0.47	0.46	0.47	0.45	0.50	0.47	0.41	0.50	0.41	0.41	0.41	0.46	0.46	0.48	0.47
A.L.	9.61	5.90	7.18	8.40	5.44	13.70	6.24	5.70	10.05	6.00	6.63	7.30	7.34	7.21	7.25	6.69

FeO<sup>1</sup> is recalculated as FeO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for CIPW norm.

FeO<sub>2</sub>/FeO ratios for CIPW norms calculation recommended by Middelmost (1989).

Mg<sup>2</sup> = Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) and A.L. = (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)/(SiO<sub>2</sub> - 43) × 0.17.



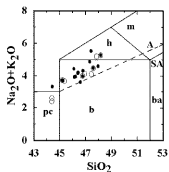


Fig. 5. Total alkali vs.  $\text{SiO}_2$  (wt.%) plot of the late Miocene basaltic rocks in the Gosong-gun area. The dividing line between alkali (A) and sub-alkali (SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971). Abbreviations: pc = picro-basalt, b = basalt, ba = basaltic andesite, h = hawaiite, and m = mugearite. [□ = basaltic rocks from Park and Park (1996) and ● = basaltic rocks of this study area]

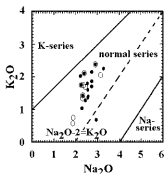


Fig. 6.  $\text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{Na}_2\text{O}$  (wt.%) plot (Middlemost, 1972) of the late Miocene basaltic rocks in the Gosong-gun area. Symbols are the same as in Fig. 5.

치로 신성한 부분만을 작은 조각(0.5-1 cm 크기)으로 만들어 종류수로 3회 정도 행구어 깨끗이 한 후, 약

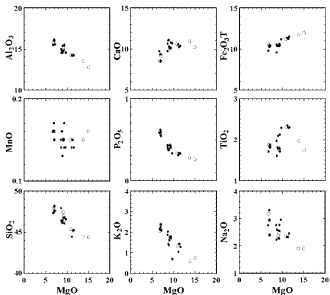


Fig. 7. Harker variation diagram of major oxide (wt.%) vs.  $\text{MgO}$  (wt.%) of the late Miocene basaltic rocks in the Gosong-gun area. Symbols are the same as in Fig. 5.

Table 5. Trace element abundances (ppm) of the late Miocene basaltic rocks

Sample	K-11	K-11-1	K-12	K-13	K-14	K-14-1	K-15	K-16	PY 1 <sup>#</sup>
Ba	596	213	661	371	391	368	440	422	9
Sr	658	464	706	506	542	535	530	543	107
Cr	242	671	105	341	338	459	351	109	7
Ga	3.0	0.8	8.8	2.8	3.2	2.7	3.1	7.6	4.0
Li	5.8	4.1	5.6	5.4	5.2	5.1	5.3	4.5	1.4
P	2677	1172	3414	1680	1683	1536	1729	2166	10
S			66					438	762
Sc	16	30	18	28	28	29	26	24	50
V	182	210	137	224	225	242	203	162	316
Zn	69	74	44	78	78	78	74	44	13
Co	72	120	70	74	70	85	87	74	81
Ni	115	493	110	132	135	209	183	171	40
Cu	56	125	61	61	65	91	66	70	28
Rb	37.1	11.4	44.5	20.4	20.8	18.3	33.5	30.8	1.0
Y	19.2	19.0	22.1	19.1	19.5	19.7	20.5	20.4	27.3
Zr	206.1	72.7	176.0	121.3	71.0	79.4	136.1	143.0	75.7
Nb	65.9	12.6	60.4	18.5	16.7	18.4	23.8	37.7	3.0
Mo	2.5	0.7	3.2	1.9	1.9	1.8	1.6	1.7	0.4
Cd	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2
Sn	1.3	0.6	1.6	0.8	0.5	0.7	0.5	1.2	1.3
Sb	0.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0		
Cs	0.3	0.0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0
Hf	4.8	1.7	5.3	3.1	1.6	1.9	2.9	4.1	4.0
Ta	6.3	0.9	5.4	1.6	1.3	1.5	1.6	3.3	0.7
Pb	3.4	1.2	4.8	2.3	2.4	2.3	2.7	3.6	0.5
Th	4.9	1.1	7.3	2.4	2.4	2.3	3.5	4.8	0.4
U	1.4	0.3	1.8	0.7	0.7	0.6	1.0	1.3	0.2

MORB values used in normalizing trace elements are from Sun (1982).

PY 1<sup>#</sup> = clinopyroxene (megacryst) from basaltic rocks.

105°C의 오븐으로 건조시켜 불밀을 이용하여 분말시료를 만들었다. 이 분말시료의 주성분 원소의 분석은 한국기초과학지원연구원 대전본소에서 X-선형광분광분석장치(XRF: Phillips PW1480)를 이용하여 수행되었다. 주성분 원소의 분석은 전류 30mA, 전압 40kV하에서 X-선을 시료에 조사한 후, 시료로부터 방출되는 원소의 특성에너지에 갖는 형광 X-선을 측정하여 형광 X-선의 방출강도를 표준시료의 것과 비교하여 화학성분의 함량으로 다시 표시하여 산화물 %를 산출하는 것이다. 이 기기분석에서 철은 모두 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 분석되기 때문에, 노움 계산을 위하여 2가 철과 3가 철의 분리는 Middlemost(1989)의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO ratio에 근거하여 분석값으로부터 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 FeO를 계산하였다.

#### (1) 분류와 명명

본 역 현무암의 분류와 명명은 TAS(Total alkali-

silica) 분류도(Le Bas et al., 1986)에 적용하였다. 현무암류는 화학성분을 기준으로 한 알칼리-서브알칼리 계열의 구분선(Irvine and Baragar, 1971)에 근거하면 모두 알칼리 계열로 분류되며, 대부분이 알칼리현무암의 성분 영역에 도시되고 일부 하와이아이트(조면현무암)과 피크로현무암(picro-basalt) 영역에 도시된다(Fig. 5). 노움 구성광물도 네페린-투회석-감람석을 가지는 알칼리암의 특성을 나타낸다(Table 4). 일반적으로 알칼리화산암류는 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O의 비에 따라 크게 Na-계열과 K-계열로 구분되는 데(Middlemost, 1972), 본역의 현무암류는 대부분이 정상계열에 도시된다(Fig. 6). 또 Le Bas et al.(1986)은 (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)가 5 wt.%이상일 경우(조면현무암 영역), (Na<sub>2</sub>O-2) < K<sub>2</sub>O이면 'sodic'으로 간주하고 '하와이아이트'로 명명할 것을 추천하였다. 본 역에서 (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)가 5 wt.% 이상인 것은 모두 하와이아이트로 명명될 수 있다.

Table 6. Rare earth element abundances (ppm) of the late Miocene basaltic rocks

Sample	K-11	K-11-1	K-12	K-13	K-14	K-14-1	K-15	K-16	PY 1 <sup>#</sup>
La	31.20	11.20	44.40	20.90	20.60	18.40	29.60	23.40	7.77
Ce	57.80	23.80	81.00	41.50	41.30	37.80	55.90	44.40	22.40
Pr	6.70	3.20	9.44	5.40	5.30	4.90	6.89	5.50	4.13
Nd	25.70	14.30	34.70	21.80	21.70	20.40	26.50	22.10	20.60
Sm	4.95	3.48	6.89	4.74	4.72	4.54	5.60	4.61	6.37
Eu	1.60	1.28	2.31	1.56	1.55	1.52	2.03	1.53	2.29
Gd	4.78	3.99	6.68	4.82	4.82	4.68	5.87	4.62	7.68
Tb	0.65	0.60	0.98	0.69	0.70	0.68	0.89	0.66	1.24
Dy	3.83	3.75	5.50	4.11	4.19	4.14	4.98	3.97	7.01
Ho	0.73	0.74	1.04	0.79	0.79	0.78	0.96	0.74	1.39
Er	2.13	2.06	2.97	2.28	2.30	2.20	2.80	2.21	3.68
Tm	0.30	0.28	0.44	0.32	0.32	0.32	0.39	0.30	0.51
Yb	1.97	1.84	2.62	1.99	2.01	1.94	2.53	1.85	3.16
Lu	0.28	0.27	0.41	0.30	0.29	0.28	0.37	0.28	0.47
ΣREE	142.62	70.79	199.38	111.20	110.59	102.58	145.31	116.17	88.70
ΣREE+Y	161.82	89.79	221.48	130.30	130.09	122.28	165.81	136.57	116.00
(La/Yb) <sub>N</sub>	10.70	4.11	11.45	7.10	6.93	6.41	7.91	8.55	1.66

Chondrite values used in normalizing are from Nakamura (1974).

PY 1<sup>#</sup> = clinopyroxene (megacryst) from basaltic rocks.

## (2) 성분 변화

본 역 현무암의 암석 조성의 분화 경향을 알아보기 위하여 분화지수로서 MgO 성분을 이용하여 주성분 원소의 변화 특징을 살펴보았다(Fig. 7).

분화가 진행됨에 따라, 즉 MgO의 함량이 15.3 wt.%에서 6.8 wt.%로 감소함에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O는 증가하는 경향이고, CaO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>은 감소하는 경향을 나타낸다. TiO<sub>2</sub>는 증가하다가 약간 감소하는 경향을, MnO는 감소하다 약간 증가하는 경향을 보인다. 초기 TiO<sub>2</sub>의 증가는 티탄철석과 같은 Fe-Ti 광물이 정출하지 않았으나 MgO 11 wt.% 이하에서의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 점진적 감소와 함께 티탄철석의 정출에 기인하여 감소하는 것으로 해석된다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 감소는 감람석과 휘석의 정출이 분화의 주된 요인이었음을 의미하며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 점진적으로 증가하는 것은 사장석이 본 현무암의 주요 정출광물이 아니었음을 나타낸다. CaO가 거의 일정한 값을 가지거나 서서히 감소하다가 MgO 약 9wt.% 부근에서 급한 감소를 보이는 것은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Na<sub>2</sub>O의 증가와 더불어 단사휘석의 정출에 의해 영향을 받았음을 의미한다. Na<sub>2</sub>O와 K<sub>2</sub>O는 MgO가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보이는데, 이는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 증가하는 성분 변화와 더불어 사장석이 주요 정출광물이 아니었음을 지시한다. 또, SiO<sub>2</sub> 변화의 범위가 비교적 좁은(44.4 →

48.5 wt.%) 것에 비하여 MgO 성분의 변화가 큰(15.3 → 6.8 wt.%) 것은 감람석과 단사휘석의 정출이 분화 작용에 주된 영향을 미쳤음을 나타낸다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O가 증가하는 경향을 보이는 것은 이들 원소가 일반적으로 현무암에서 정출되는 감람석, 단사휘석, 사장석 및 Fe-Ti 산화광물과는 무관한 불호정성 원소임을 나타낸다.

## 미량성분 원소

연구지역의 현무암에 대한 미량원소 함량 분석치는 Table 5에 나타내었다.

MgO 성분은 조암광물 중 감람석, 단사휘석과 같은 유색광물의 정출 정도에 따라 민감하게 변화하므로, MgO 변화도는 이들 광물들에 호정성 미량원소의 변화를 잘 나타내준다. 페리도타이트 맨틀-현무암 멜트계에서 Ni, Cr, Co, Sc, V, Cu 등은 호정성 원소이며, 페리도타이트 맨틀에서 부분용융이 발생하여 현무암 멜트가 형성될 때, 이러한 성분들은 잔류 고상 맨틀 중에 부집된다.

그리고 페리도타이트 맨틀-현무암 멜트계에서 희토류 원소를 제외한 Rb, Ba, P, Zr, Hf, Ti, Y, Th, Sr 등은 불호정성을 나타내는 원소이다. 페리도타이트 맨틀이 부분용융될 때 이런 원소들은 대부분 현무암 용융체 중에 부집되는 정도가 서로 다르다. 이들 불

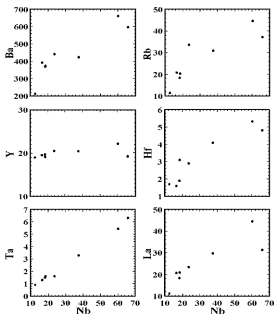


Fig. 8. Variation diagrams of incompatible elements (ppm) against Nb (ppm) of the late Miocene basaltic rocks in the Goseong-gun area.

호정성 원소는 분별정출 과정동안 변화하지 않기 때문에 마그마의 농질성을 시험하는데 유용하다. 그 중 Zr, Y과 같이 풍화나 변질작용에도 크게 영향을 받지 않는 비유동성 원소인 Nb을 마그마의 분화 척도로 사용하기에 적합하다(Pearce and Norry, 1979).

본 역 현무암의 Nb에 대한 불호정성 미량원소에 대한 변화 경향을 보면(Fig. 8), Nb가 10-70 ppm의 범위에서 Ba, Rb, Hf, Ta, La 값이 모두 증가하는 경(+의 상관 경향을 보인다(Fig. 8)). Y는 Nb의 변화에 무관하게 거의 일정한 값을 가진다.

#### 희토류 원소

화성암에서 희토류 원소를 포함한 미량원소의 함량은 맨틀 근원지의 성분과 분출조합 그리고 부분용융 정도와 같이 맨틀에서의 과정뿐만 아니라 지각 내에서의 분별결정작용 등과 같은 과정에 의해서 좌우된다. 본 역 현무암류의 희토류 원소의 함량은 Table 6

과 같다.

콘드라이트 값(Nakamura, 1974)으로 표준화했을 때, 희토류원소의 총량은 90-162 ppm으로 전체적으로 콘드라이트에 비하여 20-100배 이상 부화되어 있다(Fig. 9). 그리고 (La/Yb)비가 11.5-4.1로 경희토류 원소(LREE)가 중희토류 원소(HREE)에 비해 더 부화된 패턴을 가진다. 이는 갑상석, 사장석 등의 분화작용의 결과일 것이다.

그러나 전체적으로 Eu의 부(-)상이 현저하지 않은 것은 본 역 현무암의 진화 과정에 사장석의 분별정출작용이 중요하게 작용하지 않았음을 반영하는 것이다. HREE에 비하여 LREE가 부화되는 것은 전류 고재상으로 석류석을 가지는 맨틀 근원질점이 비교적 적은 정도의 부분용융이 일어날 때의 산물로 알려져 있다.

단사원석 지정에 함유된 희토류원소 함량(ΣREE +Y)은 116 ppm이며, 현무암류에 비하여 경희토류원

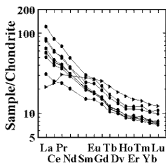


Fig. 9. Chondrite (Nakamura, 1974)-normalized REE pattern of the late Miocene basaltic rocks and clinopyroxene (megacryst) in the Goseong-gun area. [● = basaltic rocks and ▲ = clinopyroxene].

소(La, Ce 등)가 결핍되어 있고, 중희토류원소(Gd-Lu)는 약간 부화되어 있는 양상을 보인다.

## 조구조적 위치 및 암석성인 고찰

### 조구조적 위치

여러 연구자들에 의하여 지구조 환경의 판별에 관한 방법이 제안되어 왔다(Fig. 10). 현무암류의 주성분 원소에 의한 조구조적 위치 판별도인  $TiO_2$ - $MnO$ - $P_2O_5$  성분도(Mullen, 1983)(Fig. 10a)에서 본 역 현무암의 대부분이 해양도알칼리현무암(OIA) 영역에 도시된다. Ti-Zr-Y 함량비에 의한 조구조적 위치 판별도(Pearce and Cann, 1973)(Fig. 10b)에서도 본 역의 현무암류는 D영역 즉, 자판내부원암(WPB) 영역에 도시되며, Hf-Th-Nb 성분비에 의한 현무암과 그 분화산물의 조구조적 위치 판별도(Wood et al., 1979)(Fig. 10c)에서 C영역 즉, 자판 내부알칼리현무암 영역에 도시된다.

이상에서와 같이, 주성분 원소와 미량원소의 조성 특성에 있어서 연구지역의 현무암류는 유라시아대륙 동연부 지반 내부의 조구조적 위치에서 일련에 의해 형성된 것임을 의미하며, 태평양판의 섭입작용에 의한 화산활동과는 무관함을 시사한다.

### 암석성인 고찰

본 역 현무암의 미량원소 조성을 원시값을 값(Sun, 1982)으로 규정한 거미그림에서 고찰해 보면, Ba,

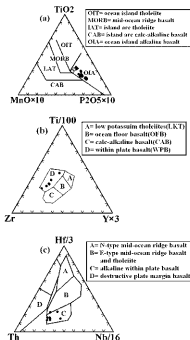


Fig. 10. Tectono-discrimination diagrams of the late Miocene basaltic rocks in the Goseong-gun area. Symbols are the same as in Fig. 5.

Rb, Th와 같은 LIL원소는 부화되어 있는 반면, 석유석에 호칭적인 원소들, 즉 Y로 갈수록 감소하며, 칼륨석과 휘석에 호칭성이 있는 Ni과 Cr은 원시값들 성분에 비하여 조성이 매우 낮다(Fig. 11).

이러한 변화 패턴은 근원지에서 석유석 페러다이트 덴탈이 부분용융하여 형성되었음을 강하게 시사하는 것이다. 그리고 호상열도의 섭입대의 암석에서 특징적으로 나타나는 Nb의 부(-)상이 나타나지 않는 것으로 보아 본 역의 현무암류는 태평양해양관의 섭입과 관련된 화산활동의 산물이 아님을 시사한다.

## 결론

강원도 고성군 일대에서 산출되는 제3기 마이오세

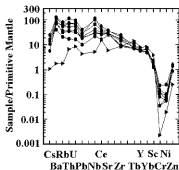


Fig. 11. Primitive mantle (Sun, 1982) normalized spider diagram of the late Miocene basaltic rocks in the Gosongang area. Symbols are the same as in Fig. 9.

현무암에 대한 암상 구분과 산출 상태류 파악, 막린 관찰과 주요 구성광물에 대한 화학성분 분석, 현무암의 전암 조성분·비광성분·희토류 원소의 조성 연구를 통하여 기원 미그마의 성인과 지체구조적 위치를 규명해 본 결과는 다음과 같다.

1. 고생지대에는 7개의 낮은 산봉우리에 프리그 등형으로 알칼리현무암이 분포하며, 주상질리가 발달하며 단사휘석·방상조각이 우세하다. 현무암에는 기반암이 흑운모화강암과 하부·지각 기원의 반려암과 상부 맨틀기원의 레플라이트 프회체를 함유한다.

2. 현무암류는 모두 알칼리 계열로 분류되며, 대부분이 알칼리현무암의 성분 영역에 도시되고 일부 하외아이트(조변현무암)과 피크로현무암 영역에 도시된다. 본역의 현무암류는 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O의 비에 따라 정상제열에 도시된다.

3. 이 지역 현무암을 형성한 마그마는 희토류원소의 변화 패턴과 비광성분원소의 거미그림 특징으로부터, 상부 맨틀 광질인 석류석 페리도타이트의 부분용융에 의하여 형성된 것으로 사료되며, 현무암질 화산 활동은 지관내부현무암에 해당하는 조구적 위치에서 열점과 관련하여 형성되었다.

### 감사의 글

본 논문을 읽고 친절하게 심사료 해주신 강원대학교 이문원 교수님과 조선대학교 신인현 교수님께 감

은 감사료 드립니다. 그리고 야외조사와 실내 연구에 많은 도움을 준 이정형 석사와 심소영 학사에게 감사료 드립니다. 본 연구는 부산대학교 고내하승연구비(4년과제)의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고문헌

박준명, 박계원, 1996. 한반도 중부의 신생대 알칼리 화산암류에 대한 암석학 및 암석성인의 연구(1). 지질학회지, 32, 209-223.

이동영, 1996. 백령도, 조곡리, 세주, 현탄강, 용평도, 아산 일대의 신제3기 및 제4기 화산암의 K-Ar연대. 한국동태 지질연구소 연구보고서.

이항영, 1995. 남한의 알칼리 현무암에 분포하는 원소포화암의 암석화학적 연구. 상부맨틀의 온도 및 압력추정. 암석학회지, 4, 91-103.

한국자원연구소, 1995. 한국 석성암 동위원소 연대지도(1/1,000,000).

Bertrand, P. and Mercier, J.C.C., 1985. The mutual solubility of coexisting ortho- and clino-pyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural system? Earth and Planetary Science Letter, 76, 109-122.

Boyd, F.R., 1973. The pyroxene geotherm. *Geochemical et Cosmochimica Acta.*, 37, 2533-2546.

Brey, G.P. and Kohler, T., 1990. Geothermobarometry in four phase lherzolite II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermo-barometers. *Journal of Petrology*, 31, 1353-1378.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2nd ed., Longman Scientific & Technical, 696p.

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.

Lane, D. and Ganguly, J., 1980. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solubility in orthopyroxene in the system MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>: A reevaluation and mantle geotherm. *Journal of Geophysical Research*, 85, 6963-6972.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.

Mercier, J. C. C., 1980. Single-pyroxene thermobarometry. *Tectonophysics*, 70, 1-37.

Middlemost, E.A.K., 1972. A simple classification of volcanic rocks. *Bulletin of Volcanology*, 36, 382-397.

Middlemost, E. A. K., 1989. Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks, *Chemical Geology*, Vol. 77, p. 19-26.

Morimoto, N., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.

- Mullen, E.D., 1983, MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letter*, 62, 53-62.
- Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 757-773.
- Kushiro, I., Yoder, H. S. and Mysen, B. O., 1976, Viscosities of basalt and andesite melts at high pressures. *Journal of Geophysical Research*, 81, 1351-6356.
- Mercier, J.C.C., 1980, Single-pyroxene thermobarometry. *Tectonophysics*, 70, 1-37.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letter*, 19, 290-300.
- Pearce J.A. and Norry, M.J., 1979, Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- Sachtleben, T. and Seck, H.A., 1981, Chemical control of Al-solubility in orthopyroxene and its implications on pyroxene geothermometry. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 78, 157-165.
- Sun, S.S., 1982, Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, 179-192.
- Wood, B.J. and Banno, S., 1973, Garnet-orthopyroxene and clinopyroxene relationships in simple and complex system. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 42, 109-124.
- Wells, P.R.A., 1977, Pyroxene thermometry in simple and complex system. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 62, 129-39.
- Wood, D.A., Joron, J.L. and Treuil, M., 1979, A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letter*, 45, 326-336.

---

2004년 10월 2일 원고 접수  
2005년 1월 3일 수정원고 접수  
2005년 1월 21일 원고 채택