

## 가거도(소흑산도)의 백악기 화산암류에 대한 암석화학적 연구

김진섭 · 박맹언<sup>1</sup> · 성종규

부산대학교 지질학과, <sup>1</sup>부경대학교 지구환경과학부

**요 약**: 본역의 지질은 백악기 경상누층군의 퇴적암, 이를 관입 또는 분출한 중성화산암류, 산성화산암류 및 제 4기 층적층으로 구성된다. 중성화산암류는 화성쇄설화산각력암, 석질화산력응회암, 안산암용암으로 구성되며, 산성화산암류는 데사이트질용결응회암 및 유문암용암, 유문암질응회암으로 구성된다. 본 연구에서는 중성 및 산성 화산암류에 대해 암석기재학적 연구와 신선한 시료 10개에 대한 암석화학적 특성을 고찰하고, K-Ar법에 의한 절대연대 측정을 실시하였다. 현미경 관찰에서 안산암용암은 사장석이 주 반정광물로 나타나며, 기질은 미정질 내지 은미정질로서 반정광물과 동일한 필로택시틱 조직을 보인다. 안산암질각력암은 퇴적암 및 안산암의 자력 암편을 포함한다. 데사이트질용결응회암은 현저한 파라택시틱 조직을 보이며, 유문암용암은 유상 구조를 잘 보여 주고, 안산암의 암편을 함유하고 용결구조가 현저한 화산력용결응회암이 나타나는데, 유문암용암에서 기질의 함량은 80.9~89.3 %에 이른다. 주 반정광물은 사장석이며 부분적으로 녹염석, 녹니석, 방해석, 제올라이트, 푸로필라이트 등으로 2차 변질되어 나타난다. 본역의 화산암류는 Norm값에 의한 Q-A-P 도표에서 현무암질안산암, 안산암, 데사이트, 유문암의 일련의 분화과정을 나타내고 대부분 칼크알칼리 계열에 속한다. 화산암류의 화학조성은  $\text{SiO}_2$  함량이 57.61~75.40 %이며, MgO, CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$  등은  $\text{SiO}_2$  함량이 증가함에 따라 연속적으로 증가하는 경향을 보인다. 주성분 원소 및 미량 원소의 변화도에서 안산암질에서 유문암으로 분화되는, 즉 마그마의 정출 분화 특징을 뚜렷이 보여준다. REE 양상 및 spider 도표에서 일정한 분화 경향을 보이며 나란하다. spider 도표에서 본역의 화산암류는 Th, La, Nd, Gd 등이 부화되어 있으며, Ba, Nb, Sr, Hf, Zr 등이 결핍되어 있는 특징을 나타낸다. 안산암에서 유문암으로 분화가 진행될수록 Cs, Sr, Eu이 점차 결핍되는 경향이, Th가 증가하는 경향이 있고, Ba, Nb, Sr, Eu의 부(-)의 이상값이 점차 커지는 경향을 보인다. 희유 원소의 변화 경향에서 안산암과 중성 암맥, 데사이트와 유문암의 경향이 서로 일치함을 볼 수 있다. 주성분 원소 및 미량 원소 함량 변화는 본역의 화산암이 안산암으로부터 일련의 분별결정작용 산물임을 암시하며, 또한  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와 CaO 함량의 관계도, Th/Yb 비에 대한 Ta/Yb 비의 관계도,  $\text{Ce}_N/\text{Yb}_N$  대  $\text{Ce}_N$ 의 관계도에 따른 판별에서도 분별결정작용의 경향을 따르고 있다. 본역의 화산암은  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 삼각도에서 도호의 영역에, Ba/La비, La/Th비에 의한 판별도에서 조산대의 high-K suite에 속한다. Rb 대 (Y+Nb)의 판별도 및 Hf-Th-Ta 지구조 판별도에서 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부(destructive plate margin) 중 화산호의 구조적 영역에 도시된다. 본역의 화산암을 생성시킨 마그마는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와 CaO 함량의 관계도, mode에서 나타나는 사장석 반정, 분화가 진행될수록 부의 Eu 이상이 증가하는 것 등에서 사장석의 분별이 우세한 분별결정작용을 거쳤음을 알 수 있다. 안산암질암을 관입한 중성 암맥에서 측정된 암석 연령은  $97.0 \pm 6.8 \sim 94.5 \pm 6.6$ , 데사이트질암은  $68.9 \pm 4.8$ ,  $61.5 \pm 4.9 \sim 60.7 \pm 4.2$  Ma으로 측정되었고, 이것은 백악기 유천층군과 대비되며, 백악기 유천층군 암석의 지화학적 자료와 본역 화산암의 지화학적 자료는 판별도 등에서 같은 영역에 도시된다.

**핵심어**: 가거도, 화산암, 안산암, 데사이트, 유문암, high-K 조산대, 도호, 화산호, 저압분별결정작용

### 서 언

한반도의 남부는 백악기의 화산-심성활동의 장의 하나였으며 그 결과로 중성 내지 산성화산암류가 넓게 분포되어 있다. 본 연구의 대상 지역(이하 본역)인 가거도에는 안산암질암, 데사이트질용결응회암 및 유문암질암이 넓게 분포되어 있다. 본역의 화산암류에 대한

연구는 손치무와 원종관(1970)에 의해 지질조사가 최초로 수행된 바 있는데, 자세한 암석 기재를 통하여 본역에 분포한 안산암질암과 유문암이 백악기의 유천층군에 대비되는 것이라고 하였다. 경상분지의 유천층군에 속하는 현무암질 안산암, 또는 안산암질암이 최근 암석화학적 특징을 근거로 하는 자세한 암석 기재를 통하여 데사이트질 내지 유문암질암

로 새롭게 기재되고 있다.

본역 화산암을 생성시킨 암석 성인 및 조구적 위치, 본역의 화산암이 유천층군에 대비되는지의 여부를 밝히고자 본 연구를 수행하였다. 야외 관찰 및 암석기재학적 연구로 층서를 설정하고, 야외 작업을 통해 채취한 40여 개의 표본 중 신선하고 전형적인 특징을 갖는 30여 개의 박편을 제작하여 편광현미경 관찰을 하였다. 11개의 표본을 기초과학지원센터에서 X-선 형광분석기(XRF) 및 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP/MS)를 이용하여, 주성분 및 미량 원소, 희토류 원소에 대한 화학 분석을 하였으며, K-Ar 방법에 의해 본역의 상이한 화산암의 절대연령을 구하였다.

**일반 지질 및 암석 기재**

가거도의 지질은 백악기 경상누층군의 퇴적암과, 이를 관입 또는 분출한 중성화산암류와 산성화산암류 및 제 4기 충적층으로 구성된다. 본역의 최하위층인 퇴적암은 흑색세일이 본역 북동부에서 안산암질 암체에 소규모로 포획되어 나타난다. 중성화산암류는 본역의 주된 암석으로 넓게 산출되며 산성화산암류에 의해 피복되어 있다. 산성화산암류는 데사이트 질용결응회암과 유문암질암으로 세분되며 데사이트 질용결응회암의 상부를 유문암질암이 피복하며, 유문암질암이 중성화산암류를 관입하고 있는 곳이 발견된다.

중성화산암류를 손치무와 원종관(1970)은 구성 광물과 조직에 따라 안산반암, 치밀안산암, 석영안산암,

안산암질각력암, 푸로필라이트화 안산암질암으로 구분하고 이를 유문암이 후기 관입한 것으로 설명하였다. 본역에 넓게 분포하는 이들 암석들은 동일한 기원의 마그마에서 유래되어 생성된 것으로 보고 이들을 중성화산암류라 칭한다. 손치무와 원종관(1970)이 기재한 중성화산암류중 석영안산암은 암석 기재적 특징으로 미루어 본 연구에서 기재한 데사이트질 용결응회암이라 사료된다. 중성화산암류는 안산암용암, 안산암질각력암 등으로 구성되며, 안산암용암은 암흑색이며 치밀 견고한 기질에 1~2 mm의 크기의 사장석의 반정을 함유하고, 경하에서 필로택시틱 석리를 가진다. 녹염석이 사장석의 벽개면을 따라 발달되어 있으며 사장석의 내부는 일부가 전운모화되어 있다. 사장석은 대부분 알바이트 쌍정이고, 반정을 이루는 사장석 중에는 누대구조를 나타내는 것도 있으며, 그 성분은 안데신이다. 기질은 0.1 mm 이하의 미세한 사장석의 미정으로 구성되고 필로택시틱 석리를 나타낸다. 안산암질 각력암은 안산암용암에 불규칙적으로 산재하며 각력은 퇴적암의 암편과 자력 암편을 많이 함유하고 장경 30 cm에 달하는 것도 있다. 큰 각력들은 대체로 그들의 기질과 동질로서 다른 각력들에 비하여 원도가 발달되어 있다. 편광현미경 관찰에 의하면 각력들은 주연부에서 기질에 의하여 응식되어 있으며 기질과 동질인 각력들은 경계가 뚜렷하지 못하다.

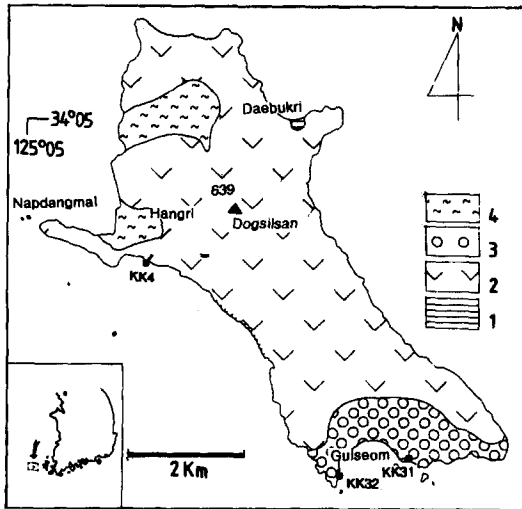
데사이트질용결응회암은 굴섬 부근에서 해안가를 따라 분포한다. 흑색의 유리질 석기에 장석이 반정으로 많게는 14 %까지 들어 있고, 안산암 및 퇴적암의 암편을 지니며, 유문암질암에 비하여 암편의 양이 많

**Table 1.** Modal compositions of the volcanic rocks in the Kageodo area.

Sample No.	Rock type	Matrix (Glass)	Rock fragment	Phenocryst				Rock texture
				Qtz	K-fd	Pl	Etc	
KK3	andesite lapilli tuff	38.5	60.4	0.8			0.2	lithic
KK5	andesite lapilli tuff	18.3	81.7					lithic
KK4	intermediate dyke	91.8			1.4	4.8	1.8	aphyric pillotaxitic
KK32	andesite	70.7		1.0	4.8	13.9	10.2	porphyritic pillotaxitic
KK8	dacite lithic welded tuff	31.8	59.3	1.7	4.0	2.1	0.1	eutaxitic lithic
KK34	dacite lithic welded tuff	64.7	27.8	1.7	3.1	1.9	0.6	eutaxitic lithic
KK31	dacite	79.3			7.1	12.9	0.6	porphyritic cryp-
KK7	rhyolite	89.3		0.6	6.6	1.3	2.1	to crystalline
KK1	rhyolite	80.9		0.6	0.6	8.4	0.3	aphyric

**Table 2.** K-Ar whole rock ages of volcanic rocks in the Kageodo.

Sample No.	K (wt%)	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ ( $10^{-10}$ mol.g)	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}/^{40}\text{K}$	Age (Ma)
KK4 <sub>a</sub>	1.50	2.5246	0.005639	94.5±6.6
KK4 <sub>b</sub>	1.50	2.5926	0.005791	97.0±6.8
KK32	3.13	3.8099	0.004078	68.9±4.8
KK31 <sub>a</sub>	5.26	5.6315	0.003587	60.7±4.2
KK31 <sub>b</sub>	5.26	5.3103	0.003637	61.5±4.9

**Fig. 1.** Geological map of the Kageodo island. (1: Sedimentary rock, 2: Andesitic rock, 3: Dacitic rock, 4: Rhyolitic rock).

은 라필리용회암이다(Table 1). 경하에서 유리샤아드가 암편의 규제를 받으며 감싸고 있는 현저한 파라택시틱(parataxitic) 조직을 보인다.

유문암질암은 유문암용암이 대부분으로 본역의 북서부 향리 부두 입구에서 산록까지 중성화산암류와 데사이트질용결응회암을 피복하고 있으며, 흑산도 등대 사이와 향리 사이에서는 중성화산암류에 암맥상으로 관입해 존재한다. 회록색 내지 담홍색을 띠며, 현저한 유상 구조를 보이는 본암은 경하에서 기질부가 90% 이상 구성되는 것도 있으며, 반정의 함량은 8~9%이다. 유리질 물질의 뚜렷한 유상 구조는 향리 입구에 분포한 풍화면에서 수직방향으로 나타나기도 한다. 서부 남당말에서는 유문암질암의 화산력암이 발견되기도 한다.

본역의 서부 향리 남부에서는 중성화산암류를 중성암맥이 1.4m의 폭으로 관입하고 있는데, 중성암맥

이 데사이트질용결응회암과 유문암질암류를 관입한 곳은 발견되지 않는다. 본역의 화산암류에서 데사이트질용결응회암의 K-Ar 년대는 각각 68.9±4.8 Ma (KK32), 61.5±4.9~60.7±4.2 Ma (KK31)이며, 중성암맥의 K-Ar 년대는 97.0±6.8~94.5±6.6 Ma 로 이 모두는 백악기 말에서 고 제 3기에 일어난 화산-심성 활동임을 시사한다(Table 2).

본역의 지질도는 Fig. 1과 같으며, 본역의 지질 계통 중 안산암질암과 데사이트질용회암 및 유문암질암은 암석 기재적 특징 및 암석 년대 분석을 통해서 볼 때 경상분지의 유천층군과 대비된다.

### 암석화학적 특징

본역에 분포하는 화산암류의 주성분 원소 및 CIPW 노움은 Table 3과 같으며, 미량 원소의 조성은 Table 4, 희토류 원소의 조성은 Table 5와 같다. 본역의 화산암을 변질에 대한 저항력이 비교적 강한 Zr, TiO<sub>2</sub> 등을 사용한 Winchester와 Floyd (1977)의 분류표에 도시한 결과(Fig. 2) 안산암, 데사이트 및 유문암의 영역에 도시된다.

### 주성분 원소

Harker 성분 변화도(Fig. 3)에서 각 산화물은 SiO<sub>2</sub> 성분이 증가함에 따라 K<sub>2</sub>O 성분을 제외한 모든 성분은 그 함량이 감소하는 경향이 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 안산암에서 산성 암맥까지 16.95 wt%에서 12.04 wt%까지 변화한다. FeO\*와 MgO는 SiO<sub>2</sub>가 증가됨에 따라 각각 7.99 wt%에서 0.49 wt%까지, 3.43 wt%에서 거의 0.1 wt%까지 감소된다. CaO와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>는 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 각각 5.65 wt%에서 0.23 wt%, 0.59 wt%에서 0.03 wt%, 1.06 wt%에서 0.31 wt%로

**Table 3.** Chemical compositions and CIPW norms of the volcanic rocks in the Kageodo area (wt%). (AnT; Andesite tuff, InD; Intermediate dyke, An; Andesite, DW; Dacite welded tuff, Rh; Rhyolite, RL; Rhyolite lapillistone)

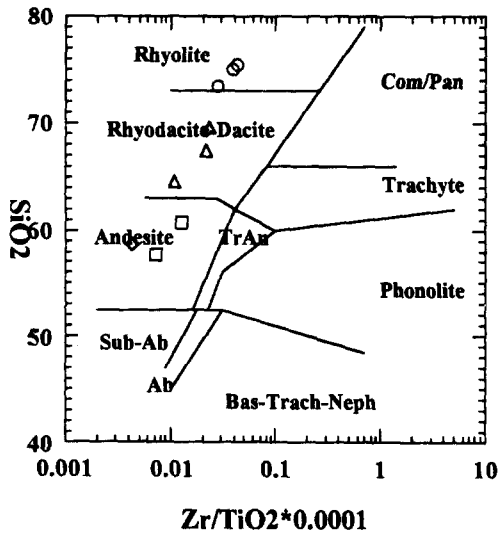
sample Type	kk3 AnT	kk5 AnT	kk4 InD	kk32 An	kk8 DW	kk34 DW	kk31 Da	kk7 Rh	kk6 RL	kk1 Rh
SiO <sub>2</sub>	57.61	57.72	58.66	60.67	64.45	67.41	69.52	73.33	74.95	75.40
TiO <sub>2</sub>	1.06	0.96	0.97	0.88	0.72	0.55	0.52	0.37	0.32	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.31	16.95	16.34	16.03	15.47	15.02	14.67	13.15	13.72	12.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.99	6.92	6.73	5.74	4.68	3.34	2.44	2.00	0.49	1.43
MnO	0.11	0.08	0.11	0.10	0.07	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01
MgO	2.87	3.43	2.69	2.32	1.86	1.00	0.48	0.34	0.13	0.29
CaO	4.93	3.29	5.65	3.70	2.57	2.35	1.12	0.71	0.23	0.95
Na <sub>2</sub> O	3.60	3.25	3.45	3.86	3.65	3.62	3.00	1.95	1.93	2.64
K <sub>2</sub> O	2.82	4.96	2.47	3.80	4.72	4.72	6.14	6.27	7.46	4.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36	0.40	0.59	0.34	0.25	0.14	0.10	0.07	0.03	0.05
LOI	1.66	1.62	1.82	1.87	1.09	1.65	1.69	1.51	0.72	1.52
Total	99.32	99.59	99.46	99.30	99.53	99.85	99.72	99.72	99.98	99.53
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.78	1.53	0.72	0.98	1.29	1.30	2.05	3.21	3.86	1.85
Q	8.97	5.61	12.38	11.15	15.71	21.10	25.29	36.01	34.83	39.27
C		1.12			0.21		1.28	2.04	2.11	0.78
Or	17.2	30.13	15.05	23.18	28.47	28.51	37.12	37.83	44.47	29.55
Ab	31.37	28.21	30.03	33.64	31.46	31.24	25.92	16.81	16.44	22.79
An	20.59	14.36	22.41	15.62	11.51	10.97	5.08	3.18	0.97	4.52
Di	2.05		2.40	1.05	11.51	0.08	5.08			
Hy	14.91	16.05	12.79	11.39	9.49	5.85	3.42	2.75	0.33	1.99
Mt	2.03	1.76	1.72	1.48	1.20	0.86	0.66	0.53	0.17	0.39
Il	2.08	1.87	1.90	1.72	1.40	1.07	1.01	0.72	0.61	0.60
Ap	0.81	0.90	1.33	0.77	0.56	0.31	0.22	0.16	0.07	0.11
Q	11.5	7.2	15.5	13.3	19.5	23.0	27.1	38.4	36.0	40.9
A	22.0	38.5	18.8	27.7	32.1	31.0	39.7	40.3	46.0	30.7
P	66.5	54.3	65.7	59.0	48.4	46.0	33.2	21.3	18.0	28.4

**Table 4.** Trace element abundances (ppm) of the volcanic rocks in the Kageodo area.

Sample Type	kk3 AnT	kk4 An	kk32 An	kk8 DW	kk34 DW	kk31 Rh	kk7 RW	kk6 RL	kk1 Rh
Co	87	69	81	58	144	68	175	123	209
Sc	20	12	7	7	4	4	3	3	4
Cr	38	14	17	17	9	5	6	5	8
Ni	19	7	12	9	7	4	6	4	7
Cu	6	6	15	10	5	4	4	3	5
Pb	16	12	13	22	20	27	20	43	18
Zn	94	87	88	61	31	33	19	37	39
Rb	117	95	127	162	111	176	175	193	154
Cs	3	4	6	5	4	3	3	3	2
Ba	857	625	923	888	829	1431	1123	914	1033
Sr	649	719	359	385	219	177	307	140	273
Ga	28	22	22	21	17	25	20	19	21
Ta	0.8	0.4	0.8	0.8	1.6	1.3	1.7	1.2	1.8
Nb	11.6	7.9	12.8	11.1	17.7	18.6	18.4	15.5	28.6
Hf	3.2	1.6	5.2	3.6	6.1	6.2	5.6	6.6	6.3
Zr	77	41	112	79	120	122	104	125	133
Y	25.7	23.7	22.6	26.2	22.8	27.7	21.3	25.4	26.2
Th	11.1	11.7	20.6	21.4	28.6	31.4	36.0	36.1	30.8
U	2.1	2.1	3.8	4.1	5.1	5.8	5.1	5.6	4.6
Zr/Hf	24.06	25.62	21.54	21.94	19.67	19.68	18.57	18.94	21.11
Nb/Ta	14.50	19.75	16.00	13.87	11.06	14.31	10.82	12.92	15.89
Rb/Sr	0.18	0.13	0.35	0.42	0.51	0.99	0.57	1.38	0.56

**Table 5.** Rare earth element abundances (ppm) of the volcanic rocks in the Kageodo area.

Sample Type	Chon	kk3 AnT	kk4 An	kk32 An	kk8 DW	kk34 DW	kk31 Da	kk7 Rh	kk6 RL	kk1 Rh
La	0.315	42.86	42.40	52.22	55.10	62.37	63.49	58.24	65.82	64.10
Ce	0.813	88.57	84.31	102.08	108.42	120.32	125.22	103.28	126.01	122.53
Pr	0.116	10.42	9.82	11.42	12.05	12.86	13.63	11.84	13.47	13.15
Nd	0.597	39.27	37.76	42.27	42.23	43.82	48.94	39.92	43.61	44.39
Sm	0.192	7.11	7.01	7.15	7.38	7.11	8.11	6.45	7.30	7.18
Eu	0.072	1.59	1.84	1.50	1.53	1.31	1.36	0.86	1.05	1.05
Gd	0.259	6.23	6.05	5.79	6.43	5.86	6.59	4.84	5.96	5.75
Tb	0.047	0.77	0.77	0.76	0.82	0.75	0.88	0.66	0.76	0.75
Dy	0.325	4.31	4.55	4.46	4.74	4.58	5.28	0.66	4.47	4.17
Ho	0.072	0.85	0.84	0.84	0.88	0.87	0.99	3.85	0.88	0.82
Er	0.213	2.36	2.29	2.50	2.59	2.56	2.93	0.73	2.64	2.47
Tm	0.030	0.32	0.29	0.32	0.34	0.36	0.40	2.32	0.31	0.35
Yb	0.208	2.09	2.05	2.35	2.46	2.70	2.83	0.34	2.45	2.33
Lu	0.032	0.29	0.31	0.36	0.36	0.39	0.43	2.26	0.34	0.34
Y	2.000	25.72	23.73	22.58	26.23	22.82	27.72	0.31	25.42	26.29
Total		232.76	200.53	256.60	271.56	288.68	308.80	257.19	300.49	295.67
La/Lu		147.79	136.77	145.05	153.05	159.92	147.65	187.87	193.59	188.53
Ba/La		20.0	14.7	17.7	16.1	13.3	22.5	19.3	13.9	16.1
La/Th		3.9	3.6	2.5	2.6	2.2	2.0	1.6	1.8	2.1
La/Nb		3.7	5.4	4.1	5.0	3.5	3.4	3.2	4.2	2.2



**Fig. 2.** SiO<sub>2</sub> (wt%) vs. Zr/TiO<sub>2</sub> diagram of the study area. (Circle; Rhyolitic rocks, Triangle; Dacitic rocks, Rectangle; Andesitic rocks, Diamond; Intermediate dyke, After Winchester and Floyd, 1977).

경향을 나타낸다. 이상과 같이 주원소 산화물들은 연속적 변화를 나타내며, 미량원소와 SiO<sub>2</sub> 상관도에서도 연속적인 변화가 잘 나타나는데 이는 Ce, Th, Nb, La는 특히 현저한 경향을 보인다(Fig. 4). 이는 본역의 화산암들과 관입암들이 안산암에서 데사이트, 유문암으로 분별결정작용에 의해 분화되었다는 것을 시사한다.

본역의 화산암류는 Irvine과 Baragar (1971)의 SiO<sub>2</sub>에 대한 알칼리의 성분도에서 비알칼리암 계열에 해당된다(Fig. 5). FeO\*(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)-MgO의 성분도에서는 칼크알칼리암의 영역에 해당되며, 칼크알칼리암의 평균치에 유사하다(Fig. 6). 이 성분도는 위의 Harker 성분 변화도와 함께 본역의 화산암들이 분별결정작용에 의해 분화되었음을 입증한다. SiO<sub>2</sub>에 대한 K<sub>2</sub>O의 성분도에서 본역의 화산암류는 대부분 high-K 영역에 속한다(Fig. 7).

**미량 원소와 희토류 원소**

본역의 화산암류의 미량 성분을 MORB의 평균값 (Sun et al., 1979)으로 규정화하여 도시해 보면 Fig.

감소한다. Na<sub>2</sub>O는 3.86~1.93 wt%의 범위 내에서 변화한다. K<sub>2</sub>O는 2.47 wt%에서 7.46 wt%로 증가하는

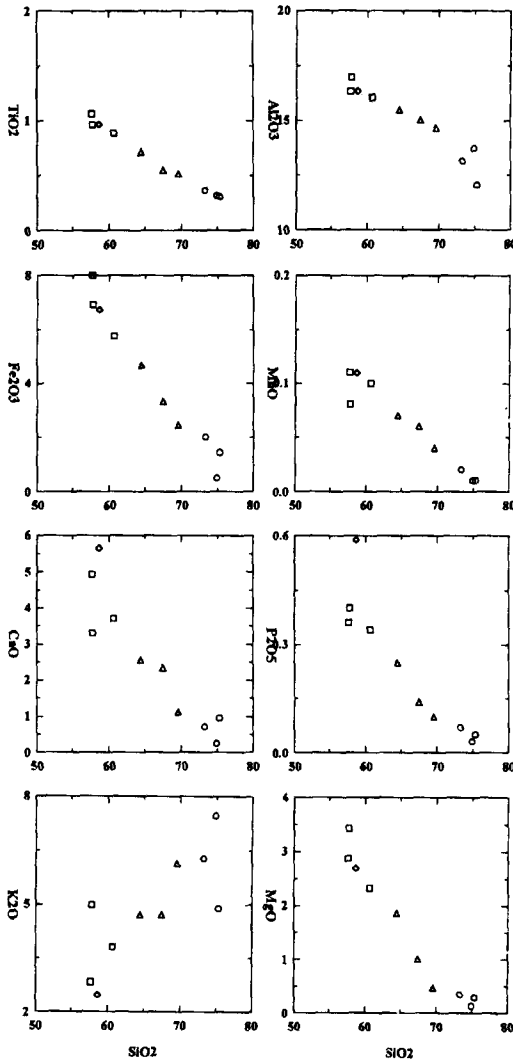


Fig. 3. Major oxides vs. silica (wt%) diagram (Harker variation diagram) of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2.

8과 같다. Th, La, Nd, Gd 등이 부화되어 있으며, Ba, Nb, Sr, Hf, Zr 등이 결핍되어 있는 특징을 나타낸다. 안산암에서 유문암으로 분화가 진행될수록 Cs, Sr, Eu이 점차 결핍되는 경향이, Th가 증가하는 경향이 있고, Ba, Nb, Sr, Eu의 부(-)의 이상값이 점차 커지는 경향을 보인다. 희유 원소의 변화 경향에서 안산암과 중성 암맥, 데사이트와 유문암의 경향이 서로 일치함을 볼 수 있다.

본역 화산암류는 칼칼알칼리 화산대와 비교하여

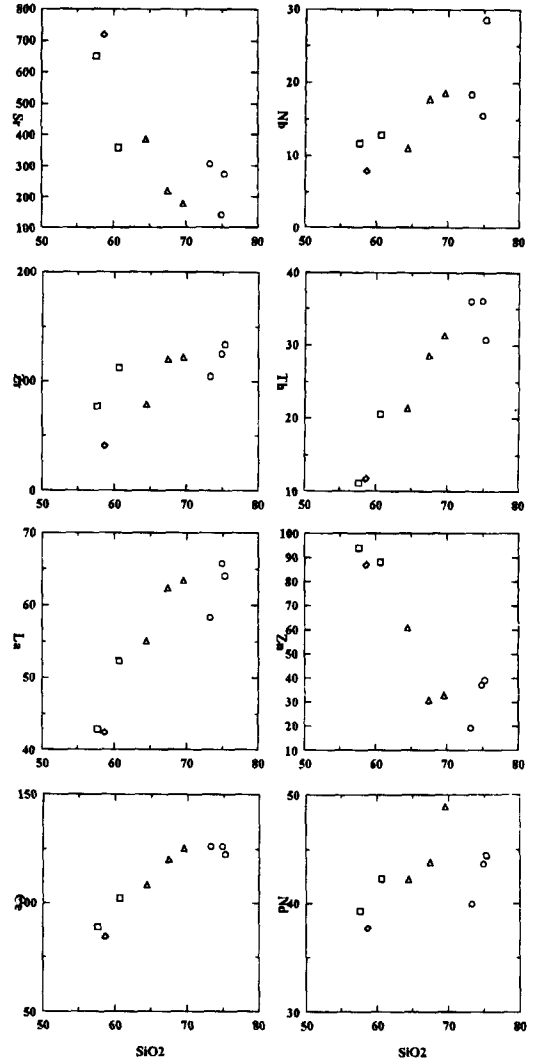


Fig. 4. Trace vs. silica (wt%) diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2.

K와 Rb 함량이 높고 K/Rb 비가 낮다. LIL 원소인 K 및 Rb는 HFS 원소인 Zr, Nb, Hf, Y 등에 비하여 중앙 해령에서보다도 조산대의 화산호에서 부화하는 것이 일반적이며, 후기 분화물로 갈수록 결정분화작용에 의해 증가된다. 본역의 K/Rb 비는 131~418의 범위로서 high-K 칼칼알칼리 화산호의 값과 일치된다.

본역의 화산암류의 Ba/La 비는 13.3~20.0의 범위에 있다. 이는 Gill (1981)에 의한 Ba/La = 15~80의 조산대, 즉 화산호의 범위에 일치하며, high-K암 계열

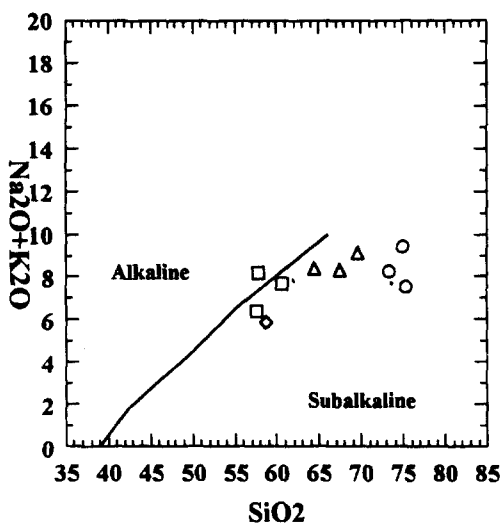


Fig. 5.  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  (wt%) diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Irvine and Baragar, 1971).

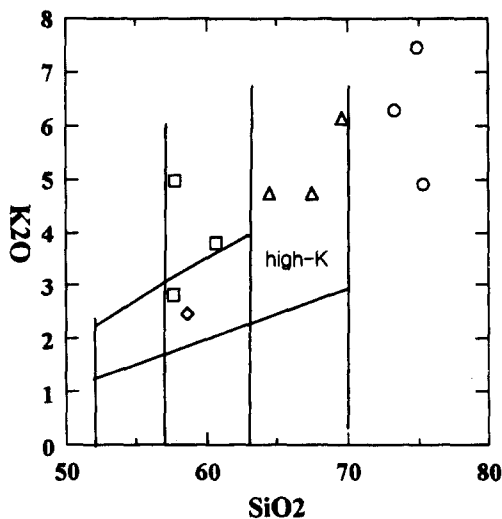


Fig. 7.  $\text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  (wt%) diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Le Maitre, 1989).

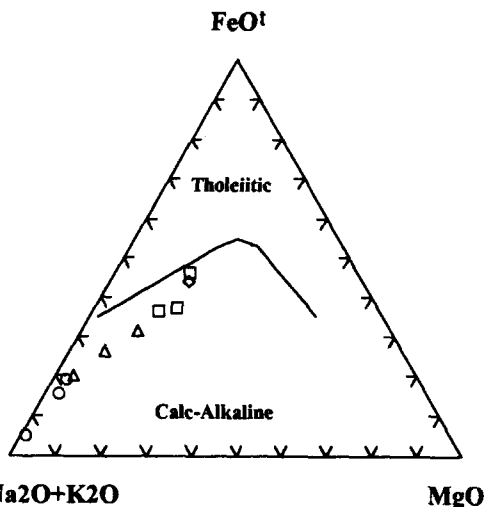


Fig. 6.  $\text{FeO}^*(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{MgO}$  (wt%) diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Gill, 1981).

에 속한다(Fig. 9). Zr/Nb 비는 대체로 9.38~15.53으로 도호(island arc) 및 대륙호(continent arc)에서  $\text{Zr}/\text{Nb} = 10\sim 20$  범위에 집중된다는 것(Gill, 1981)과 일치하고 있다. 그리고 Gill (1981)은 La/Th 비, 즉 Th의 증가에 따른 La의 증가율로서 중앙 해령 화산암류와 조산대 화산암류를 구분한 바 있는데 중앙 해령에서  $\text{La}/\text{Th} = 7\sim 25$ , 조산대에서  $\text{La}/\text{Th} = 2\sim 7$ 에

이르는 변화를 보인다고 했다. 이 기준에 의하면 본역의 화산암류는 La/Th 비가 1.6~3.9로 조산대, 즉 화산호의 하한에 해당된다고 볼 수 있다.

희토류 원소의 패턴을 살펴보면 본역에서 산출되는 화산암류의 각 암석단위 모두는 LREE/HREE 분별작용이 심하며 대체로 준평행한 양상을 보인다(Fig. 10). 이는 환태평양 대륙연변부에서 나타나는 high-K 칼크알칼리 계열 화산호 지대와 일치되고 있다. 이는 이들을 형성한 기원 마그마가 동일함을 암시한다.

기타 다른 미량 원소에 의한 판별비로서 Rb/Zr 비는 0.13~1.38 범위로 화산호의 범위에 들어간다. 그러나 다른 화산호들에 비해 Sr 함량이 177~649 ppm 범위이고, Rb 함량이 95~193 ppm 범위로 높은 편이며, Th 함량이 11.1~36.1 ppm 범위로 높은 편으로 대륙호 범주에 속함을 지지해 준다. 또한, Nb, Hf 등의 HFS 원소가 낮고, Co, Sc 등의 호정성 원소가 고갈되며, K, Rb, La 등의 불호정성 원소가 농집되고 LREE에 비하여 알칼리가 농집되어 있는 것이 큰 특징이다.

### 지구조 환경

Pearce et al. (1984)의 판별도에 본역의 화산암류

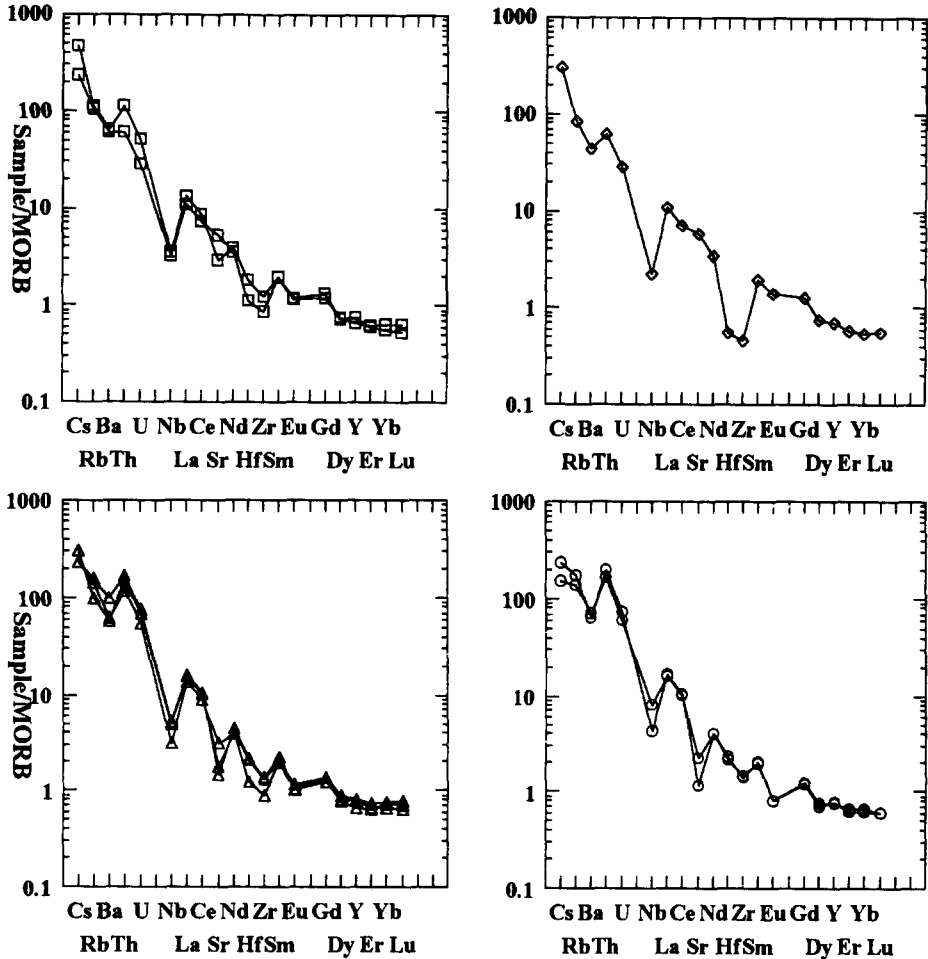


Fig. 8. Spider diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2.

를 도시하면 화산호 영역에 속한다(Fig. 11). Rb은 95~193 ppm 범위로서 증가폭이 넓으면서도 왼쪽에, 반면에 Y + Nb는 32~55 ppm 범위로서 거의 일정하면서도 WPG의 경계 부근에 투시된다. 이는 Rb과 Y + Nb가 동시에 증가하는 곳, 즉 지판내에 가까운 대륙 연변부에 해당하는 곳임을 암시한다.

Fig. 12의 주원소 산화물 중 K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO의 함량 삼각도에서 본역의 화산암은 전형적인 도호의 영역에 점시되며(Defant와 Drummond, 1993; Feeley와 Harker, 1995), 미량 원소 및 희토류 원소의 함량에 의한 판별비, REE 패턴, 판별도 등에 따르면 본역 화산암류는 화산호에 해당되는 조구조적 위치에 놓이며, 대륙호에 해당되는 위치임이 Rb/(Y+Nb)비에

의한 판별도에서 밝혀진 바와 같다. 또한 Ba/La, La/Th와 La/Nb 등에 의한 판별비에서 high-K 조산대에 집중된 대륙 지각을 통과하여 분출된 화산암류라는 것을 지시한다.

Brown et al.(1984)의 판별도에 투시할 때 정상적인 대륙호에 해당되는 영역에 도시되고(Fig. 13), Wood (1980)에 의한 화산암류의 조구적 위치를 잘 표시할 수 있는 Hf-Th-Ta 성분도(Fig. 14)에서 본역의 화산암류들은 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부에서 생성된 마그마로부터 유래한 조구적 위치 영역에 도시가 된다.

Gill (1981)이 제시한 에클로자이트의 부분용융, 상부맨틀 페리도타이트의 부분용융, 대륙지각의 부분



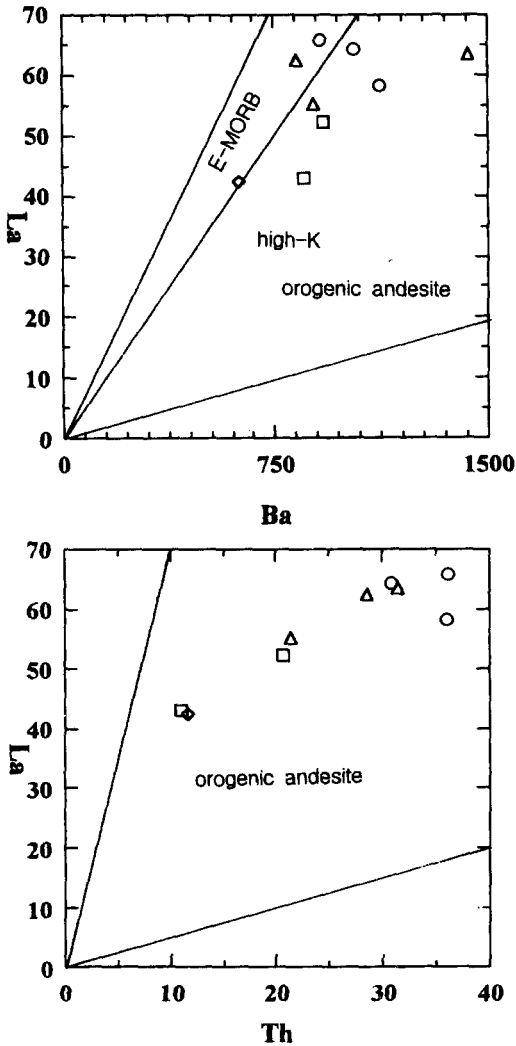


Fig. 9. Ba vs. La and Th vs. La variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Gill, 1981).

용융과 분별결정작용들을 판별해 주는  $Ce_N/Yb_N$  비에 대한  $Ce_N$ 의 상관도(Fig. 15)에서 본역의 화산암들은 안산암질암과 데사이트질암까지는  $Ce_N/Yb_N$  비가 일정한 경향을 보이며, 그 왼쪽 연장선은 에클로자이트가 약 45% 부분용융한 곳에서 만난다. 그리고 유문암질암은  $Ce_N/Yb_N$  비가 약간 높게 나타난다. 이는 본역의 화산암이 에클로자이트의 약 45% 부분용융으로 생성된 마그마의 분별결정작용으로 형성되었으며 유문암질암은 지각 물질의 동화작용의 영향을 소량 받은 것으로 해석된다.

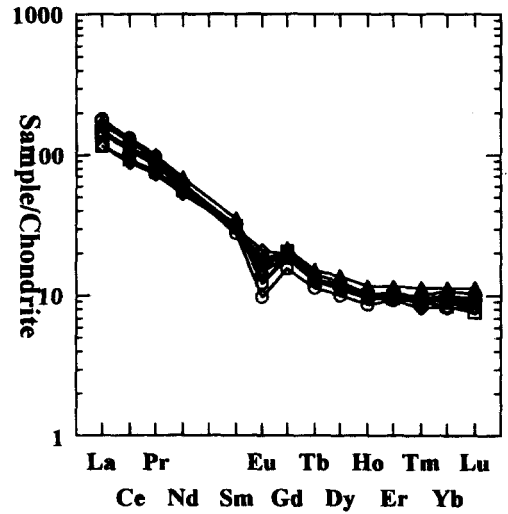


Fig. 10. Chondrite-normalized REE patterns of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2.

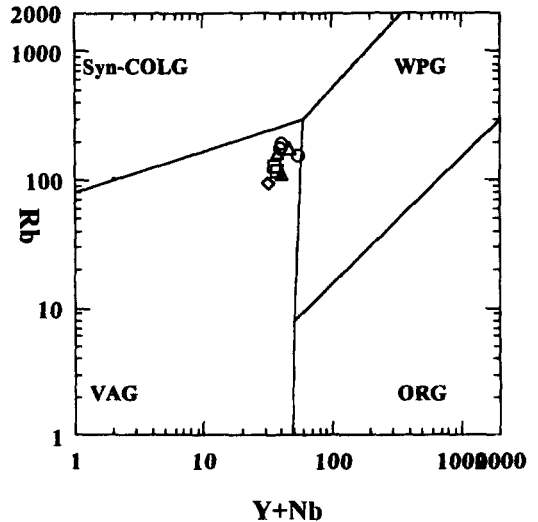
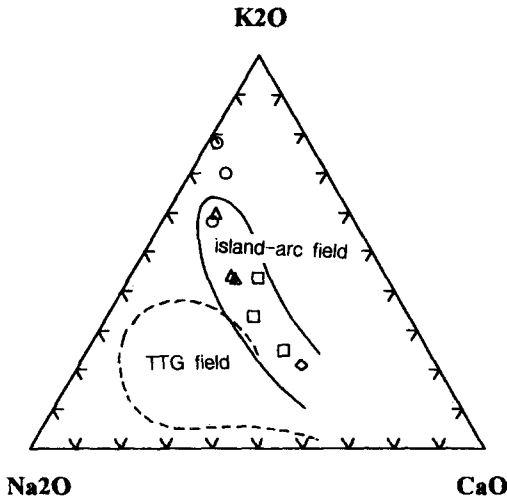


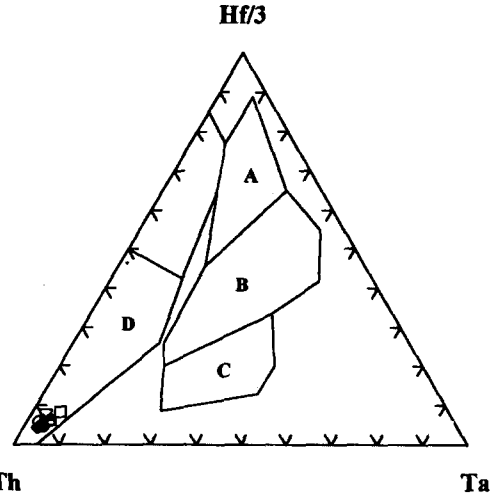
Fig. 11. Rb vs. Y+Nb variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Pearce et al., 1984).

### 암석성인에 관한 고찰

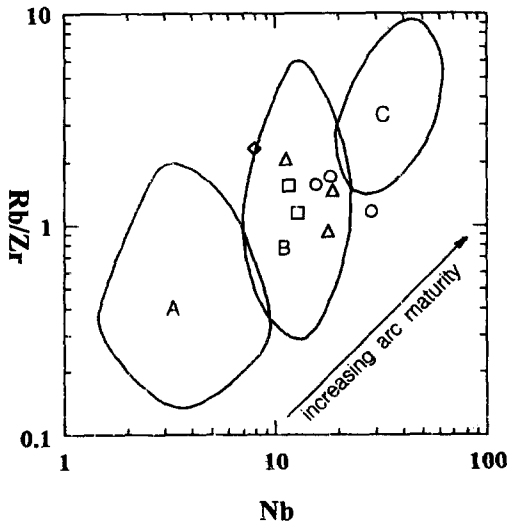
본역의 화산암에 대한 두 가지 관점의 논의를 하고자 한다. 한 가지는 손치무와 원종관(1970)이 암석기재적 연구로 밝힌 본역 화산암의 백악기 유천층군과의 대비이고, 나머지는 본역의 화산암을 생성시킨 암석성인적 논의이다.



**Fig. 12.** Ternary diagram of Na, K and Ca for the study area volcanic rocks. Symbols are the same as in Fig. 2. (Trondjemite, tonalite, and granodiorite (TTG) and island-arc fields are from Defant and Drummond, 1993).

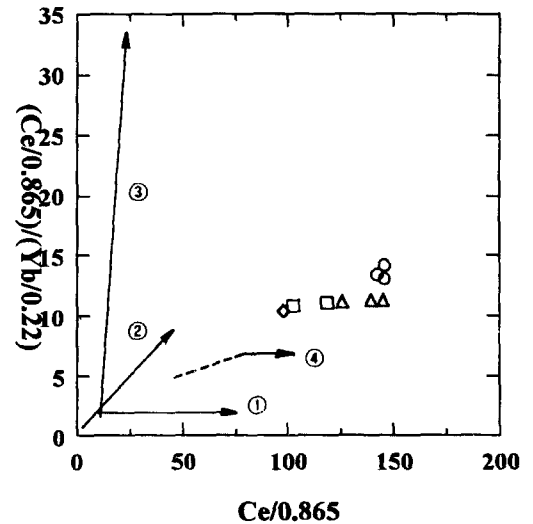


**Fig. 14.** Hf-Th-Ta variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (A; N-MORB, B; P-MORB, C; Within plate basalts and more differentiated rocks, D; Destructive plate margin basalts and more differentiated rocks, After Wood, 1980).



**Fig. 13.** Rb/Zr vs. Nb variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (A; Primitive oceanic arc & continental arcs, B; Normal continental arcs, C; Mature continental arcs, After Brown et al., 1984).

spider 도표에서 암석의 분화에 따라 불호정성 원소의 함량이 증가하는 경향이 거의 일정한 양상을 보이며(Fig. 8), REE 패턴도 나란하다(Fig. 10). 그리고 Harker 성분 변화도(Fig. 3) 및 주원소 산화물과 휘유 원소의 상관도(Fig. 4) 에서 본역의 화산암들은 연속적인 경향을 갖는다. 이를 통하여 본역 화산암의



**Fig. 15.** CeN/YbN vs. CeN variation diagram distinguishing between genetal petrogenetic processes by Gill (1981). (1; Effects of fractional crystallization, 2; Compositions of partial melts of garnet peridotites, 3; Compositions of partial melts of eclogite, 4; Compositions of partial melts of average continental crust).

성인을 동원 마그마의 분별결정작용으로 볼 수 있다. 또한 Gill (1981)이 제시한 도표에 본역의 화산암류를 도시한 결과와(Fig. 15, 16; Fig 5.17a, b) Th/Yb 비에 대한 Ta/Yb 비의 관계도(Fig. 17; Pearce,

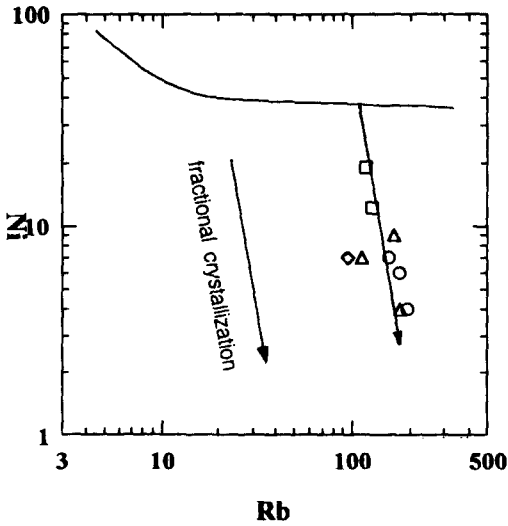


Fig. 16. log Ni vs. log Rb variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (After Gill, 1981).

1983; Fig. 9)에서 본역의 화산암류는 분별결정작용의 과정을 거쳤음을 알 수 있다. 그런데 Table 1에서 안산암질암과 테사이트질암의 연대 차이는 약 28 Ma로 나타난다. 본역의 화산암을 동일 기원 마그마에서 분화한 분별결정작용의 산물로 본다면 이는 K-Ar 법 분석에서 나타나는 문제점인 아르곤 초과, 또는 분석의 오차로 해석해야 할 것이다. 한편 Fig. 8에서 중성 암맥의 양상은 안산암질암과, 테사이트질암은 유문암질암과 그 양상이 유사한데, 이는 중성 암맥이 안산암질암을 관입하고 있기는 하지만, 테사이트질 또는 유문암질암을 관입한 곳은 발견되지 않는 야외 산상을 고려할 때, 중성 암맥은 안산암질암을 관입한 feeder dyke로 거의 동시기적인 산물이며, 그 후 안산암질암 및 중성 암맥을 생성시킨 것과 성분이 유사한 마그마에서 분화한 테사이트질 및 유문암질암이 분출하였다고 할 수 있다. 그렇다고 하더라도 그렇게 오랜 시간 간격을 두고 거의 같은 성분을 가진 마그마가 정치할 수 있을까 하는 의문이 남는다.

Fig. 6에 따르면 본역의 화산암은 칼크-알칼리 계열이며, 편비도 등(Fig. 11, 12, 13, 14, 15)에서 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부 및 화산호에서 생성된 마그마로부터 유래한 조구적 위치 영역에 도시가 된다. 또한 본역에서는 안산암질암보다 더 염기성의 암석은 물론 염기성 포획체의 발견도 어렵다. 따라서

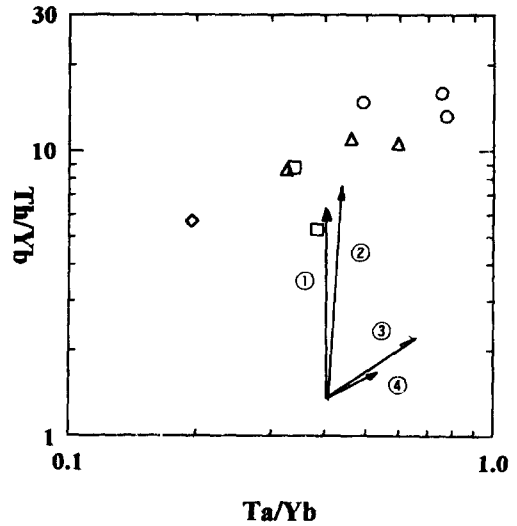


Fig. 17. Th/Yb vs. Ta/Yb variation diagram of the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. (1: Influence of subduction components, 2: Crustal contamination, 3: Within plate enrichment, 4: Fractional crystallization, After Pearce, 1983).

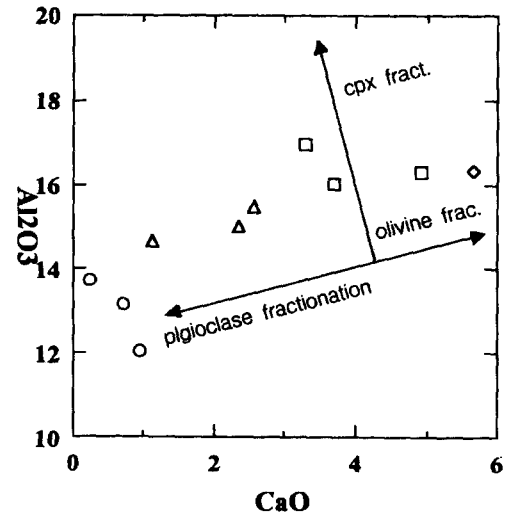


Fig. 18. Plots of  $Al_2O_3$  vs. CaO demonstrating the predominant trends of fractional crystallization. Symbols are the same as in Fig. 2.

본역의 화산암의 기원 마그마는 안산암질 칼크알칼리 마그마라고 생각할 수 있다. Burnham (1979)은 화산호지역에서 해양 지각 등이 섭입하여 생성된 에클로자이트가 부분용융을 시작하면 토른제마이트 혹은 섬록암질 성분의 마그마가 부력에 의한 상승을 하

고, 맨틀 앳지에서 동화 작용 등을 받아 MORB의 성분과 유사한 현무암질 마그마가 고준위 마그마 저유소(high-level magma reservoir)로 정지하고, 거기서 분별 정출작용으로 칼크-알칼리 안산암질 마그마가 생성된다고 하였다. 본역의 화산암중 가장 염기성인 성분, 즉 안산암질암의 MgO 함량이 낮고(2.32~3.43wt%), 알칼리 함량이 높으며(5.92~7.66wt%), Ni, Cr, Co, Sc 등의 호정성 원소의 함량이 보다 낮은 점과 같은 화학적 특징은 본역의 안산암질 마그마가 보다 염기성 마그마로부터 유래되었음을 입증해 주고 있다. 보다 염기성인 마그마의 포획체와 같은 직접적인 증거는 없으나 이 간접적 자료로부터 초생 마그마의 성분과 초기의 분화과정을 고려할 때, 본역 화산암류의 모체가 되는 안산암질 마그마는 분별 결정작용이 있기 이전에 보다 염기성 안산암질 초생 마그마로부터 진화되었다는 것(Grove와 Baker, 1984)도 어느 정도 지지된다. 이 모든 논의는 Fig. 15에서 본역의 화산암류가 에클로자이트가 45% 부분용융하여 생성되었다는 것과 부합되는 점이다. 그리고 본역의 화산암이 섭입하는 압권, 맨틀 앳지의 lherzolite 등의 영향을 받았다면 K, Sr, Ba, Th 등이 부화할 것인데(Wilson, 1989), 이런 양상을 잘 보이지 않는다. 또한 Nb, Sr, Zr 등의 결핍은 본역의 화산암에 분별 정출작용이 현저했음을 시사하고 있다. 따라서 본역의 화산암에서 중성의 것과 산성의 것에 나타나는 시간적 간격이 다소 크다고 하더라도 마그마가 섭입 압권, 맨틀 앳지의 영향을 거의 받지 않은 거의 비슷한 경로를 통하여 만들어진 것이라고 하면 시간적 간격은 설명될 것이라 사료된다. 따라서 본역의 화산암은 해양 지각 혹은 해양 현무암이 섭입하는 동안에 변성되어 생긴 에클로자이트가 부분 용융하여 생겼고, 지각 혼열을 거의 받지 않은 마그마 과정을 받았다고 생각할 수 있다.

백악기 유천층군의 화산암의 연구와 비교하여 보면, spider 도표(김진섭과 성종규, 1996; Fig. 7)의 양상이 일치하며, 판별도 등(김진섭과 성종규, 1996; Fig. 10, 11, 12, 13)에서 같은 영역에 도시된다. 본역 화산암의 암석 연대는 백악기 유천층군과 대비되는 연령이며, 이는 본역의 인접 지역인 해남 지역의 화산암의 연대(문희수 등, 1990; 김인준과 長尾敬介, 1992)와도 대비되는 것이다. 따라서 지화학적 자료,

암석 연대 등에 따른 비교를 미루어 본역의 화산암류는 백악기 유천층군에 대비되는 화산암임을 알 수 있다.

Ellam과 Hawkesworth (1988)은 섭입에 관련된 화산작용에 대한 삼성분 모델을 가정하였다. 그 중 두 성분은 섭입 성분-현무암질 해양지각과 섭입되는 육성 퇴적물-으로 유체와 부분 용융체의 원천 성분으로, 위에 놓인 맨틀 앳지에 용융 과정을 촉발시키는 것이다. 성분 원소들과 동위원소 성분의 관점에서 중앙해령현무암(MORB)의 기원물질과 유사하게 가정되는 맨틀 앳지의 물질이 세번째 성분을 구성한다. 섭입과 관련된 화산체에서 관찰되는 동위원소 및 희유 원소 변화의 넓은 폭은 이들 성분들의 혼합을 반영한다. 더욱 더, 상승하는 마그마의 성분은 분별 결정작용과 MASH (Hildreth와 Moorbath, 1988)와 AFC 과정(DePaolo, 1981)을 통한 대륙 지각의 혼열로 수정된다.

화산호에서의 화산암이 갖는 spider 도표에서의 희유원소의 특징은 N-type MORB에 비하여 낮은 이온 포텐셜을 갖는 불호정성 원소인 Sr, K, Ba±Th이 부화되는데(Basaltic Volcanism Study Project 1981; Pearce, 1982), 이들 원소들은 지각 혼열의 과정에서 추적자로서 가치 있는 것이다. 하지만 이들 원소들은 유동성이 강하며 본역의 화산암에서는 그런 특징을 가지지 않는다. 그리고 본역의 화산암들에서 얻은 동위원소 자료가 없기 때문에 암석성인적 논의는 분별 결정작용의 영향과 마그마 원천에서의 제한점에 집중하기로 한다(Münker and Cooper, 1995).

화산호에서의 분별 결정작용은 30 km 이하의 고준위 마그마 저유소에서 현저하며(Gill, 1981; Iyer 1984; Gamble et al., 1990), 지각은 그 두께가 20-25 km에 다달았을 때 초생 마그마의 상승을 저지하는 밀도 필터로 작용하여 고준위 마그마 챔버(high-level magma chamber)에 초생 마그마가 고이고, 뒤이은 저압 결정 분별작용은 저밀도의 안산암질 마그마를 발생시키고, 이는 화산호에서 중성의 마그마 성분이 현저함을 설명한다(Wilson, 1989). 또한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 CaO 함량의 관계도(Fig. 18)에서 본역의 화산암들의 진화에서 사장석의 분별작용이 큰 역할을 했다고 사료되며, 이는 주반정광물인 사장석의 분별이 현저함과 잘 일치한다. 30 km 보다 더 깊은 깊이에서 현무

암질 마그마로부터 사장석은 정출될 수 없으므로 사장석의 정출이 있다는 것은 30 km 이하의 저압 분별 결정작용(Powell, 1978)을 지시한다. 따라서 본역의 화산암은 반정 조합에서 사장석이 우세하며, 안산암보다 더 염기성의 화산암은 발견되지 않으므로 30km 이하의 깊이에서 사장석의 분별이 현저한 저압 분별작용을 겪은 안산암질 마그마에 의해서 유래되었고, 주원소 산화물(Fig. 3), 미량원소의 관계도(Fig. 4) 등에서 보이는 연속적인 경향, Gill (1981)의 분화과정 판별도(Fig. 15, 16) 등은 또한 분별 결정작용을 강력히 시사하고 있다.

## 결 론

가거도의 화산암류는 하위로부터 안산암질암, 데사이트질용결융회암, 유문암질암으로 구성되어 있다. 안산암질암을 관입하고 있는 중성 암맥의 K-Ar 전암 분석연령은  $97.0 \pm 6.8 \sim 94.5 \pm 6.6$  Ma, 데사이트질용결융회암은  $68.9 \pm 4.8$  Ma,  $60.7 \pm 4.2 \sim 61.5 \pm 4.9$  Ma로 측정되었다.

주원소 산화물 및 미량원소의  $\text{SiO}_2$  함량과의 관계도에서 대부분 연속적인 변화 경향을 보이며, REE 양상 및 spider 도표에서 일정한 분화 경향을 보이며 나란하다. 이는 본역의 화산암이 일련의 분별결정작용 산물임을 암시한다. 또한  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와 CaO 함량의 관계도, Th/Yb 비에 대한 Ta/Yb 비의 관계도, CeN/YbN 대 CeN의 관계도에 따른 판별에서도 분별결정작용을 경향을 따르고 있다.

$\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 삼각도, Ba/La비, La/Th비, Rb 대 (Y+Nb)의 판별도, 미량 조성의 함량 등은 조산대에서의 화산호의 판별비와 일치하며, high-K suite에 속한다. Hf-Th-Ta 지구조 판별도에서 본역의 화산암류는 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부(destructive plate margin)에서 생성된 마그마로부터 유래한 화산암류의 조구적 위치 영역에 도시가 된다.

암석연령과 지화학적 자료 등은 백악기 유천층군의 화산암류와 잘 대비되며, 본역의 화산암은 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부의 화산호에서, 30km 이하의 깊이에서 사장석의 분별이 현저한 저압 분별작용을 겪은 칼크-알칼리 안산암질 마그마에 의해서 유래되었다.

## 감사의 글

전략광물자원 연구센터의 지원과 분석에 도움을 주신 천진대학의 천기철 교수께 감사하며, 논문을 읽고 조언을 해 준 진명식 박사, 이진수 박사와 이문원 교수께 감사한다.

## 참고문헌

- 김진섭, 성종규, 1996, 천성산 백악기 화산암류의 암석학적 연구(I). 암석학회지, 5, 108-120.
- 김인준, 長尾敬介, 1992, 한국 남서부의 열수점토광상과 주변암에 대한 K-Ar 연대 측정, 암석학회지, 1, 49-57.
- 문희수, 김영희, 김종환, 유장한, 1990, 해남지역 화산암류의 납석 및 고령토 광상의 K/Ar 연대, 광산지질, 23, 135-141.
- 손치무, 원종관, 1970, 소록산도의 지질. 한국 자연보존 연구회 조사보고, 제1호, 13-20.
- Basaltic Volcanism Study Project 1981, Basaltic volcanism on the terrestrial planets, New York: Pergamon Press, 1286p.
- Brown, G. C. Thorpe, R. S. and Webb, P. C., 1984, The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arc and comments on magma sources. J. Geol. Soc. London, 141, 413-426.
- Burnham, C. W., 1979, Magmas and hydrothermal fluids: In geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd, H. L. Barnes (ed.), 71-136.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S., 1993, Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc: Geology, 21, 547-550.
- DePaolo, D. J., 1981, Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization: Earth Planet. Sci. Lett., 53, 189-202.
- Ellam, R. M. and Hawkesworth, C. J., 1988, Elemental and isotopic variations in subduction related basalt: evidence for a three component model, Contrib. Mineral. Petrol., 98, 72-80.
- Feeley, T. C. and Harker, M. D., 1995, Intracrustal derivation of Na-rich andesitic and dacitic magma: An example from Volcán Ollag e, Andean Central Volcanic Zone, Jour. Geol., 103, 213-225.
- Gamble, J. A., Smith, I. E. M., Graham, I. J., Kolelaar, B. P., Cole, J. W., Houghton, B. F. and Wilson, C. J. N., 1990, The petrology, phase relations, and tectonic setting of basalts from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand and the Ker-

- madec Island Arc-Havre Trough, SW Pacific, *Jour. Volcan. Geother. Res.*, 43, 253-270.
- Gill, J. B., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics*, Springer-Verlag, 390p.
- Grove, T. L. and Baker, M. B., 1984, Phase equilibrium controls on the tholeiitic versus calc-alkaline differentiation trends, *Jour. Geophys. Res.*, 89, 3253-3274.
- Hildreth, W. and Moorbath, S., 1988, Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 455-489.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. Jour. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Iyer, H. M., 1984, Geophysical evidence for the locations, shapes and sizes and internal structures of magma chambers beneath regions of Quaternary volcanism: Royal Soc. (London), *Philos. Trans.* A310, 473-510.
- Le Maitre R. W., 1984, A proposal by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica(TAS) diagram. *Australian Jour. Earth Sci.*, 31, 243-255.
- Münker, C. and Cooper, R. A., 1995, The Island arc setting of a New Zealand Cambrian volcano-sedimentary sequences: implications for the evolution of the SW Pacific Gondwana Fragments, *Jour. Geol.*, 103, 687-700.
- Pearce, J. M., 1982, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In *Andesites: orogenic andesites and related rocks*, R. S. Thorpe (ed.), 525-548.
- Pearce, J. M., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In *Continental basalts and mantle xenoliths*, C. J. Hawkesworth & M. J. Norry (ed.), 230-49.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 956-983.
- Powell, M., 1978, Crystallization conditions of low-pressure cumulate nodules from the Lesser Antilles island arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 39, 162-172.
- Sun, S. -S., Nesbitt, R. W. and Sharaskin, A. Ya., 1979, Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 44, 119-138.
- Wilson, M., 1989, *Igneous petrogenesis*, Unwin Hyman, 168.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile element. *Chemical. Geol.*, 20, 325-343.
- Wood, D. A., 1980, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, 11-30.

---

(1996년 11월 15일 접수)

(책임편집 : 진명식)

## Petrochemical Study on the Cretaceous Volcanic Rocks in Kageo island, Korea

Jin Seop Kim · Maeng Eon Park<sup>1</sup> · Jong Gyu Sung

*Department of Geology, Pusan National University*

<sup>1</sup>*Department of Applied Geology, Pukyong National University*

**ABSTRACT** : This study reports the results about the petrography and geochemical characteristics of 10 representative volcanic rocks. The Cretaceous volcanic rocks distributed in the vicinity of the Kageo island composed of andesitic rocks, dacitic welded tuff, and rhyolitic rocks in ascending order. Sedimentary rock is the basement in the study area covered with volcanic rocks. Andesitic rocks composed of pyroclastic volcanic breccia, lithic lapilli tuff and cryptocrystalline lava-flow. Most dacitic rocks are lapilli ash-flow welded tuff. Rhyolitic rocks consists of rhyolite tuff and rhyolite lava-flow. Rhyolite tuff are lithic crystal ash-flow tuff and crystal vitric ash-flow tuff with somewhat accidental fragments of andesitic and sedimentary rocks. Intermediate dyke which found one location intrude andesitic rocks, but dacitic and rhyolitic rocks. The variation of major and trace element of the volcanic rocks show that contents of  $Al_2O_3$ , FeO, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> decrease with increasing of SiO<sub>2</sub>. On the basis of Variation diagrams such as  $Al_2O_3$  vs. CaO, Th/Yb vs. Ta/Yb, and  $Ce_N/Yb_N$  vs.  $Ce_N$ , these rocks represent mainly differentiation trend of calc-alkaline rock series. On the discriminant diagrams such as Ba/La and La/Th ratio, Rb vs. Y + Nb, the volcanic rocks in study area belongs to high-K Orogenic suites, with abundances of trace element and ternary diagram of K, Na, Ca. According to the tectonic discriminant diagram by Wood, these rocks falls into the destructive continental margin. K-Ar ages of whole rocks are from andesite to rhyolite  $97.0 \pm 6.8 \sim 94.5 \pm 6.6$ ,  $68.9 \pm 4.8$ ,  $61.5 \pm 4.9 \sim 60.7 \pm 4.2$  Ma, respectively. Volcanic rocks in study area show well correlation to the Yucheon Group in terms of rock age dating and geochemical data, and derived from andesitic calc-alkaline magma that undergone low pressure fractional crystallization dominated plagioclase at < 30 km.

**Key words** : andesite, dacite, rhyolite, high-K orogenic suites, island arc, low pressure fractional crystallization