

경산칼데라 동부지역에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 특징

박성옥¹ · 장윤득^{2,*} · 황상구³ · 김정진³

¹서울대학교 공동기기원, ²경북대학교 지질학과, ³안동대학교 지구환경과학과

Petrology of the Cretaceous Volcanic Rocks in Eastern Part of the Kyeongsan Caldera

Sung-Ok Park¹, Yun-Deuk Jang^{2,*}, Sang-Koo Hwang³ and Jeong-Jin Kim³

¹NCIRF, Seoul National University, Seoul, Korea

²Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu, Korea

³Department of Earth & Environmental Sciences, Andong National University, Andong, Korea

요약: 연구지역의 백악기 화산암류는 경산 칼데라의 동부지역에 분포하고 있다. 연구지역의 화산암류는 층서적인 하위에서 상부로 안산암 I, 안산암질 응회암, 안산암 II, 안산암질 각력 응회암 그리고 안산암질 반암으로 구성된다. 안산암 I은 암색, 조직, 반정광물, 암석화학에서 안산암 II와 구분된다. 안산암 I은 치밀하고 암녹색을 띠나 안산암 II는 적색이며 반상조직을 보인다. 안산암 I은 SiO₂와 K₂O의 함량이 낮으며 사장석과 휘석반정 외에 감람석 반정을 가지는 것이 특징이며, 안산암 II는 SiO₂와 K₂O의 함량은 높은 반면에 CaO, MgO, MnO, TiO₂, Fe₂O₃, 및 P₂O₅의 함량은 낮다. 주원소를 이용하여 분석한 연구지역 화산암의 마그마 계열은 칼크알칼리에서 알칼리계열에 이르기까지 분산된 양상을 보여준다. 비호정 원소들은 일관되게 칼크알칼리 계열을 지시하고 있으므로 알칼리 원소의 부화는 2차적 변질에 의한 결과임을 시사하고 있다. 미량원소 판별도에 의하면 연구지역 화산암의 조구조적인 위치는 대륙연변부의 칼크알칼리 계열의 화산호인 것으로 판단된다.

주요어: 백악기 화산암, 화성활동, 마그마계열, 암석화학

Abstract: The Cretaceous volcanic rocks in the study area represented by andesitic rocks occupy eastern part of the Kyeongsan Caldera. The volcanic rocks comprise andesite I, andesitic tuff, andesite II, and andesitic tuff breccia in their stratigraphic succession, and andesitic porphyry. Andesite I is distinguished from andesite II in their color, texture, phenocryst mineralogy and petrochemistry. In outcrops, andesite I is compact and dark-green, and andesite II is brick red in color and porphyritic in texture. In their phenocryst mineralogy, andesite I contains olivine phenocryst in addition to plagioclase and pyroxene which occur in both of andesites. Compared to andesite II, andesite I is higher in SiO₂ and K₂O contents and lower in CaO, MgO, MnO, TiO₂, Fe₂O₃, and P₂O₅. Major elements petrochemistry shows that magma series of the volcanic rocks spread widely from calc-alkaline to alkaline series. On the other hand, immobile trace elements petrochemistry shows that the magma series is calc-alkaline without exception, suggesting that the volcanics has experienced more or less alkali enrichment after their eruption. Trace element diagrams for discrimination of tectonic setting show that the volcanics of the study area might be originated from calc-alkaline continental volcanic arc.

Key words: Cretaceous volcanics, igneous activity, magma series, petrochemistry

*Corresponding author: Tel. +82-53-950-5358, E-mail. jangyd@knu.ac.kr

서 론

경산칼데라는 경상분지 내의 유천소분지 북부에 위치하고 있으며 백악기 말 화성활동의 산물로서 주로 안산암질 암류로 구성되어 있다. 연구지역에 대한 암석학적 연구로는 경산 도폭조사(원종관 외, 1971)의 일환으로 수행된 바 있다. 원종관 외(1971)는 경산 칼데라 지역의 지사를 신라통 퇴적암의 퇴적기, 천소 안산암질암의 관입기, 불국사 화강암류의 관입기, 심성암 관입후기의 단열작용과 암맥류의 관입기로 나누어 이 지역의 형성 시기를 설정하고 연구지역의 안산암을 관입산상으로 해석하였다. 박제천(1989)은 화산복합체의 형성과정을 중심으로 연구하였다. 박진홍(1990)은 경산칼데라 내에 분포하는 안산반암과 안산암의 암석학적인 연구를 수행하며 안산암을 분출암으로 설명하였다. 장용성(1994)은 안산반암은 관입암으로서 안산암을 포획한다고 해석하였다. 김대원(1995)은 칼데라 내에 존재하는 안산암을 분출암상으로 해석하고 산출되는 암상에 근거하여 상부와 하부로 구분하였다.

다수의 연구자들이 연구 지역에 분포하는 화산암류에 대하여 연구를 수행하여 왔으나 안산암의 성인에 대한 해석을 포함한 논쟁이 계속되고 있는데 연구지역의 후기 백악기 화산암류인 안산암질 암류의 야외산상, 광물조직, 암석화학적 특성을 부분적으로 규명함으로써 이 지역의 안산암질 화산활동의 특성과 안산암의 성인을 밝히는데 일조하고자 한다.

연구 방법

경산도폭을 기초로 야외조사를 실시하여 노두발달 상태가 양호한 경북외국어대, 석정온천, 도로사면 등을 포함한 노두에서 총 107개의 암석 시료를 채취하였다. 야외에서는 암상을 통한 육안적 분류를 기초로 층서구분에 역점을 두었으며, 현미경관찰을 위하여 암석시료 중 80여개의 시료에 대해 박편을 제작하여 지질도 작성, 구성광물의 조성, 광물간의 상호관계, 광물조직 연구 등에 이용하였다. 모드 분석은 각 층을 대표하는 박편을 선정하여 점셈에 의한 반정과 석기의 구성비를 조사하였다. 연구지역 암석의 암석화학적 특징을 밝히기 위해 채취한 시료 중 70개를 선정하여 기기분석 및 습식분석을 실시하였다. 경북대학교 지질학과의 X선 형광분석기(philips 1404/10)를 이용하여 주성분 및 미량원소를 정량 분석하였다. FeO의 함량은 비색법으로 적정하였으며 H₂O와 CO₂는 휘발성분분석기(CWA5005)를 이용하여 분석하였다. 희토류 원소는 MDS(micro-

wave digestion system)로 전처리 후 ICP-MS(VG plasma-quad 3)를 이용하여 분석하였다(Bing *et al.*, 1997; Shinotsuka, *et al.*, 1996).

지질 개요

연구지역은 유천소분지(밀양소분지)의 북부에 해당하는 지역으로 백악기 하양층군의 자인층과 이를 분출하여 접하고 있는 유천층군의 화산암류 및 이들을 관입한 화강반암류와 암맥들로 구성되어 있다. 연구지역에 분포하는 화산암류의 산출상태는 연구자에 따라 해석에 차이가 있는데, 원종관 등(1971) 및 장용성(1994)은 경산칼데라 지역에서의 화산암류인 안산암질암류를 관입암으로 규정하여 먼저 안산암이 자인층을 천소 관입하고 그 이후 치밀안산암, 안산반암이 재차 각각 관입한 것으로 해석하였다. 안산암질 암류가 관입암으로 분포한다는 증거로서 안산암이 괴상의 불규칙한 분포를 이루고 있고, 치밀안산암질암이 안산암을 수직으로 자르고 있으며, 안산암 분포 영역에 이들의 암맥을 볼 수 있으며, 반상안산암내에 안산암이 포획암으로 들어 있다는 것 등을 제시하였다. 이에 반하여 박진홍(1990)은 연구 지역의 안산암질 화산암류를 분출화산암으로 해석하여 안산반암층을 최하부층으로 하여 수매의 안산암과 안산암질 응회암으로 구성되어 있다고 주장하며 안산반암이 횡적·수직적 변화가 없이 균질한데 이와 같은 광물조성 및 조직의 특성으로 연구지역의 안산암은 관입암으로 해석하기에는 난점이 있다고 주장하였다.

경산칼데라 중북부의 지질도(김상욱 등, 1991, 1993)와 경산도폭(원종관 등, 1971)을 기초로 야외조사를 실시한 결과 경산칼데라의 안산암질 암류는 층서 및 암질에 따라 하부안산암, 응회암, 상부안산암, 안산암질 각력응회암, 안산반암으로 세분할 수 있었다. 연구지역에 분포하는 규장암은 남북방향으로 소규모의 무리를 이루며 나타나고, 연구지역 남단부에는 중성맥암이 일부 산출된다.

구성암석 및 층서

자인층

연구지역 내의 최하부를 구성하는 자인층은 하양층군의 최상부층으로 연구지역에는 적은 분포를 이루고 있으나 자인 일대에는 넓게 분포하고 있다. 연구지역의 자인층은 주로 회색 내지 암흑색 셰일로 구성되어 있는데 후기 관입암류의 영향으로 호온펠스화되어 회

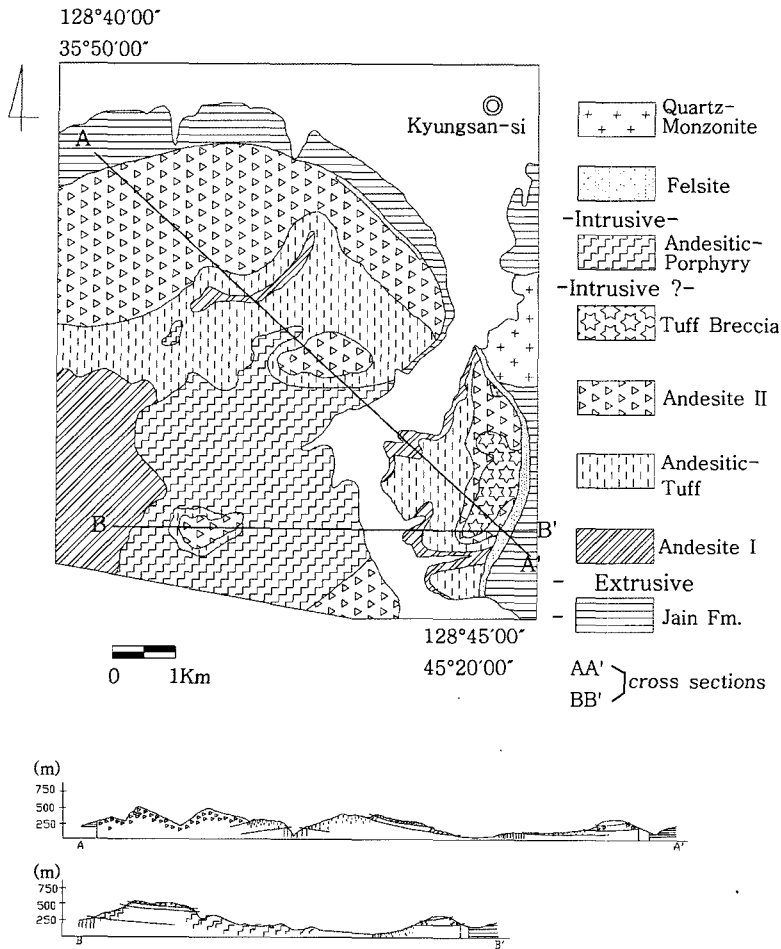


Fig. 1a. Geologic map and cross sections of the study area.

백색과 녹회색의 띠를 이룬다. 칼데라 밖의 주향과 경사는 N40° E, 5 내지 10° SE로 측정되며 칼데라 안쪽에는 N70° W, 15° SW로 측정된다. 자인층과 경산칼데라 내부의 안산암질암과의 경계에는 관입암류가 관입하며 환상암맥을 이루고 있다(Fig. 1).

안산암 I

안산암 I은 대체로 암녹색의 치밀한 노두상의 특성을 보이므로 다른 암석과 구분이 용이하다. 본 암은 칼데라 서부인 상원리 부근에 많이 분포하고 칼데라 동부지역과 경산칼데라 북쪽 구수천 계곡을 따라 국부적으로 분포하는데 경산칼데라 내에 노출되는 화산암류 중에서 최하부의 것으로 판단된다(Fig.1). 야외조사에서 발견되는 용암류, 크링크, 기공 등의 특징으로 분출암으로 해석된다.

석정온천 앞과 경북외국어대에서 각 노두별로 시료를 채취한 결과, 응회질암과 안산암이 교호하는데 경북외국어대에서는 7매, 석정온천 앞에서는 3매의 용암류가 산출된다. 각 안산암 용암류 내에서는 그 상부 및 하부에 행인상구조가 잘 발달되어 있으며 용암류 사이에는 클링크(clinker)로 인식되는 동질의 각력층이 개재되어 있어서 단위 용암류의 식별이 용이한 것이 안산암 I의 야외적인 특징이 될 수 있다.

안산암질 응회암

동부 칼데라지역에서는 남부로 갈수록 두껍게 발달하고 있는 것을 볼 수 있으며 칼데라 북부지역에서 구수천 계곡을 중심으로 동편에는 두껍게 서편에는 얇게 발달 된다. 본 암은 자색바탕에 녹색 및 암녹색, 적색의 안산암편과 흑색, 적색의 세일 암편이 포함되어 있

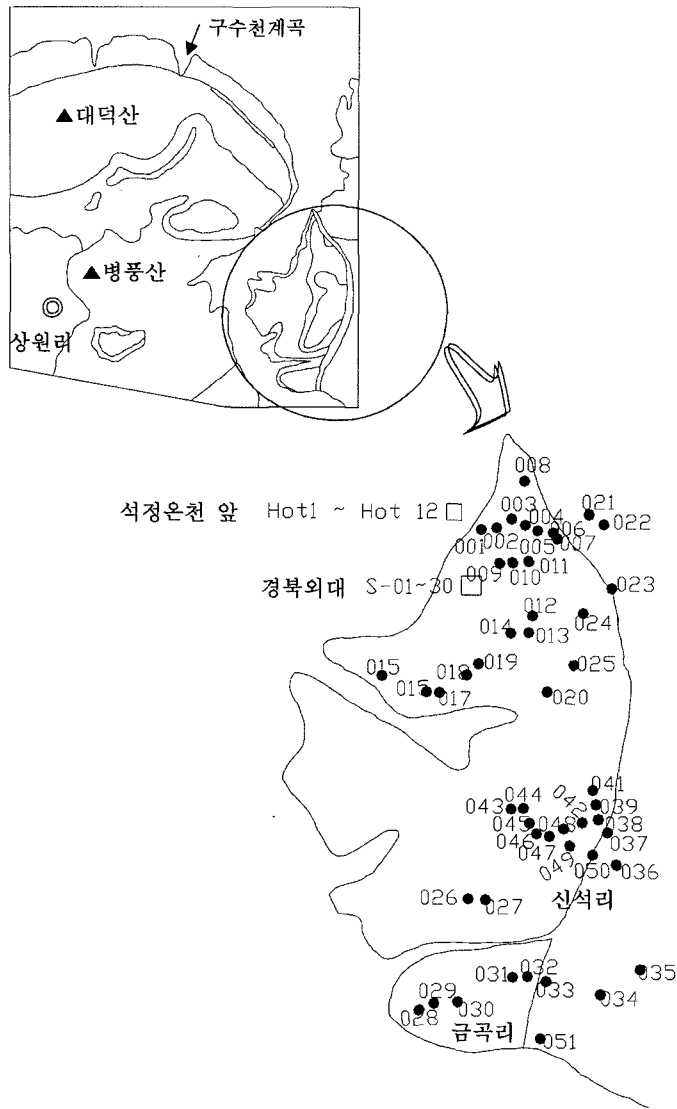


Fig. 1b. Sampling sites of the study area.

고, 전반적으로 풍화정도가 심하다. 안산암 역의 크기는 다양하나 전반적으로 최대 2cm에 달한다.

안산암 II

안산암 II는 대덕산 일대에 넓게 분포하고 있으며 동부칼데라 지역에 남북방향으로 나타나고 있다. 본 암은 안산암 I에 비해 적갈색기질에 사장석반정이 직사각형의 단면을 보이며 용암류, 클링커, 기공 등의 특징으로 미루어 분출암으로 해석된다. 본 암은 경산칼데라 내부에는 넓게 분포하고 있으나(Fig. 1) 경산칼데라 외부에는 분포하지 않는 것으로 미루어 경산칼데라 형

성 후 재분출한 것으로 사료된다. 신석리 일대에서는 소규모로 산출되며 한 매의 클링커가 관찰되고 있다.

안산암질 응회 각력암

안산암 II를 피복하고 있는 응회각력암은 기질이 흰색, 붉은색, 청색 등 다양하고 역 또한 다양한 크기와 종류로 산출된다. 각력은 적색의 퇴적암역, 적색 및 녹색의 안산암질암 등으로 주로 구성되며 수 mm에서 최대 직경 30cm 정도까지 다양한 크기의 각력이 혼재한다.

Table 1. Modal analyses for the volcanic rocks in the study area (in vol. %).

	Sample No.	Phenocryst				Opaque	Rock frag.	Groundmass	Others
		OI	Pl	Px					
Andesite I	1		3.9	1.0	0.2		81.8	13.1	
	S-01	1.6	23.9	1.8	1.5		67.2	4.0	
	S-04	0.4	15.1	1.6	0.4	3.0	71.4	8.1	
	S-09	9.1					90.3	0.5	
	S-23	6.9			1.5		85.6	6.0	
	Hot-03	3.3	29.0	0.5	0.3		66.7	0.2	
	Hot-6L	1.2	12.8	0.1	0.1		82.1	3.7	
Andesitic tuff	13	3.3	24.8	2.5	0.7		68.2	0.5	
Andesite II	12		20.5	1.0		0.1	75.9	2.5	
	14		15.5	0.3	0.9		81.3	2.0	
	3	1.0	16.8	1.4		1.0	79.3	0.5	
	4		3.8	0.3	0.7		84.1	11	
	5		31.4	5.2	1.8		59.3	2.3	
	6		30.8	0.1	1.9		65.0	2.2	
	43		20.1		0.2		70.2	9.5	
Andesitic tuff breccia	20		1.7	3.2	12.7	65.4	8.0	9.0	

	Sample No.	Phenocryst				Opaque	Rock frag.	Groundmass	Others
		Qtz	Pl	Hb	Bi				
Andesitic porphyry	J-23		31.6			1.5		64.3	2.5
	10		23.4		0.2	0.5		71.8	3.9
	19		17.2	0.4	0.4	0.3		75.2	6.5
	22	0.4	28.3	1.5		3.2	0.9	63.5	2.2
	32		26.5	2.8		0.7		68.2	1.8

※ Others represent quartz and calcite veinlets and amygdules.

안산반암

암산암류들을 관입 접촉하고 있는 안산반암은 병풍산 상부에서부터 서쪽에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며 구수천 계곡 상단 꼭저부에 소규모로 노출된다. 야외에서 반상조적이 매우 뚜렷하게 나타나는 데 직경 1 내지 5 mm 정도의 직사각형의 형태의 사장석 반정이 빈번히 관찰된다.

맥암류

연구 지역의 칼데라에는 규장암이 칼데라 경계부를 따라 무리를 이루며 관입하여 환상암맥을 이루고 있는데 그 폭이 최대 100 m에 달하는 곳도 확인된다. 이외에도 칼데라 내에 작은 규모의 맥암으로도 산재하는데 이들 성분은 규장암 및 안산암질로 산출되며 안산암질 암맥이 규장암맥과 거의 같은 방향으로 관입하고 있는 것도 발견된다. 주변의 자인층을 거의 수직방향으로 관입하여 접촉부에서는 호온펠스화 하였다.

현미경적 암석기재

연구 지역에서 채취한 암석 중 80개의 시료를 박편으로 제작하여 편광현미경하에서 구성광물, 조직, 변질 상태 등을 관찰하였다. 연구 지역의 화산암류는 정도의 차는 있으나 대체로 심한 변질작용을 겪어 마그마기원의 결정과 조직이 상당히 훼손되어 있으므로 결정의 잔류조직과 교대된 광물 구성을 토대로 개략적으로 추정하였다. 반정광물은 휘석, 사장석으로 주로 구성되고 산출되고 곳에 따라 감람석이 수반된다. 감람석의 경우 대개 변질이 심하며 결정의 외곽과 깨진 틈을 따라 적철석이 농집되어 있으며, 감람석에 비해 상대적으로 안정한 휘석과 사장석의 경우도 적철석, 녹니석, 방해석 등으로 교대 혹은 변질되어 있다.

안산암 I

암석화학적 측면에서는 현무암질에 가까운 안산암

Table 2a. Chemical analyses of the volcanic rocks in the study area.

	Andesite I									Andesitic Tuff				
	s-23	s-28	s-29	s-30	hot-03	hot-61	hot-7u	hot-09	1	13	15	16	17	29
SiO ₂	48.33	42.83	51.75	47.86	49.83	53.58	53.04	52.92	55.85	53.24	48.26	61.84	59.37	56.07
TiO ₂	1.32	1.38	1.38	1.25	1.16	1.21	1.22	1.07	1.29	1.13	1.08	0.88	0.52	0.94
Al ₂ O ₃	16.32	16.17	15.28	17.14	17.06	16.73	16.79	16.83	17.48	18.20	16.85	19.09	15.99	17.45
Fe ₂ O ₃	4.76	7.74	8.06	7.17	3.25	2.28	2.67	3.25	6.98	6.67	5.21	3.11	3.95	5.49
FeO	4.56	1.46	0.95	2.60	5.73	6.32	7.17	5.19	3.11	2.65	2.31	2.62	1.74	1.69
MnO	0.16	0.13	0.12	0.11	0.18	0.13	0.17	0.10	0.13	0.18	0.10	0.01	0.11	0.10
MgO	5.25	3.59	2.73	4.65	3.50	2.38	2.38	2.01	1.96	3.41	5.61	0.84	1.22	3.21
CaO	8.83	9.81	6.47	9.29	10.06	6.80	3.69	8.64	4.79	7.14	8.63	0.13	4.67	4.37
Na ₂ O	2.32	3.39	2.75	3.33	2.92	3.13	3.91	2.89	4.20	3.70	3.12	1.98	4.06	2.45
K ₂ O	0.63	0.91	1.49	0.53	0.91	2.20	1.40	1.63	1.08	1.38	0.45	2.45	1.95	5.20
P ₂ O ₅	0.53	0.47	0.45	0.52	0.35	0.40	0.39	0.28	0.40	0.30	0.39	0.04	0.22	0.20
CO ₂	3.69	7.41	4.61	2.77	2.44	1.93	1.84	2.91	-	-	2.33	-	2.61	-
H ₂ O	3.32	4.78	4.03	2.77	2.70	3.06	5.06	2.18	2.86	1.93	3.73	4.62	3.62	2.85
Total	100.02	100.07	100.07	99.99	100.09	100.15	99.73	99.90	100.13	99.93	98.07	97.61	100.03	100.02
S	12.9	128.7	8.5	10.7	9.1	16.3	45.7	9.6	39.6	13.1	14.1	23080.7	104.2	27.5
Ba	307.1	416.8	423.8	446.3	552.8	557.1	282.5	702.1	591	592.9	316.7	-	430.8	1204.6
Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	-	-	9.6	-
Cr	73.9	78.9	153.4	121.5	17.2	11.2	34.2	6.4	-	-	148.4	91.2	-	136.2
Cu	26.6	33.6	35.3	53.4	37.7	28.6	63.1	31.1	38.2	30.7	65.4	24.3	14.4	31.1
Nb	9.9	10.3	10.9	13.9	7.9	7.2	5.3	7.8	7.1	6.2	7.2	-	4.5	8.1
Ni	67	76.5	63.4	86.0	30.6	15.5	15.9	24.8	16.9	26.1	92.9	15.8	8	35.5
Rb	19.2	24.7	28.9	14.8	22.1	48.4	69.4	38.5	25.8	34.2	13.6	64.7	73.1	158.7
Sc	36	37.1	39.2	44.6	41.8	141.4	44.5	38.3	42.7	38	41.7	-	22.8	35.4
Sr	527.1	600.3	286.4	682.6	518.1	476.9	375.4	456.6	562.8	610.1	591.1	151.4	227.8	370.6
V	193.5	210.3	154.3	250.5	277.8	233.5	260.5	247.6	263.2	257.9	212.5	115.5	61.5	216.8
Y	39.8	38.7	30.6	36.1	35.6	43.5	44.2	37.8	49.8	50.8	28.3	69.4	34.3	42.4
Zn	74.6	75.3	64.8	84.3	90.8	90.8	100.6	81.9	93.3	95.9	86.3	53.6	93.9	99.3
Zr	187.5	162.1	144.6	176.7	160.6	195.6	184.6	170.7	190.2	168.8	158.5	154.4	195.5	187.5

I은 경하에서 주로 반상조직을 보이며 반정광물로는 사장석, 감람석, 휘석 등이 관찰된다. SiO₂ 함량이 낮은 현무암질 안산암에서는 반정광물로 상당량의 감람석이 산출된다. 석기의 대부분은 미립의 사장석으로 일정한 방향을 향해 놓여 있는 조면암질 구조가 나타난다. 사장석 반정은 1 mm 정도의 래스(lath) 상으로 알바이트 쌍정을 나타내며 소광각이 25° 내지 30° 로 안데신과 라브라도라이트에 속하며 일반적으로 쏘수라이트화되어 있다. 감람석 반정은 대부분이 이딩사이트화(jiddingsite)되어 있다. 기공을 메우는 행인상 조직이 다수 관찰되는데 외곽에서 중심으로 가면서 칼세도니, 녹니석, 방해석 순으로 충전되어 있다. 모드분석 결과, 반정과 석기의 비율에서 반정이 5% 내지 30% 정도 차지한다 (Table 1). 이는 분별결정작용의 정도가 다양하게 일어났음을 시사한다.

금곡리 부근, 경산 칼데라 동남쪽 경계 밖의 표준고도 350 m 가량의 산능부에서는 녹색 안산암질 응회암이 자인층 위에 소규모로 분포하는데 경하에서 조면조직을 보이는 안산암 각력을 포함한다. 이 응회암층은 주사산 안산암질암류의 최하부에 놓이는 안산암질 응회암 내지 각력암과 층서적으로 대비될 수 있겠으나 양자는 멀리 격리 되어 있어서 증명할 수는 없다. 칼데라 내에서는 이와 대비될 만한 녹색 안산암질 응회암이 노출된 곳이 발견되지 않는다.

안산암질 응회암

응회암에서는 반정광물로 사장석과 휘석 및 감람석이 산출되며 방해석, 녹니석 등으로 변질이 되어 있다. 사장석과 휘석반정은 일반적으로 외형이 파쇄된(cataclastic) 형태를 보이는데 이는 이들 응회암이 격렬한

Table 2. (continued)

	Andesite II											Tuff Andesitic Tuff Breccia			
	3	4	6	11	12	13	14	23	24	42	43	20	45	47	49
SiO ₂	63.38	66.63	57.97	68.98	54.63	60.86	48.50	56.33	61.61	60.33	64.18	69.88	63.98	56.02	50.75
TiO ₂	0.70	0.64	0.96	0.70	1.13	0.54	0.99	0.96	0.45	0.77	0.75	0.64	0.93	1.08	1.05
Al ₂ O ₃	16.95	15.60	16.41	14.71	17.51	16.79	15.57	17.87	15.10	16.25	14.17	14.39	15.66	16.69	16.07
FeO	1.06	1.20	3.33	0.99	3.38	3.65	4.79	3.91	2.51	2.41	2.30	0.78	1.41	3.11	5.32
Fe ₂ O ₃	4.00	2.80	4.21	2.69	4.57	3.63	3.69	1.96	2.12	3.98	2.31	3.19	4.59	5.09	3.17
MnO	0.08	0.07	0.11	0.07	0.13	0.11	0.14	0.09	0.17	0.11	0.09	0.06	0.13	0.12	0.20
MgO	0.83	0.52	2.90	0.48	2.18	1.95	4.17	4.03	0.99	2.27	1.16	0.25	1.04	1.62	3.93
CaO	1.56	1.41	5.70	1.24	6.97	1.86	7.58	5.43	4.48	2.61	3.85	1.57	1.80	5.96	4.65
Na ₂ O	5.73	4.20	3.30	4.48	3.86	2.90	2.75	5.82	4.68	4.00	2.53	4.54	5.60	3.03	4.35
K ₂ O	3.84	5.11	2.76	4.61	1.65	2.39	1.59	1.78	2.83	4.32	2.61	3.38	2.45	2.72	2.01
P ₂ O ₅	0.19	0.15	0.23	0.14	0.31	0.23	0.26	0.23	-	0.20	0.32	0.22	0.31	0.31	0.29
CO ₂	-	-	-	-	0.54	0.82	5.49	-	2.98	0.18	2.13	-	-	1.74	2.25
H ₂ O	1.54	1.51	2.20	0.87	3.16	2.20	4.49	1.57	1.94	2.39	3.48	1.00	1.91	2.61	1.55
Total	99.86	99.84	100.08	99.96	100.02	97.93	100.01	99.98	99.86	99.82	99.88	99.90	99.81	100.10	95.59
S	39.8	3.8	28.4	-	-	39.5	17.5	-	2.1	-	38.4	-	20.6	38.3	33.5
Ba	1070	905	468.4	807.5	519.3	959.6	646	328.4	420.9	1199.7	430.4	757.7	612.1	517.7	414.2
Cl	-	-	-	-	-	-	-	211.8	-	-	-	-	-	-	-
Cr	92.9	26	44.7	-	6.1	-	7.2	-	10.7	60.2	64	92.5	7.0	51.2	28.7
Cu	22.5	27.1	74	23.7	62.1	12	33.9	34.6	14.2	23.9	17.3	24.2	22.5	29.9	92.2
Nb	10	12.3	7.9	14.6	7	2.5	2.3	3.6	5.3	7	5.4	9.5	7.7	6.8	7.1
Ni	13.1	14.3	26.3	14.9	15.9	10.8	17.2	20.4	9.8	15.9	10.7	13.9	12.7	25.8	31.1
Rb	88.2	156.1	90.9	126	35.8	69.2	49.8	71.2	79.1	141	59.9	82.6	68	103.6	62
Sc	24.7	21.3	32.3	21.9	17.2	37.2	22.7	31.4	20.4	29	23.4	22.3	25.8	37.8	37.7
Sr	283.4	171.4	393.6	170.4	592.6	262.9	577.8	573.5	194.6	453.7	208	224.2	258.5	412.8	345.6
V	95.8	66.5	184.1	64.6	254.8	73.7	265.9	161	47.3	178.9	90.8	71.4	117.5	228.2	230.6
Y	46	56.2	40.2	65.9	32.3	88.9	47.5	32.3	51.4	31.7	43.2	44.8	50.6	36.4	14
Zn	99.7	84.1	90.8	52.6	86.1	109.3	77.2	37.7	125.7	122.5	64.8	41.4	124.2	73.5	257.7
Zr	283.3	364.3	196.5	409.6	177.3	211.5	127.6	97.3	209.5	175	197.8	244.2	219.2	159.2	159.8

분출작용에 의하여 형성되었음을 시사한다. 석기는 주로 사장석으로 되어 있고 변질작용으로 인하여 역은 방해석화 되어 있고 불투명광물도 산재해 있다.

안산암 II

암녹색의 안산암 I과 달리 안산암 II는 주로 적색을 띠고 있다. 반정광물로 큰 사장석 반정과 휘석 반정을 상당량 포함하는데 사장석 반정은 불투명 광물로 교대되어 있거나 소수라이트화 작용을 받았다. 석기는 주로 미립의 장방형 사장석으로 구성되며 일반적으로 이들은 일정한 방향을 나타내어 유동구조를 보여준다. 모드분석결과, 반정이 전체의 5% 내지 30%를 차지하여 안산암 I과 유사하나 사장석 반정이 상대적으로 많은 부분을 차지한다(Table 1).

안산암질 응회 각력암

응회 각력암은 다량의 암편과 반정을 함유하고 있으며 암편으로 안산암질암과 세일이 주로 관찰되고 반정은 주로 사장석으로 관찰된다.

안산반암

안산반암의 반정은 사장석, 휘석, 각섬석 등이 관찰된다. 사장석 반정은 소광각이 약 9.5°로서 그 성분이 알바이트에 해당되며 누대구조가 발달하고 있다. 반정 광물들은 변질작용을 심하게 겪은 것으로 보이는데 사장석에는 소수라이트화 작용이, 휘석 및 각섬석에는 녹염석화 작용이 빈번히 관찰된다. 반정의 함량은 18% 내지 30% 정도 차지한다.

Table 2. (continued)

	Andesitic Porphyry						Dike Rocks								
	10	J-20	J-23	32	19	22	21	22	26	32	36	37	39	50	51
SiO ₂	64.66	66.82	64.07	66.71	67.42	62.43	75.46	71.49	75.89	77.96	52.08	51.57	52.67	75.23	73.48
TiO ₂	0.57	0.43	0.57	0.34	0.13	0.66	0.15	0.16	0.00	0.12	1.08	1.20	1.42	0.15	0.29
Al ₂ O ₃	15.87	16.04	15.63	16.11	16.02	16.76	13.54	15.82	13.03	12.02	17.63	17.01	16.58	12.50	13.33
Fe ₂ O ₃	1.87	2.28	1.62	1.05	0.04	3.13	0.38	0.38	0.45	0.12	3.00	5.03	5.07	0.23	0.39
FeO	1.95	1.99	2.72	2.83	3.01	2.24	1.00	1.19	0.96	0.96	5.80	4.78	5.81	1.19	2.41
MnO	0.08	2.10	0.11	0.10	0.03	0.11	0.04	0.01	0.02	0.02	0.08	0.18	0.19	0.02	0.02
MgO	0.64	1.08	1.00	1.07	0.69	1.08	0.25	0.44	0.26	0.25	3.62	3.33	3.49	0.82	0.48
CaO	3.33	2.15	2.79	3.33	2.17	4.15	0.04	0.05	0.11	0.11	5.78	6.69	5.76	0.19	0.16
Na ₂ O	3.90	3.75	4.04	3.35	3.14	4.14	2.27	0.56	3.21	2.96	5.72	3.66	4.09	2.40	3.40
K ₂ O	3.42	2.75	3.44	2.90	4.02	2.78	4.79	7.47	4.90	3.92	2.21	1.91	0.96	5.92	5.40
P ₂ O ₅	0.17	0.07	0.18	0.08	0.04	0.23	-	0.01	0.03	0.03	0.24	0.31	0.37	0.02	0.05
CO ₂	1.91	2.16	1.31	1.31	2.06	1.42	-	-	-	0.08	0.75	1.56	0.10	-	-
H ₂ O	1.03	-	1.00	0.08	0.75	0.61	1.72	2.31	0.89	1.19	1.55	2.81	3.62	1.13	1.00
Total	99.40	101.62	98.48	99.26	99.52	99.74	99.64	99.89	99.75	99.74	99.54	100.04	100.13	99.80	100.41
S	41.7	1461.5	19.6	19.6	22.3	18.2	14.3	19.1	-	63.3	2029.1	28.9	106.3	29.1	9.7
Ba	693.7	456.1	613.8	552.2	625.5	762.7	682.2	946.3	701.2	655.5	226.8	508.4	200.1	733.7	1199.7
Cl	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	815.1	-	-	-	1.9
Cr	26.6	50.5	51.4	44.4	129.4	34.3	-	17.1	-	67.6	-	-	-	187.4	434.3
Cu	18.8	61	23.6	17.9	16.4	19.4	16.4	12.3	20	35.1	31.2	51	51.1	23.5	23.9
Nb	7.8	9.7	7.6	8	7.7	6.7	10.4	12.1	12.1	9.6	4.4	6.3	8.2	13.9	9.3
Ni	12	25.9	14.1	11.1	12.3	11.6	9.7	12.1	11.3	13.3	16.1	15.9	19.6	15.1	15.7
Rb	91.4	33.4	23	21.4	19.7	23.7	159.6	281.6	168.1	129.6	91.7	51.2	29.2	202.2	104.6
Sc	21.6	33.4	23	21.4	19.7	23.7	12.1	9.9	12.7	10.4	38.7	44.2	47.3	14.6	17.2
Sr	365.8	445.5	358.4	359.6	349.2	467.4	36.8	41.4	72.9	68.6	627	419.9	531.2	137.3	86.5
V	106.6	210.2	100.2	104.3	88.5	109.2	18.7	27.8	19.2	13.6	241.4	288.6	318.4	21.1	36.3
Y	28.1	46.2	21.3	29.9	23.2	30.8	14	15.3	21.7	18.4	38.7	28.8	44.5	21.3	20.6
Zn	51	95.1	62.5	62.9	117.3	71.2	35.6	53.4	56.4	37.5	52	149.6	140.4	30.7	77
Zr	186.6	253	188.9	181	183.1	179	107.5	146.1	127.7	107.9	135.5	150.1	183.9	136.8	210.8

규장암

규장암은 대체로 반상조직을 보이는데 미립의 사장석, 석영 등의 치밀한 석기에 반정으로 정장석, 사장석, 및 백운모 등이 산출하고 있다.

암석화학

암석화학 분석자료

연구지역의 구성성분 및 암석분류, 암석계열, 마그마 분화경향, 암석기원 등의 암석화학적 특징을 알아보기 위하여 70여개의 시료에 대한 주성분과 미량원소를 분석하고 16개의 시료에 대하여 희토류 원소를 분석하였다(Table 2). 단일 노두 범위 내에서의 총서적인 암석 화학적 변이를 조사하기 위하여 경북외국어대와 석정온천의 두 지역의 시료에 대하여 주원소와 미량원소 분

석을 실시하였다(Table 3).

마그마 계열

연구지역에 분포하는 안산암질암류의 주원소는 일반적으로 SiO₂가 증가함에 따라 K₂O, Na₂O 등은 증가하고 CaO, MgO, FeO* 등은 감소하는 경향을 보인다(Table 2, Fig. 2). SiO₂의 함량에 따른 화성암의 분류로 볼 때 염기성 내지 중성 화성암에 속하며 안산암 I의 SiO₂ 함량은 43 내지 56% 정도로 현무암 내지 현무암질 안산암이나 안산암 II는 49 내지 69% 정도로 안산암 I에 비하여 넓은 분포를 보여주고 있다. 주원소 산화물을 비교해보면 TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, P₂O₅에 있어서는 안산암 I이, SiO₂와 K₂O에 있어서는 안산암 II가 더 많이 함유되어 있음을 볼 수 있다(Table 2). TAS(K₂O + Na₂O와 SiO₂) 상관도에 따라 화성암을

Table 2b. Rare earth element analyses of the volcanic rocks in the study area.

	Andesite I					Andesitic Tuff	Andesite II			Dike Rocks						
	s-30	hot-03	hot-6l	hot-7u	1		29	3	4	6	11	43	21	26	36	50
La	20.5	18.6	23.8	23.5	23.8	23.8	20.6	13.5	18.1	25.5	25.9	24.1	46.8	10.5	28.4	23.7
Ce	14.3	11	11.8	12.2	9.2	10.2	16.2	8.3	11.3	15.3	9.7	13.5	14.2	6.2	10.5	13.8
Pr	6.2	5.5	6.9	6.7	6.7	6.6	6.7	4.3	5.2	7.6	6.9	4.7	11.1	3.0	5.3	6.0
Nd	24.6	22.1	26.9	26.6	26.9	24.8	26.4	16.8	20	28.7	26.4	13.9	32	12.8	15.7	20.8
Sm	5.9	5.3	6.4	6.3	6.6	6.2	6.2	4.2	5.1	7.0	5.8	2.3	6.3	3.4	2.7	4.2
Eu	1.6	1.4	1.6	1.6	1.7	1.3	1.3	0.7	1.1	1.2	1.3	0.3	0.9	0.8	0.5	0.7
Gd	4.8	4.5	5.3	5.2	5.7	5.2	4.9	3.5	4.4	5.6	4.9	1.8	4.3	3.1	2.1	3.1
Dy	3.9	4.0	4.6	2.3	4.9	4.9	4.4	3.4	4.0	5.0	3.5	1.4	3.5	2.9	1.6	2.1
Ho	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.8	0.9	0.6	0.3	0.5	0.6	0.3	0.4
Tm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.07	0.1	0.1	0.08	0.09
Yb	0.8	0.6	0.9	0.6	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3

Table 3. Chemical analyses of volcanic rock of two stratigraphic sections in the study area.

	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06	S-07	S-08	S-09	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16
SiO ₂	53.00	54.68	71.94	66.95	78.19	67.81	64.99	45.34	44.86	40.44	41.25	44.38	43.38	47.71	42.78	52.80
TiO ₂	1.10	1.19	0.36	0.81	0.50	0.55	0.59	1.24	1.36	1.28	0.99	1.46	1.58	1.34	1.34	1.11
Al ₂ O ₃	17.54	16.64	14.98	15.89	10.82	14.47	15.23	15.95	17.37	17.16	13.91	19.34	20.34	17.71	17.17	14.23
FeO	2.45	3.55	1.08	0.85	1.56	0.85	1.15	3.35	3.75	3.96	1.70	2.95	1.57	2.95	2.26	1.55
Fe ₂ O ₃	6.73	5.34	2.12	4.34	1.48	3.07	2.77	5.38	6.40	5.30	6.21	7.11	8.85	6.41	7.26	7.63
MnO	0.13	0.16	0.02	0.07	0.07	0.07	0.11	0.21	0.17	0.27	0.22	0.12	0.08	0.11	0.19	0.16
MgO	3.00	2.48	0.59	0.77	0.38	0.64	0.81	3.58	5.68	5.23	2.54	3.44	3.37	3.91	4.40	3.33
CaO	5.65	5.59	0.05	0.46	0.35	2.94	3.23	8.85	7.27	9.70	13.56	7.76	5.48	6.47	10.04	7.86
Na ₂ O	4.85	3.72	1.32	4.00	3.78	3.08	3.22	3.07	2.73	3.68	2.15	3.85	3.65	3.46	3.45	2.39
K ₂ O	1.37	1.99	2.88	2.92	1.14	2.60	2.90	1.93	1.64	0.83	1.77	1.71	1.84	0.97	0.96	0.81
P ₂ O ₅	0.31	0.38	0.02	0.21	0.14	0.13	0.14	0.52	0.54	0.55	0.45	0.57	0.69	0.54	0.54	0.35
CO ₂	0.26	1.51	-	-	0.09	1.59	1.90	7.00	4.11	6.46	11.27	4.40	3.40	3.53	5.91	4.74
H ₂ O	3.27	2.79	4.47	2.51	1.43	2.11	2.82	3.65	4.09	5.30	4.03	3.15	5.88	4.82	3.86	3.15
Total	99.66	100.02	99.83	99.78	99.93	99.91	99.86	100.07	99.97	100.16	100.05	100.24	100.11	99.93	100.16	100.11
S	46.3	15.3	60.7	52	-	1.1	28.2	325	78.6	60.2	91.6	60	31.1	32.4	32.2	53.9
Ba	580.1	807.4	465.1	673.8	341.6	438	666.2	971.1	391.3	393.6	429.2	590.4	679.7	466.5	425.1	369.2
Cl	22.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	48.3	-	-	-	88.6	36.2	-	199.3	147	204.7	70.5	192.7	192	190	176.2	82.7
Cu	49.7	29.7	14.4	23.8	50	25.5	19.2	21.8	38.3	25.7	27.5	40.3	27.7	31.3	33.9	34.5
Nb	5.8	7.9	5.4	11.2	12.1	14.2	12.8	10.8	10.5	10.5	10.5	11	9.8	8.9	9.8	9.6
Ni	28.1	16.1	9.8	17.7	16.7	18	12.4	119.1	128.9	96.4	91.4	99.9	149.4	90.3	104.1	68.5
Rb	34.6	40.6	99.5	101.3	32.5	82.6	91.8	55.8	46.2	26.5	41.8	43.5	48.6	28.2	25.6	21.7
Sc	42.1	24.1	15.2	26.3	19.9	23.6	24	38.9	37.8	39.8	41.1	39.1	39.2	39.2	38.2	37.5
Sr	541.4	505.9	58.4	211.1	244.9	242.4	282.2	479.7	406.9	482.9	415.7	523.9	448.5	441.8	420.3	406.2
V	263.1	255.3	50.3	86.2	38.6	51	63.7	261.9	240.5	231	149.7	258	291.8	257.5	237	173.6
Y	34.3	40.6	21.4	50.6	74	60.2	63.2	40	43	38.6	42	38.5	51.4	37.4	37.7	33.4
Zn	92.5	107.3	57.7	92.1	57.9	74.6	83	85.1	92.8	114.1	59.6	84.7	91.5	85.7	94.8	76.9
Zr	164	187.9	191.3	334.3	313.7	384	391.4	179.3	183.8	179.4	157	186.2	190.8	177.9	174.3	163.6

Table 3. (continued)

	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	S-23	S-24	S-25	S-26	S-27	S-28	S-29	S-30	Hot-12	Hot-11
SiO ₂	42.48	42.79	37.97	48.67	46.38	49.01	48.38	41.53	46.79	42.49	44.85	42.83	51.75	47.86	52.58	49.68
TiO ₂	1.39	1.43	1.11	1.23	1.39	1.25	1.32	0.95	1.06	1.57	1.39	1.38	1.25	1.45	1.01	0.99
Al ₂ O ₃	17.13	17.94	14.40	15.72	18.01	17.43	16.32	12.93	14.11	20.20	17.56	16.17	15.28	17.14	15.87	16.25
Fe ₂ O ₃	5.48	6.34	7.10	5.37	5.09	8.70	4.76	3.04	7.39	11.59	6.82	7.74	8.06	7.17	1.54	2.26
FeO	3.88	3.45	2.49	3.66	2.29	1.28	4.56	2.51	1.23	0.97	3.55	1.46	0.95	2.60	5.26	5.63
MnO	0.20	0.10	0.27	0.17	0.17	0.13	0.16	0.25	0.17	0.09	0.12	0.13	0.12	0.11	0.12	0.21
MgO	4.13	5.90	3.84	4.70	3.81	2.83	5.25	2.93	3.84	4.70	3.81	3.59	2.73	4.65	2.11	2.86
CaO	10.52	6.64	13.23	7.95	8.07	6.41	8.83	15.52	12.29	6.18	6.56	9.81	6.47	9.29	6.80	8.90
Na ₂ O	3.08	4.16	2.82	3.30	3.74	2.81	2.32	2.16	2.56	3.98	3.09	3.39	2.75	3.33	2.95	3.01
K ₂ O	0.97	0.29	0.72	0.54	0.96	1.52	0.63	1.04	1.08	1.72	0.78	0.91	1.49	0.53	1.60	1.90
P ₂ O ₅	0.47	0.54	0.42	0.53	0.62	0.39	0.53	0.44	0.42	0.82	0.58	0.47	0.45	0.52	0.27	0.30
CO ₂	6.43	4.66	10.85	4.62	4.87	3.77	3.69	10.09	7.02	3.73	3.16	7.41	4.61	2.76	4.48	4.84
H ₂ O	3.90	5.84	4.73	3.69	4.65	4.54	3.32	3.51	2.92	4.75	5.06	4.78	4.03	2.77	5.38	3.22
Total	100.06	100.08	99.95	100.15	100.05	100.07	100.07	96.90	100.88	102.79	97.33	100.07	99.94	100.18	99.97	100.05
S	61.2	43.8	67.9	31.2	43.7	44.4	12.9	50.7	82.3	57.5	90.6	128.7	8.5	10.7	37.9	60.3
Ba	390.1	311.5	322.8	335.4	479.6	652.9	307.1	406	433.6	772.8	409.8	416.8	423.8	446.3	456.3	431.1
Cl	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	145.8	180.8	123.3	128.3	59.3	116.2	73.9	47	73.7	143	65.7	78.9	153.4	121.5	49.4	13.3
Cu	22.7	12.7	56	76.3	42.4	28.5	26.6	42.9	36.6	40.3	25.5	33.6	35.3	53.4	37.5	21.4
Nb	8.2	6.7	11	10	10.4	10.3	9.9	9.3	9.3	8.7	9.4	10.3	10.9	13.9	2.8	4.5
Ni	73.5	104	88.4	59.4	48.7	77.2	67	64	64.6	77.1	76.9	76.5	63.4	86	15.8	15.5
Rb	25.1	10.4	24.2	16.7	25.5	39.5	19.2	27.8	25.1	39.7	21.8	24.7	28.9	14.8	53.7	69.7
Sc	34.9	36.3	40.8	35.7	33	39.9	36	36.5	36.3	45	37.3	37.1	39.2	44.6	33.1	33.3
Sr	461.7	386	504.6	419.6	604.8	444.2	527.1	517.4	406.3	576.7	473.1	600.3	286.4	682.6	344.1	354.4
V	236.9	255	230.3	211.1	227.5	233.7	193.5	157	176.9	297.3	237.7	210.3	154.2	250.5	227.5	212
Y	36.5	35.4	37.9	34.7	43.4	36.8	39.8	40	37.1	80.8	42.8	38.7	30.6	36.1	33.7	43
Zn	79.9	98.7	78.9	89.9	84.7	75.4	74.6	65.2	61.9	81.8	92.8	75.3	64.8	84.3	74.9	79.9
Zr	154	161.4	155	178.8	206	184	187.5	169	164.3	182.4	191.1	162.1	144.6	176.7	153.2	150.8

분류하면, 안산암 I는 현무암에서 현무암질 안산암의 영역에 점시되나 안산암 II는 현무암에서 데사이트 및 조면암에 이르는 넓은 범위를 보여주면서 안산암 II가 다소 높은 알칼리 함량변화를 보여준다(Fig. 2).

연구지역의 화산암류는 Peacock의 알칼리-라임 지수가 54% 정도로 알칼리-칼크계열에 속하며, 슐레이트 계열과 비슐레이트 계열의 특성을 잘 보여주는 AFM (MgO-FeO*-(Na₂O + K₂O))삼각도에 의하면 분화가 진행됨에 따라 알칼리는 농집되나 철분의 농집 현상을 보이지 않는 비슐레이트 계열의 분화경향을 따르고 있다(Fig. 3). 안산암 I은 조기 분화물에 도시되고 안산암 II와 안산반암은 알칼리가 부화된 후기분화물의 경향을 보여주는 방향으로 분화가 진행되고 있다. SiO₂ 대 Total alkali/(total alkali + CaO)의 상관도(Fig. 4)에서 안산암 I은 칼크알칼리영역에 도시되나 안산암 II는 칼크알칼리영역 뿐 아니라 칼크알칼리와 알칼리의 경

계부에 도시된다. 이는 안산암 II가 안산암 I보다 알칼리의 부화가 큰 것으로 나타난다. 이러한 현상은 안산암 I과 II가 지각의 혼염정도를 달리하고 있으며 안산암 II가 안산암 I보다 그 정도가 더 큰데 그 원인이 있을 수 있으나 이들이 기원마그마를 달리 한테에도 기인 할 수도 있을 것이다. (K₂O/Na₂O)와 (Na₂O + K₂O)의 변화도 유사한 경향을 보이는데 안산암 I은 K₂O/Na₂O에서 I보다 작은 반면 안산암 II는 I보다 큰 것으로 보아 안산암 I과 안산암 II의 분화정도가 달리한 것으로 안산암 II의 분화가 더 많이 진행된 것으로 해석 된다.

주원소에 따른 마그마계열은 칼크알칼리계열과 알칼리의 계열에 도시되는 것을 볼 수 있다. 주원소는 이동성이 큰 원소이므로 저변성작용이나 변질작용을 받는 경우 기원마그마의 성분을 잘 보존하지 못하는 것이 보통이다. 그러나 이동성이 적은 미량원소는 암석

Table 3. (continued)

	Hot-10	Hot-09	Hot-08	Hot-03	Hot-04	Hot-05	Hot-6L	Hot-6U	Hot-7L	Hot-7U
SiO ₂	50.24	52.92	48.97	49.83	51.04	51.28	53.58	55.01	52.59	53.04
TiO ₂	0.95	1.07	1.19	1.16	1.22	1.31	1.21	1.19	1.16	1.22
Al ₂ O ₃	15.15	16.83	19.24	17.06	17.88	16.93	16.73	16.60	16.74	16.79
Fe ₂ O ₃	2.55	3.25	0.54	3.25	2.55	5.60	2.28	1.89	1.16	2.67
FeO	4.69	5.19	7.28	5.73	7.02	4.64	6.32	6.42	7.73	7.17
MnO	0.17	0.10	0.09	0.18	0.30	0.38	0.13	0.16	0.20	0.17
MgO	2.73	2.01	3.12	3.50	3.30	2.55	2.38	2.79	2.79	2.78
CaO	7.78	8.64	6.42	10.06	5.97	5.43	6.80	5.36	5.20	3.69
Na ₂ O	2.57	2.89	3.86	2.92	4.29	4.36	3.13	3.49	4.59	3.91
K ₂ O	1.87	1.63	1.75	0.91	0.85	1.57	2.20	1.62	1.29	1.40
P ₂ O ₅	0.29	0.28	0.32	0.35	0.36	0.42	0.40	0.39	0.35	0.39
CO ₂	5.90	2.91	2.73	2.44	0.97	1.97	1.93	1.13	2.08	1.84
H ₂ O	5.20	2.18	4.51	2.70	4.30	3.66	3.06	3.86	4.15	5.06
Total	100.09	99.90	100.02	100.09	100.05	100.10	100.15	99.91	100.03	100.13
S	67	9.6	43.1	9.1	18.6	14.6	16.3	38.4	51.4	45.7
Ba	430.4	702.1	389.6	552.8	225.8	320.3	557.1	602.7	314.1	282.5
Cl	-	-	-	-	1.6	-	-	-	-	-
Cr	-	6.4	15.4	17.2	51.3	1.7	11.2	51.2	17.1	34.2
Cu	40.8	31.1	46.6	37.7	22.8	32.2	28.6	32	77.3	63.1
Nb	4.2	7.8	4.1	7.9	4.3	9	7.2	6.6	6.8	5.3
Ni	15.1	24.8	14.5	30.6	26.7	17.4	15.5	15.7	15.4	15.9
Rb	59.8	38.5	61.8	22.1	33.9	70.2	48.4	33.7	52.4	69.4
Sc	32.1	38.3	33.9	41.8	37.6	44.6	41.4	37	44.5	41.4
Sr	283.8	456.6	431	518.1	529.2	478.9	476.9	458.7	439.3	375.4
V	230.9	247.6	250.4	277.8	260.9	268.8	233.5	234	248.9	260.5
Y	40.5	37.8	42.3	35.6	39	47.2	43.5	40.3	31.9	44.2
Zn	70.4	81.9	93.3	90.8	97.3	97	90.8	100.6	145.1	100.6
Zr	148	170.7	177.4	160.6	163.5	206.8	195.6	183.7	177.2	184.6

화학적 특징을 보다 더 잘 보존할 수 있기 때문에 주 원소에 의한 접근보다는 더 신뢰성이 높다. 이동성이 적은 Zr, Ti, Nb, Y 등의 미량원소를 사용하여 본 결과(Fig. 5) 본 암은 칼크알칼리계열에 도시된다. 따라서 본 암은 칼크알칼리계열의 안산암질 마그마가 분출되어 형성되었음을 알 수 있다. 유천소분지내에 분포하는 백악기 화산암류는 전반적으로 고-K 칼크알칼리 계열에 속한다는 연구결과가 널리 보고 된 바 있는데(김태형, 1988; 박진홍, 1990) 본 역의 안산암류도 이들 범주에 속함을 알 수 있고 이러한 암석화학적 특성은 상부지각물질에 의한 혼염작용 혹은 분출이후에 있었던 변질작용의 영향을 받으면서 이루어진 것으로 해석된다.

분화 양상

연구지역의 안산암질 암류의 주원소 산화물의 분화

경향을 알아보기 위한 일환으로 Larsen factor($1/3\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{CaO}$)에 따른 각 산화물의 변화 양상에 있어서 살펴보면 Larsen factor는 -6에서 25의 범위에서 변화하며 각 산화물들이 직선적인 증가와 감소 양상을 보여 준다(Fig. 6). 후기 분화물로 갈수록 MgO, CaO, FeO*의 구성비는 급격히 감소하고 알칼리가 증가하고 있음을 알 수 있다. 알칼리 중에서도 Na의 증가보다도 K의 증가가 두드러지는데 이러한 현상은 normative Ab-An-Or 삼각도(Fig. 7)에서도 잘 나타난다. Ab-An-Or 삼각도에서 안산암 1은 대체로 sodic series 영역에 점시되나 안산암 II로 갈수록 지각의 영향을 많이 받는 potassic series 영역에 우세하게 점시된다. SiO_2 & $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{alkalies})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}-\text{alkalies})$ 의 관계도(Fig. 8)에서는 칼크알칼리에서 알칼리로의 경향성을 보여 SiO_2 가 증가함에 따라, 즉 후기분화물로 갈수록 알칼리 장석의 결정화작용이 이루어지고 있

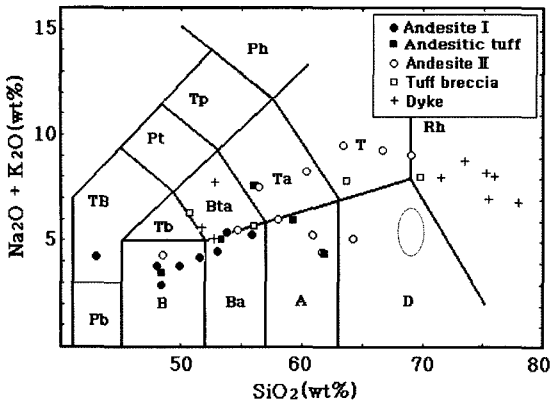


Fig. 2. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 variation diagram showing classification of major volcanic units. (after Le Bas, M. J. *et al.*, 1986). Rh: rhyolite, D: dacite, T: trachyte, A: Andesite, B: basalt, Ta: trachy-andesite, Tb: trachy-basalt, TB: tephrite/basanite, and Bta: basaltic-trachy-andesite. Dotted area: andesitic porphyry. Symbols-cross; andesite I, quadrangle; andesitic tuff, circle; andesite II, diamond; tuff breccia, and plus; dyke.

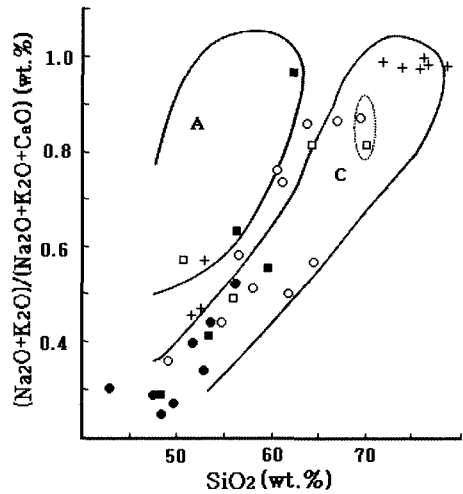


Fig. 4. Total alkali/(total alkali + CaO) versus SiO_2 diagram. Field-A: Alkaline, C: Calcalkaline. Symbols are the same as in Fig. 2. Dotted area: andesitic porphyry.

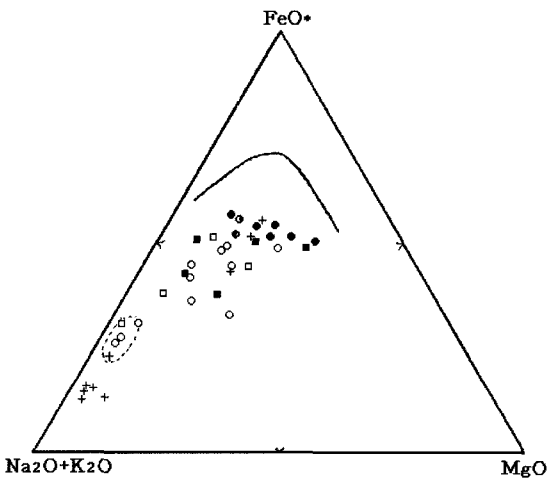


Fig. 3. AFM diagram of the volcanics in the study area. Symbols are the same as in Fig. 2. Dotted area: andesitic porphyry. $\text{FeO}^* = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$.

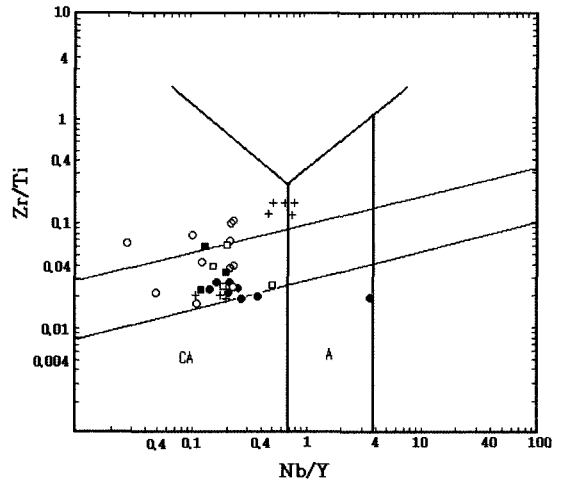


Fig. 5. Zr/Ti versus Nb/Y diagram (after Winchester and Floyd, 1977). Field-C: Calcalkaline, A: Alkaline. Symbols are the same as in Fig. 2.

음을 보여준다.

단일 노두 내에서의 총서적인 암석화학적 변이를 조사하기 위하여 경북외국어대와 석정온천의 두 지역에 시료에 대하여 주원소와 미량원소의 위치에 따르는 변화경향을 도시하였다(Fig. 9). 경북외국어대에서는 하부에서 중부(안산암 I)까지는 일정한 성분의 범위 내에서 변화하다가 상부(안산암 II)에서는 급격한 변화가 관찰된다. SiO_2 및 알칼리 함량은 증가하고 Ni, V, Sc,

TiO_2 는 감소한다. 이는 안산암 I에서는 분화가 거의 일어나지 않고 일정한 시간이 지난 후 안산암 II에서는 상대적으로 분화가 더 진행된 또는 지각의 영향을 더 많이 받은 마그마가 분출된 것으로 사료된다. 따라서 안산암 I과 안산암 II는 분출시기를 달리했음을 짐작케 한다. 석정온천 앞에서 채취한 시료는 하부에서 상부로 갈수록 주원소와 미량원소의 성분의 변화가 불규칙적으로 나타났다. 이는 외래암설(accidental clast)의 함유에 기인하는 것으로 해석되는데, 응회암을 제외한 용

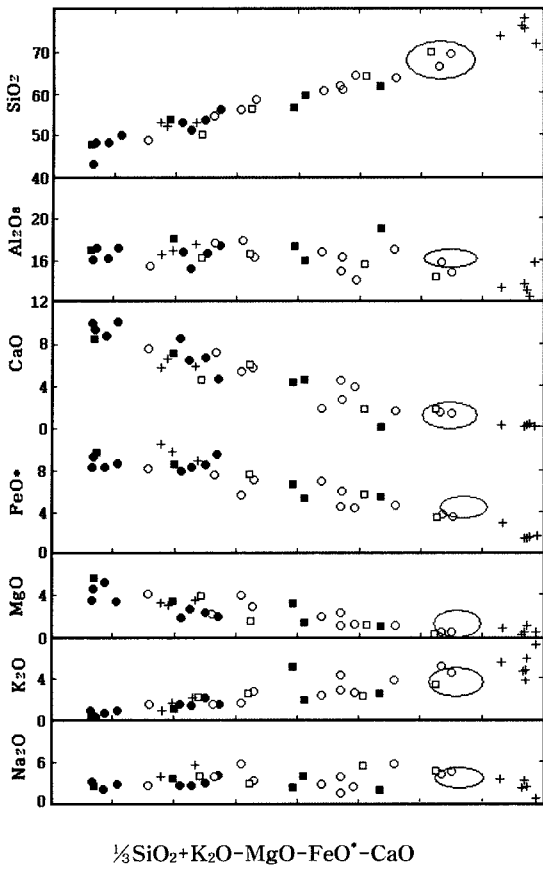


Fig. 6. Larsen factor ($1/3\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{FeO}^* - \text{CaO}$) versus oxides diagram. Symbols are the same as in Fig. 2. Dotted area: andesitic porphyry.

암류를 택하여 비교하면 상위로 가면서, 하부에서는 SiO_2 와 K_2O 가 감소하고 FeO^* 와 MgO 와 Nb 과 Sc 이 증가한 반면 상부에서는 이와 반대의 경향을 보인다. 이는 하부의 3층은 분화가 어느 정도 일어난 후 순차적으로 분출하였으며 그 후 일정한 시간이 지나서 분화가 더 진행되었거나 지각의 영향을 받은 마그마가 분출된 데 기인하는 것으로 해석된다.

SiO_2 에 대한 미량원소의 함량 변화도(Fig. 10)에서 각 미량원소들은 다소 분산되기는 하나 연속적인 경향성을 보인다. SiO_2 가 증가하면서 Rb , Ba 은 증가의 양상을 보이고 Sr , Sc , V 은 감소의 경향을 보인다.

REE 분포양상(Fig. 11)은 부분용융이나 결정화작용 동안 분별결정작용의 정도를 알 수 있다. 희토류 원소를 운석값(Boynton, 1984)으로 표준화하여 각 층별로 평균해서 도시한 결과 유사한 변화양상을 보인다. 안산암 I과 안산암 II에서 Eu-anomaly가 나타나는데 안

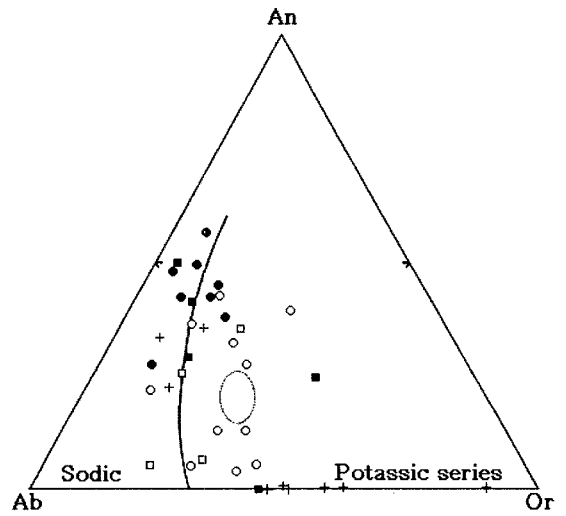


Fig. 7. Normative Ab-Or-An triangular diagram (after Irvine and Baragar, 1971). Symbols are the same as in Fig. 2. Dotted area: andesitic porphyry.

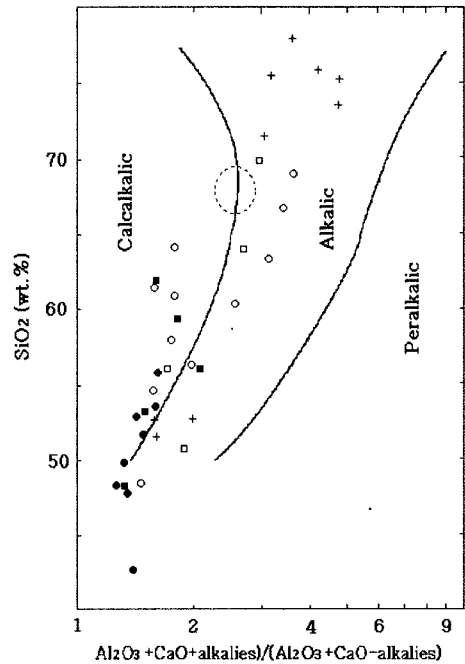


Fig. 8. SiO_2 versus $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{alkalies})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - \text{alkalies})$ variation diagram. Symbols are the same as in Fig. 2. Dotted area: andesitic porphyry.

산암 II에서 더 크게 부의 Eu이상치를 보인다. 이는 안산암 II가 안산암 I보다 Ca-사장석의 분별결정작용이 많이 일어났거나 지각의 혼염을 더 크게 받았음을 시사한다.

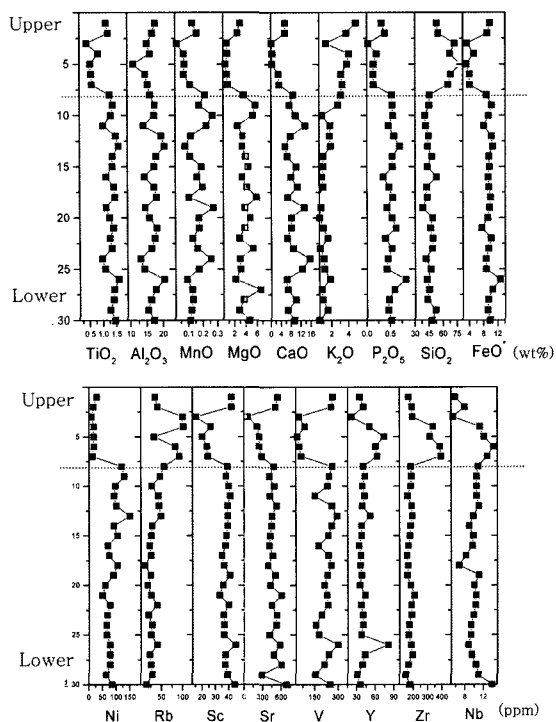


Fig. 9a. Variation of major and trace elements in the vertical section of Kyeongpook Foreign Language University.

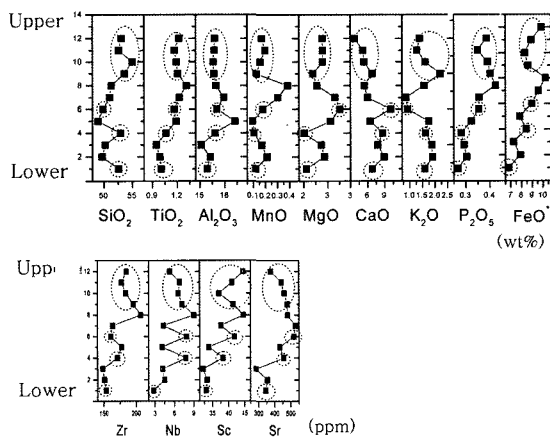


Fig. 9b. Variation of major and trace elements in the vertical section of the Seokjeong Hot Spring Hotel. Dotted area: lava sample.

생성환경 및 기원

연구지역 안산암의 기원마그마를 현무암질 마그마라 가정하고 여러 가지 판별도를 이용하여 조구조적인 생성기원을 유추하였다. Ti-Zr-Y 상관도(Fig. 12)는 칼크

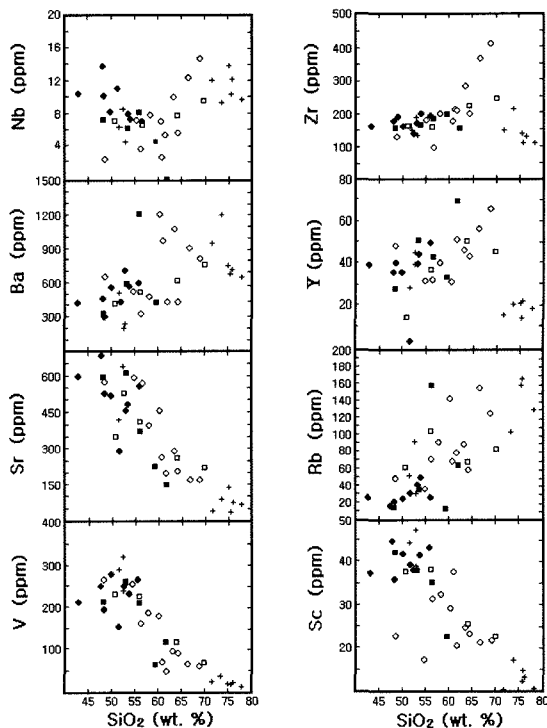


Fig. 10. SiO₂-trace element variation diagram of the volcanics from the study area. Symbols are the same as in Fig. 2.

알칼리 현무암영역에 도시되고 후기분화물로 갈수록 Zr쪽으로 치우쳐져 산성백암류이고 상부대륙지각의 영역에 점시된다. Pearce(1996)의 Ti-Zr-Sr 상관도에서도 본 암이 칼크알칼리 현무암에 분류된다. Nb-Zr-Y 상관도에서는 안산암질 암류가 화산호 현무암영역에 도시되었다. 이를 종합하여 볼 때 본암은 대륙연변부의 화산암류로서 태평양판의 섭입작용으로 인한 맨틀 웨지(Wedge)의 부분용융물이 지각을 뚫고 상승하면서 진화된 칼크알칼리계열의 마그마활동의 산물인 것으로 해석된다.

결론

연구지역의 백악기 화산암류들에 대한 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 연구지역의 화산암은 안산암I, 안산암질 응회암, 안산암II, 안산암질 각력응회암, 안산반암으로 구성되어 있다.
2. 안산암I과 안산암II는 암색과 화학조성에서 현저한 차이를 나타내고 있다. 안산암I은 경산칼데라 밖에

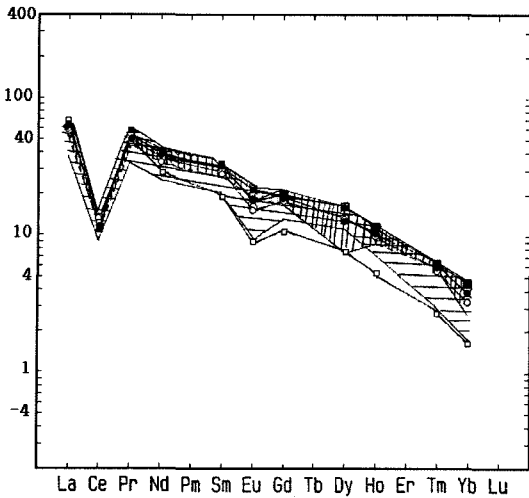


Fig. 11. Chondrite-normalized REE patterns for average rare earth element abundances of each major rock unit of the study area. Symbols-cross: andesite I, open rectangle: andesitic tuff, open circle: andesite II, open diamond: dyke, vertical hatch: andesite I, horizontal hatch: andesite II.

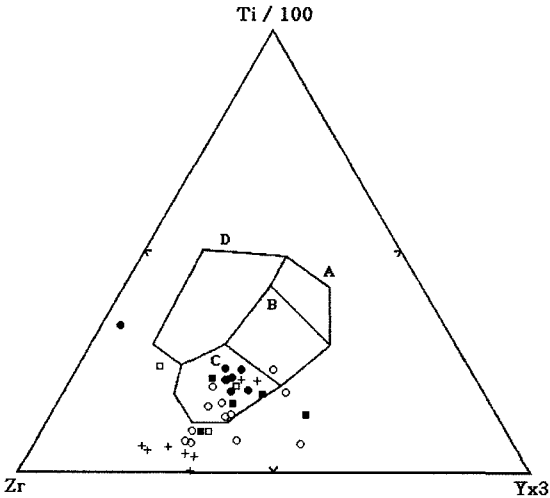


Fig. 12. Ti-Zr-Y diagram(after Morrison, 1978). Field-B + C: Calc alkali basalt, D: Oceanic island or continental basalt, A + B: Low-K tholeiite, B: Oceanic floor basalt. Symbols are the same as in Fig. 2.

광범위하게 분포하고 있는 주사산 안산암질암과 암색과 화학조성이 비슷하나 층서상의 대비는 곤란하여 경산칼데라 형성 전 또는 후에 분출한 것인지도 알 수 없다. 안산암II는 경산칼데라 밖의 주사산 안산암질암에는 분포하지 않는다는 점과 안산암I에 비하여 분출시기가 후기라는 해석을 통하여 경산칼데라 형성 후에

재 분출한 것으로 생각된다.

3. 연구지역의 화산암류의 마그마계열은 칼크알칼리계열을 나타내고 있으며, 상부층으로 갈수록 알칼리계열의 경향으로 가고 있음을 볼 수 있다. 이는 마그마 분화작용 혹은 지각의 혼염에 기인한 것으로 해석된다. 안산암I과 안산암II은 알칼리원소의 부화에서 그 정도를 달리하고 있으며 안산암II가 마그마분화작용 혹은 지각의 혼염에 더 많은 영향을 받은 것으로 해석된다.

4. 연구지역의 화산암류는 당시 환태평양의 대륙 연변부(continental margin)에 있었던 격렬한 화산활동의 산물로 추정된다.

사 사

이 논문은 2002년도 경북대학교의 연구비에 의하여 연구되었다. 원고를 읽고 이 논문의 질적 향상에 큰 도움을 주신 윤성호 교수님과 익명의 심사자님께 감사드립니다.

참고문헌

김대원, 1995, Petrology and Petrochemistry of the Cretaceous Volcanic Rocks in Kyungsan Caldera, Korea, 경북대학교 대학원 석사학위 논문. 89p
 김태형, 1988, 천왕산-종남산 일대에 분포하는 주사산 안산암질 암류의 층서 및 암석화학적 특징, 경북대학교 대학원 석사학위 논문. 90p
 김상욱, 이재영, 김영기 ; 1993, 대구-자인 지역에 분포하는 백악기 안산암질암류의 암석학적 연구, 지질학회지 제 29권 제4호 324-337.
 김상욱, 이재영, 김영기, 고인석, 1991, 남부 유천소분지에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 특징, 지질학회지 제 27권 제 1호 24-39.
 박제천, 1989, 최정산 일대 화산 복합체에 의한 암석학적 연구, 강원대학교 대학원 석사학위 논문. 80p
 박진홍, 1990, 비슬산-남산 일대에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구, 경북대학교 대학원 석사학위 논문. 79p
 원종관, 고중배, 홍승호 ; 1971, 한국지질도, 경산도폭, 국립지질조사소.
 장용성, 1994, 경산군 남천면 경흥사 일대 화산암류의 암석학적 연구, 경북대학교 대학원 석사학위 논문. 92p
 Bing Li, Yan Zhang and Ming Yin, 1997, Determination of Trace Amounts of Rare Earth Elements in High-Purity Cerium Oxide by inductively Coupled Plasma Mass spectrometry After Separation by Solvent Extraction, Analyst, 122, 543-547.
 Boynton, W. V., 1984, Geochemistry of the rare earth elements: meteorites studies. In: Henderson P. (ed), Rare

- earth element geochemistry. Elsevier, pp. 63-114.
- Irvine, T. N., and Baragar, W. R. A., 1971, A guide to the chemical classification of the common igneous rocks, *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Shinotsuka, K., Hidaka, H., Ebihara, M., and Nakahara, H., 1996, ICP-MS Analysis of Geological Standard Rocks for Yttrium, Lanthanoids, Thorium and Uranium, *Analytical Sci.*, 12, 917-922.
- 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, *J. Petrol.*, 27, 745-750.
- Morrison, M. A., 1978, The use of "IMMOBILE" trace elements to distinguish the paleotectonic affinities of metabasalts: applications to the paleocene basalts of Mull and Skye, Northwest Scotland, *Earth and Planet. Sci. Letters*, 39, 407-416.
- Pearce, J. A., 1996, A User's Guide to Basalts Discrimination Diagrams, Geological Association of Canada, short Course Notes, 12, 79-113.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, vol. 20, 325-343.
-
- (2006년 5월 8일 접수; 2006년 5월 24일 채택)