

부산일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구 (I)

김진섭* · 윤성효**

*부산대학교 지질학과

**부산대학교 지구과학과

요 약: 부산시 남부일원에 분포하는 백악기 화산암류에 대한 화산층서 및 각 암층별 화학성분 변화 그리고 화산활동의 양상을 고찰한 결과, 본역에 분포하는 중성화산암류는 안산암질 화성쇄설암(pyroclastic rocks)과 안산암으로 구분되며, 이들은 서로 호층을 이루며 두터운 층후의 화산암누층을 형성하는 다유희 층후화산체의 구성물이다. 안산암류는 반정광물로 휘석(augite), 사장석 및 각섬석이 나타나며 석기는 휘석, 자철석, 각섬석, 인회석 그리고 유색광물의 변질광물인 녹니석, 녹염석, 견운모, 철광립 등으로 구성되어있다. 국부적으로 안산암질 화산암누층의 상부에는 테이사이트질 화산각력암과 유문암질 용결회유응회암(welded ash-flow tuff) 등이 분출 피복하고있다. 선행연구(부산·가덕도폭)에서 안산암질 각력암 또는 안산암으로 기재한 화산암류들은 화학성분에 따라 구분해 보면 현무암에서 현무암질 안산암, 안산암, 테이사이트 및 유문암의 성분영역에 해당한다. 본역의 화산암류는 칼크-알칼리 계열의 성분변화를 나타내며, 본역에 가장 광범위하게 분포하는 안산암류는 조산대 안산암(Orogenic andesite)에 속한다.

핵심어: 화성쇄설암, 화산암누층, 층후화산체, 용결회유응회암, 조산대안산암

서 언

한반도 남동부의 유천소분지를 중심으로하여 대규모로 분포하는 후기 백악기의 화산암류에 대한 지질학적, 암석학적 연구는 여러 학자들에 의해 수행되어 왔다(원종관, 1968; 차문성, 1976; 차문성과 윤성효, 1982; 김상욱, 1982, 1986; 이상만 외, 1987; 김진섭, 1990). 이들 연구에서는 화산암류에 대하여 무작위로 해당암상을 대표하는 시료를 채취하여 암석화학적 특성을 고찰하였으며, 이는 전체적인 화산암류의 화학조성을 파악하는데는 유리하나, 시간에 따른 마그마의 성분변화를 고찰하기에는 곤란하다고 사료되므로 화산층서에 따른 암석의 성분 변화를 고찰하는 것이 좋다.

유천소분지의 동남단에 위치하는 부산지역에는 퇴적암류를 기반으로 하여, 이를 부정함으로 피복하는 유천층군의 하부층군에 해당하는 중성화산암류들이 분포하고 있으며, 이들로 구성된 화산암체의 층서 단면이 비교적 잘 보존되어 있다.

이 연구에서는 부산일원에 분포하는 백악기 화산암류에 대하여 야외조사를 통해서 얻어진 주상단면도와 화산층서에 근거하여 암석의 기재, 암층서간의 대비 및 화학성분의 변화를 고찰하고, 화산활동의

양상을 파악하고자 한다.

암석시료의 채취는 중성화산암의 경우 응회암을 제외한 안산암 용암을 하위로부터 상위로 감에 따라 층서에 따라 선정하였고, 분석은 독일 Freiburg 대학에서 습식법(칼륨 페르망가나트법) 및 XRF법(Philips Rontgen Spectrometer, PW14/50)에 의해 주성분을 분석하였으며, 주구성광물에 대한 화학조성 분석은 EPMA(Raster Electron Microscope, Cambridge S4-10)를 이용하였다. 주성분원소의 상대적인 오차한계는 0.5% 이하이다.

일반지질

부산시 일원의 화산암류는 퇴적암층을 기반으로 하여, 이를 덮고 있거나 혹은 관입·접촉하는 백악기말에 형성된 중성 및 산성화산암류로 구성되며, 화산 분출 후 이들을 다시 심성암류가 관입하여 있는 일련의 화산-심성활동의 양상을 나타낸다(그림 1).

이 지역에서 최하부를 구성하는 퇴적암층은 다대포층으로 하부에 안산암류를 다량 함유하는 역암층과 그 상부의 적색 사암, 역암과 세일의 호층 및 응회질 사암으로 구성되며, 사층리, 건열, 물결자국 등이 잘 발달한다. 부산·가덕도폭(장태우 외, 1983)

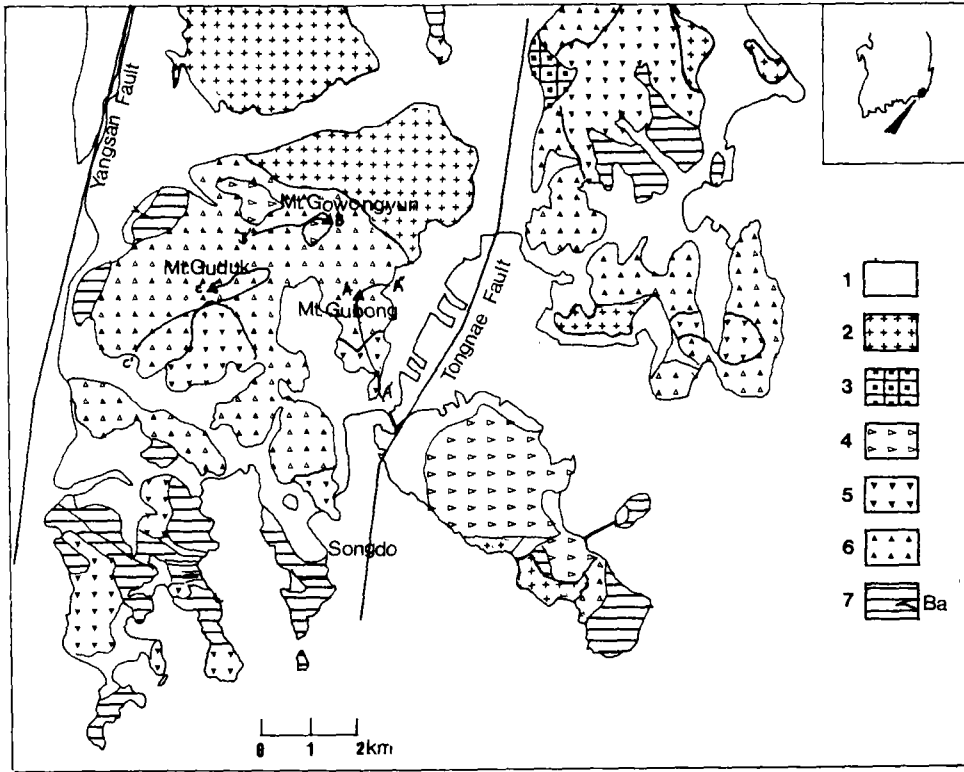


Fig. 1. Geologic map of the study area(modified from Chang *et al.*, 1983). 1, Alluvium; 2, Granitic rocks; 3, Gabbro; 4, Rhyolite ash flow tuff; 5, Andesitic rocks; 6, Andesitic volcanic breccia; 7, Songdo formation; Ba, Basaltic andesite.

에는 퇴적암층내에 안산암질암이 협재되어 있는 것으로 기재하고 있으나, 이들은 안산암질의 중성암맥이 퇴적암을 관입하고 있는 것으로 관찰된다. 다대포층의 직상부는 두터운 층후의 안산암질 화산각력암과 안산암류(流)가 부정합으로 피복하고 있으며, 본 연구의 주 대상은 안산암질 화산암누층(火山岩累層)이다. 고원전산의 산정부에는 안산암질 화산암누층의 상부에 국부적으로 회백색의 응회질 퇴적암층이 퇴적된 후, 테이사이트질의 화산각력암과 유문암질 용결회류응회암(welded ash-flow tuff) 등이 분출 피복하고 있다. 이들 산성암류는 본역 북동쪽에 위치한 장산콜드론(차문성과 윤성효, 1982)에서 분출된 것으로 알려져 있으며, 장산콜드론을 중심으로 하여 주변의 반경 약 15km 이내에 위치하는 산정상부에는 장산용결회류응회암이 소규모로 분포하고 있다(차문성과 윤성효, 1982). 그 후, 본역의 북부 일원에 반려암과 화강암류가 관입하여 분포한다.

화산층서 및 기재

본역에 분포하는 중성 화산암류는 크게 안산암질 화성쇄설암과 안산암 용암으로 구분된다. 안산암질 화성쇄설암은 화산각력암, 응회각력암, 라필리응회암 및 응회암으로, 안산암 용암은 광물조성과 조직에 의하여 휘석안산암, 각섬석안산암 및 치밀안산암으로 구분될 수 있다. 안산암질 화성쇄설암과 안산암 용암은 서로 호층을 이루는데, 각각의 용암 사이에는 화산각력암을 비롯한 박층의 응회각력암, 라필리응회암 또는 응회암이 놓이며, 두터운 층후의 화산암누층(火山岩累層)을 형성한다. 이는 다운회(多輪回)의 성층화산(成層火山)의 구성물이며, 후기의 침식, 풍화작용으로 현재에는 단편만이 보존되어 있다.

이들 중 연구지역인 구봉산 단면(그림 2의 A-A')에서의 화산층서를 살펴보면, 하부로부터 휘석안산암(층후 약 40 m), 안산암질 화산각력암 및 라필리

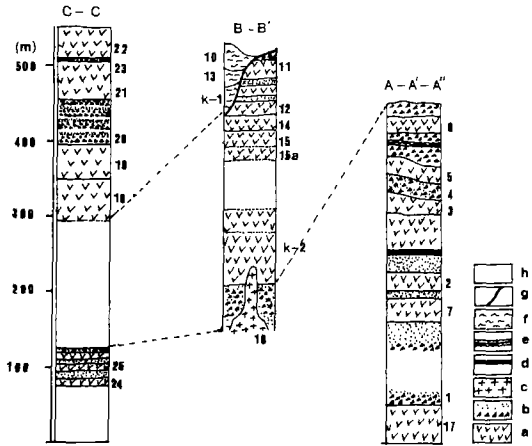


Fig. 2. Columnar section and sample location of the volcanic rocks in the study area. a, lava; b, breccia and tuff; c, granodiorite; d, tuffaceous sediments; e, surge deposits; f, rhyolite ash flow tuff; g, local unconformity; h, undifferentiated rocks.

응회암의 누층(층후 약 120 m), 치밀안산암(층후 약 30 m), 라필리응회암(층후 약 10 m), 응회질세일(층후 약 30 m), 치밀안산암과 화산각력암의 호층(층후 약 100 m), 서지퇴적층(surge deposit : 층후 약 10 m), 안산암질 화산각력암(층후 약 10 m), 안산암(층후 약 20 m), 안산암질 화산각력암(층후 약 20 m)으로 구성된다.

고원전산 지역의 단면(그림 2의 B-B')에서는 하위로부터 암상(분출단위)을 달리하는 안산암의 호층과 그 상부를 부정합으로 피복하는 기저서지퇴적층, 데이사이트질 용결유리질응회암과 유문암질 용결회류응회암으로 구성된다. 안산암의 침식면위에 부정합으로 피복하는 기저서지퇴적암은 저각도의 사층리, 누적(accretionary)라필리를 함유하는 세립의 화산회 누층으로 평행층리가 잘 발달하며, 외관상 회백색의 세일 또는 호운펠스와 흡사하나, 경하에서 다량의 유리질 물질로 구성된다.

구덕산 단면(그림 2의 C-C')에서는 하위로부터 안산암질 라필리응회암과 휘석안산암의 호층(층후 약 350 m)으로부터 상위로 감에 따라 안산암질 화산각력암과 라필리응회암의 누층(층후 약 60 m)과 그 상위의 각섬석안산암(층후 약 50 m), 라필리응회암(층후 약 5 m) 및 휘석안산암(층후 약 20 m 이상)으로 구성된다. 이들 3개의 단면에서 각 단위 층들의 야외에서 층서적위치, SiO₂ 함량변화 및 구성광물에 근거하여 그림 2와 같이 대비할 수 있다.

이들 중성화산암류들은 선행 연구(장태우 외, 1983)에서는 안산암질각력암 또는 안산암으로 기재하고 있으나, 이를 화학조성에 따라 구분해 보면, 현무암에서 현무암질안산암, 안산암, 데이사이트 및 유문암의 성분 영역에 해당한다. 이들 화산암류를 SiO₂의 함량에 따라 구분하여(Le Bas et al., 1986) 기재하면 아래와 같다.

현무암

구봉산 하부의 화산각력암(시료 9205-1), 고원전산 중턱의 사장석 반정이 현저한 용암(시료 9205-14,15) 등이 해당되며, 암흑색 내지 암청흑색의 치밀질이거나, 또는 0.5 cm 이상의 사장석 반정을 함유하는 반상조직을 하기도 한다. 경하관찰에 의하면, 암청흑색의 치밀질암은 사장석의 작은 결정의 평행 배열에 의한 유상구조를 나타낸다. 반상조직을 보이는 암석에서 반정은 주로 사장석으로 누대구조, 알바이트-칼스바드쌍정을 나타내며, 석기는 미립의 사장석과 보통휘석(augite), 자철석, 감람석으로 구성되며, 보통휘석과 사장석은 부분적으로 녹염석 혹은 녹니석으로 변질되어 있다. 반정으로 산출되는 사장석은 An₉₁₋₇₅로 아노사이트(anorthite)에서 비트우나이트(bytownite)에 해당하며, 석기를 구성하는 사장석은 An₅₆으로 라브라도라이트(labradorite)에 해당한다(표 1).

현무암질안산암

구덕산 하부와 산정상부, 고원전산 하부와 중상부, 구봉산 상부의 휘석안산암에 해당하며, 주로 휘석과 사장석의 반정을 가지는 암청흑색의 반상조직을 한다. 구덕산 산정에 분포하는 본암에 함유된 휘석반정은 주로 보통휘석(표 2)이며, 사장석은 An₆₅₋₅₉로서 라브라도라이트에 해당한다. 고원전산 하부에서 반정으로 산출되는 사장석은 An₉₆₋₉₄로 아노사이트에 해당하며, 석기를 구성하는 사장석은 An₅₂로 라브라도라이트에 해당한다. 구봉산 산정에서의 사장석반정의 An은 76-64이다. 석기는 사장석, 보통휘석, 자철석, 소량의 각섬석, 인회석으로 구성되며, 미정질 내지 은미정질이다.

안산암

연구지역에서 가장 광범위하게 분포한다. 경하에

Table 1. EPMA analyses and structural formulae for plagioclase of volcanic rocks in the Pusan area

Sample No. Rock	15A BASALT				6 BASALTIC ANDESITE					K-2 BASALTIC ANDESITE				11 ANDESITE	
	Phenocryst		Matrix		Phenocryst					Phenocryst		Marix	Phenocryst		
SiO ₂	45.96	51.27	50.58	55.77	49.76	50.39	51.87	51.31	51.24	43.78	44.24	45.41	56.02	44.80	45.74
TiO ₂	0.16	0.17	0.17	0.13	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.15	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.16	31.10	30.68	27.60	30.28	29.36	29.43	27.85	29.14	33.45	33.30	33.36	26.12	32.94	32.80
FeO*	0.08	0.99	0.98	0.91	0.61	0.68	0.62	0.49	0.59	0.30	0.43	0.64	1.04	0.71	0.54
CaO	18.26	15.07	14.87	11.05	14.95	13.80	13.35	12.17	12.60	18.53	18.67	18.59	9.90	18.05	17.83
Na ₂ O	1.03	2.75	2.72	4.84	2.59	3.40	3.46	3.62	0.19	0.46	0.62	0.71	5.19	0.68	0.93
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.18	0.10	0.08	3.77	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
Total	99.37	101.35	100.00	100.30	98.28	98.06	98.83	92.52	97.53	96.52	97.40	98.86	98.35	97.18	97.84
Numbers of cation on the basis of 8 oxygens															
Si	2.137	2.312	2.311	2.509	2.312	2.346	2.384	2.431	2.386	2.094	2.100	2.122	2.564	2.128	2.153
Al	1.818	1.653	1.653	1.464	1.659	1.611	1.595	1.555	1.600	1.886	1.863	1.838	1.409	1.844	1.820
Ti	0.006	0.666	0.006	0.004	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.031	0.037	0.037	0.034	0.024	0.026	0.024	0.019	0.023	0.012	0.017	0.025	0.000	0.028	0.021
Ca	0.910	0.728	0.728	0.533	0.744	0.668	0.658	0.618	0.629	0.950	0.950	0.931	0.486	0.919	0.899
Na	0.093	0.240	0.241	0.422	0.233	0.307	0.308	0.333	0.340	0.043	0.057	0.064	0.461	0.063	0.085
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011	0.006	0.005	0.011	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
Total	4.995	4.976	4.977	4.966	4.978	4.998	4.975	4.960	4.990	4.984	4.992	4.986	4.964	4.981	4.979
An	90.74	75.18	75.13	44.78	75.72	68.43	67.66	64.68	64.13	95.70	94.33	93.54	51.06	93.62	91.38
Ab	9.26	24.82	24.87	44.22	23.74	30.51	31.73	34.82	34.72	4.30	5.67	6.46	48.44	6.38	8.62
Or	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	1.06	0.60	0.51	1.15	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00

Table 1. Continued

Sample No. Rock	22 PYROXENE ANDESITE			21 HORNBLLENDE ANDESITE					3 ANDESITE			17 ANDESITE			
	Phenocryst			Phenocryst					Phenocryst			Phenocryst			
SiO ₂	51.13	53.04	53.59	56.17	59.12	58.53	65.19	55.12	56.30	55.17	54.77	57.12	56.92		
TiO ₂	0.17	0.25	0.14	0.00	0.22	0.00	0.00	0.19	0.00	0.15	0.00	0.00	0.15		
Al ₂ O ₃	28.34	29.21	27.71	25.21	24.03	24.48	21.19	28.60	24.10	24.35	28.70	28.17	26.83		
FeO*	0.50	0.63	0.55	0.74	2.32	0.00	0.00	0.46	0.62	3.88	0.89	0.62	0.00		
CaO	12.50	12.67	11.65	8.64	6.14	6.88	8.89	11.77	8.04	7.50	11.96	10.59	9.49		
Na ₂ O	3.57	3.89	4.26	5.06	6.98	6.88	8.89	4.60	6.00	6.01	4.59	4.92	5.36		
K ₂ O	0.15	0.23	0.23	0.87	0.26	0.39	0.24	0.38	0.33	0.20	0.23	0.35	0.14		
Total	96.36	99.92	98.13	96.69	99.07	94.93	97.88	101.12	95.39	97.26	101.14	101.81	98.89		
Number of cation on the basis of 8 oxygens															
Si	2.406	2.409	2.469	2.609	2.679	2.718	2.911	2.466	2.644	2.258	2.455	2.525	2.573		
Al	1.572	1.564	1.505	1.380	1.284	1.340	1.115	1.509	1.334	1.344	1.517	1.468	1.430		
Ti	0.006	0.009	0.005	0.000	0.007	0.000	0.000	0.006	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005		
Fe ²⁺	0.020	0.024	0.021	0.029	0.088	0.000	0.000	0.017	0.024	0.152	0.033	0.023	0.000		
Ca	0.630	0.617	0.575	0.430	0.298	0.231	0.113	0.564	0.405	0.376	0.575	0.502	0.460		
Na	0.326	0.343	0.381	0.456	0.613	0.620	0.770	0.399	0.546	0.546	0.399	0.425	0.470		
K	0.009	0.013	0.014	0.052	0.015	0.023	0.014	0.022	0.020	0.012	0.013	0.020	0.008		
Total	4.969	4.978	4.970	4.955	4.985	4.933	4.923	4.983	4.972	5.018	4.992	4.963	4.946		
An	65.31	63.40	59.34	45.88	32.18	26.47	12.64	57.28	41.68	40.29	58.23	53.00	49.03		
Ab	33.75	36.23	39.27	48.62	66.20	70.88	85.83	40.51	56.28	58.43	40.44	44.92	50.11		
Or	0.93	1.37	1.39	5.50	1.62	2.64	1.52	2.20	2.04	1.28	1.33	2.09	0.86		

*Total iron as FeO.

Table 2. EPMA analyses and structural formulae for pyroxenes (phenocryst) of volcanic rocks in the Pusan area

Sample No. Rock	22		17	
	PYROXENE	ANDESITE	ANDESITE	
SiO ₂	50.03	51.17	53.88	54.53
TiO ₂	0.67	0.64	0.39	0.22
Al ₂ O ₃	3.68	2.24	3.67	2.11
FeO*	7.18	10.17	14.98	14.06
MnO	0.16	0.28	0.67	0.62
MgO	14.39	13.48	14.12	14.63
CaO	21.87	21.32	13.39	13.42
Na ₂ O	0.36	0.55	0.28	0.34
K ₂ O	0.00	0.00	0.13	0.08
Total	98.34	99.85	101.51	100.01
Numbers of cations on the basis of 6 oxygens				
Si	2.048	2.061	2.066	2.123
Ti	0.021	0.019	0.011	0.006
Al	0.178	0.106	0.166	0.097
Fe ²⁺	0.232	0.324	0.454	0.433
Mn	0.005	0.009	0.021	0.020
Mg	0.499	0.460	0.459	0.483
Ca	0.720	0.691	0.413	0.420
Na	0.022	0.031	0.016	0.019
K	0.000	0.000	0.005	0.003
Total	3.726	3.704	3.612	3.605
Wo	49.45	46.56	30.66	33.41
En	34.27	31.00	34.08	35.62
Fs	16.28	22.44	35.26	30.97

*Total iron as FeO.

서 반정광물로는 사장석, 보통휘석, 각섬석 등이며, 석기는 사장석, 보통휘석의 미립과 유리질물질 등으로 구성되어 있고, 많은 유색광물들이 변질되어 녹니석, 녹염석, 철광립 등으로 되어 있다. 구덕산 산정의 현무암질안산암 하부의 본암은 각섬석 반정을 함유하는 각섬석안산암으로, 연녹색 또는 황녹색을 띠는 각섬석(표 3)은 1-3 mm의 반정으로 산출되며, 부분적으로 녹니석, 녹염석과 불투명광물로 변질되어 있으며, 일부는 완전히 변질되어 불투명광물로 구성된 반응환(opaque reaction rim)을 가지는 가상(假象)만을 남기고 있다. 사장석은 An₄₅₋₁₃으로 안테신에서 올리고클레이스에 해당한다. 구덕산 중턱의 본암은 흑색의 치밀안산암으로, 반정의 사장석은 An₅₇₋₄₀이다.

데사이트 및 유문암질 용결회류응회암

Table 3. EPMA analyses and structural formulae for phenocrystic hornblendes of volcanic rocks in the Pusan area

Sample No.	21			
	HORNBLLENDE		ANDESITE	
SiO ₂	40.69	40.41	40.87	43.07
TiO ₂	2.52	2.50	2.31	2.26
Al ₂ O ₃	12.74	13.23	11.96	10.97
Fe ₂ O ₃	3.53	4.54	5.32	3.72
FeO	9.30	11.25	9.92	10.00
MnO	0.18	0.29	0.37	0.32
MgO	13.13	11.58	12.29	13.43
CaO	12.02	11.90	11.64	11.95
Na ₂ O	2.57	2.49	2.44	2.36
K ₂ O	0.69	0.72	0.57	0.58
Total	97.36	98.90	97.69	98.66
Numbers of cations on the basis of 23 oxygens				
Si	6.038	5.972	6.084	6.299
Al(IV)	1.962	2.028	1.916	1.701
Al(VI)	0.267	0.277	0.183	0.191
Ti	0.281	0.278	0.259	0.249
Fe ³⁺	0.394	0.505	0.596	0.410
Fe ²⁺	1.154	1.390	1.236	1.233
Mn	0.023	0.036	0.047	0.040
Mg	2.904	2.550	2.727	2.927
Ca	1.911	1.884	1.857	1.873
Na	0.740	0.714	0.704	0.669
K	0.131	0.136	0.108	0.108
OH	2.000	2.000	2.000	2.000
Total	17.804	17.770	17.716	17.690

본암은 고원전산 산정부에 소규모로 분포하며, 본역 남동부의 영도 고갈산 일원에 넓게 분포하는 용결회류응회암으로 구성된다. 고원전산에서의 본암은 종래 안산암으로 기재되어 있었으나(장태우 외, 1983), 본 연구 결과 안산암을 국부적인 부정합으로 피복하는 기저서지퇴적층(base surge deposits)과 그 상부의 용결회류응회암의 누층으로 구성되며, 화학 조성상 SiO₂ 66-71 wt%로 테이사이트-유문암에 해당한다. 용결회류응회암의 하부는 석영, 정장석, 사장석, 각섬석의 반정을 함유하는 테이사이트 유리질 용결회류응회암이며, 상부의 유문암질 회류응회암은 다수의 암편(주로 안산암편과 소량의 규장암편, 퇴적암편)을 함유하며, 녹니석과 점토광물로 변질된 녹색의 피아메(fiamme)가 현저한 유택시틱석리(eutaxitic texture)를 나타낸다. 테이사이트의 사장석은 An₃₀₋₁₃으로 올리고클레이스에 해당한다.

암석화학 및 토의

본역의 화산암류의 주성분 화학조성과 CIPW 노옴은 표 4와 같다. 이를 기존의 분석 자료(차문성과 윤성효, 1982; 김진섭 1990; 윤성효와 김진섭, 1991)와 같이 특성을 알아보면(그림 3), 화산암류의 화학 조성은 폭 넓은 변화를 보여주는데, SiO₂의 함량에 있어서 50.1-71.3 wt%의 조성 범위를 나타낸다. 즉, 현무암에서부터 현무암질 안산암, 안산암, 데이사이트 및 유문암에 이르는 넓은 성분 영역을 나타낸다. 본역 북서부의 반려암은 안산암을 관입하고 있으며 반려암체 주변의 안산암의 유동구조의 주향과 경사

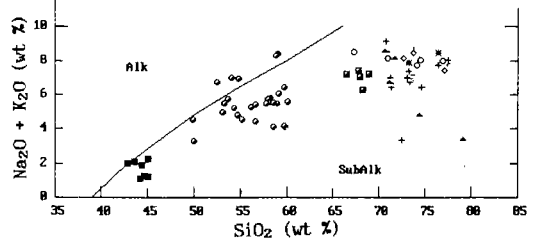


Fig. 3. SiO₂ vs. Na₂O+K₂O diagram of the igneous rocks in the Pusan area. Filled square; gabbro, half filled square; granodiorite, cross; granite, circles; rhyolite welded tuff, half filled circles; andesitic rocks, diamond; felsite, triangle; rhyolite, star; micrographic granite.

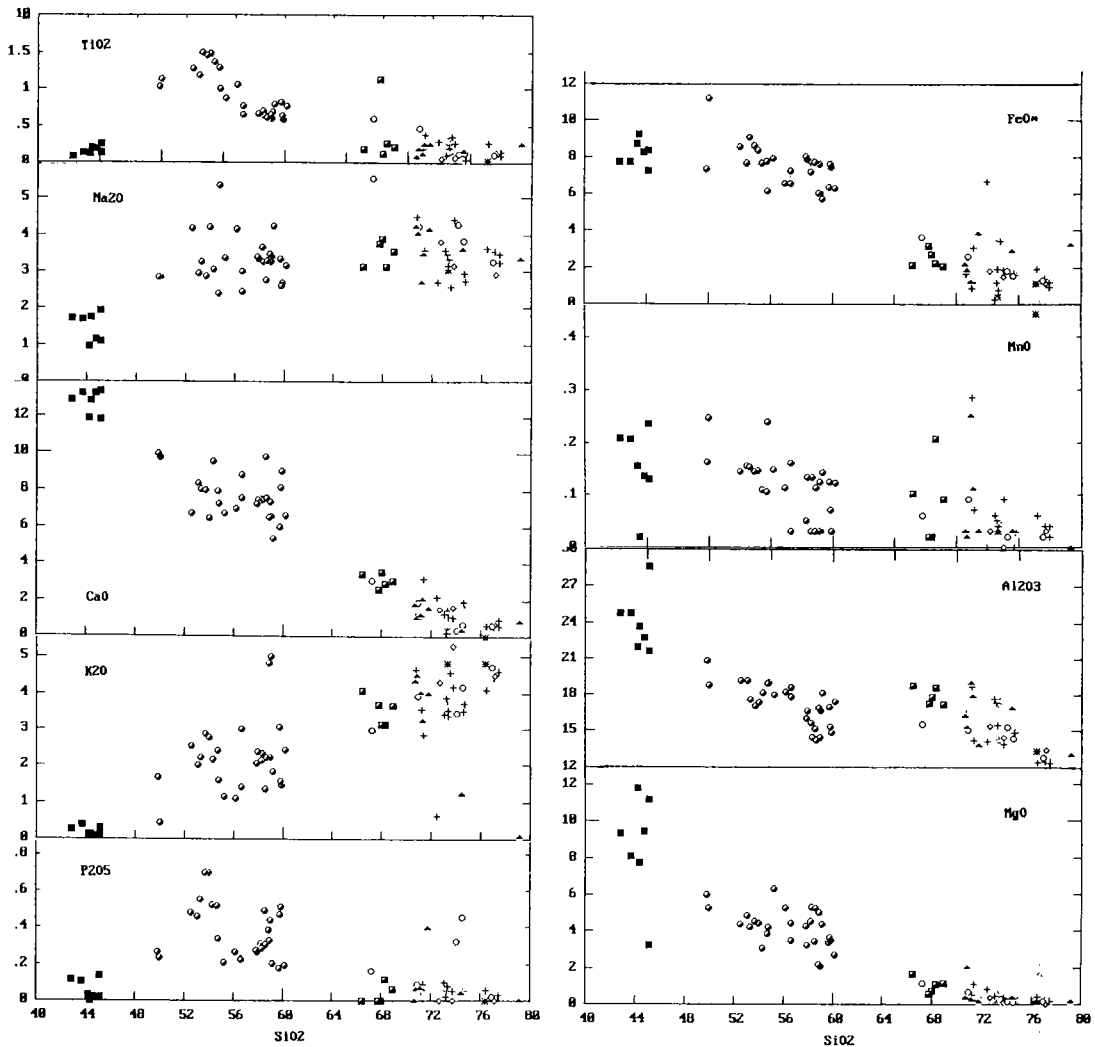


Fig. 4. Major oxides vs. SiO₂ diagram of the igneous rocks in the Pusan area. Symbols are the same as in Fig. 3.

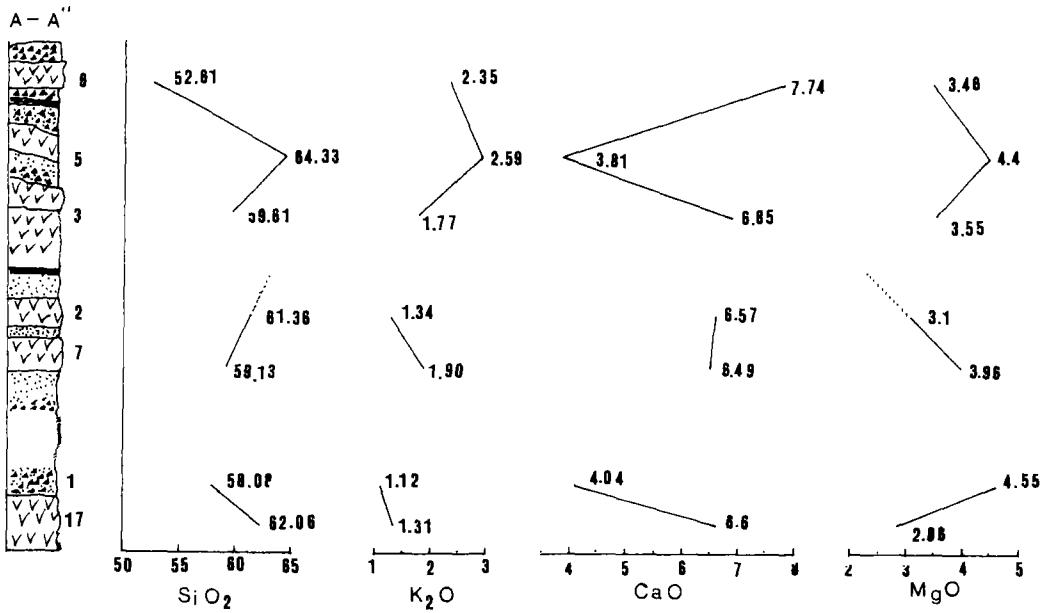


Fig. 5. Variation diagram of oxides vs. height of the volcanic rocks in the Mt. Gubong.

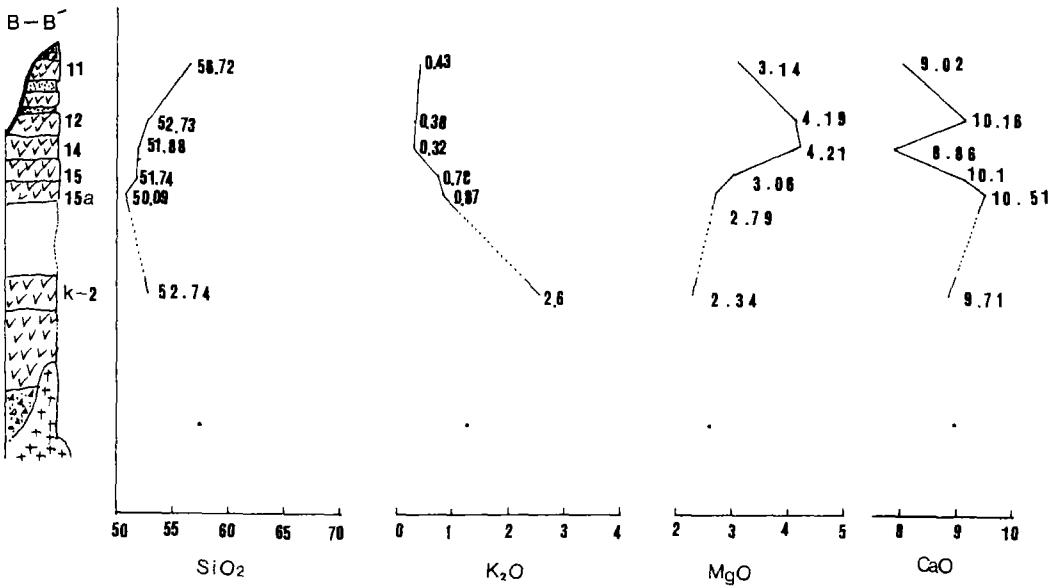


Fig. 6. Variation diagram of oxides vs. height of the volcanic rocks in the Mt. Gowongyun.

를 고려하면 안산암을 분출한 화산중심에 해당한다고 사료된다. 산성화산암류와 화강암류의 관계는 차문성(1976)에 의하면 야외에서의 산출이 밀접히 관련하는 것 및 화학조성과 조암광물의 제성질의 유사성이 크므로 모두 동일마그마에서 연속적으로 형

성되었을 것으로 본다.

부산지역의 화산암류는 전체적으로 SiO₂에 대한 Na₂O+K₂O의 성분도(그림 3)에서 Miyashiro(1978)에 의한 알칼리암과 비알칼리암의 구분에서 비알칼리암의 영역에 도시된다. 일부 알칼리암의 영역에

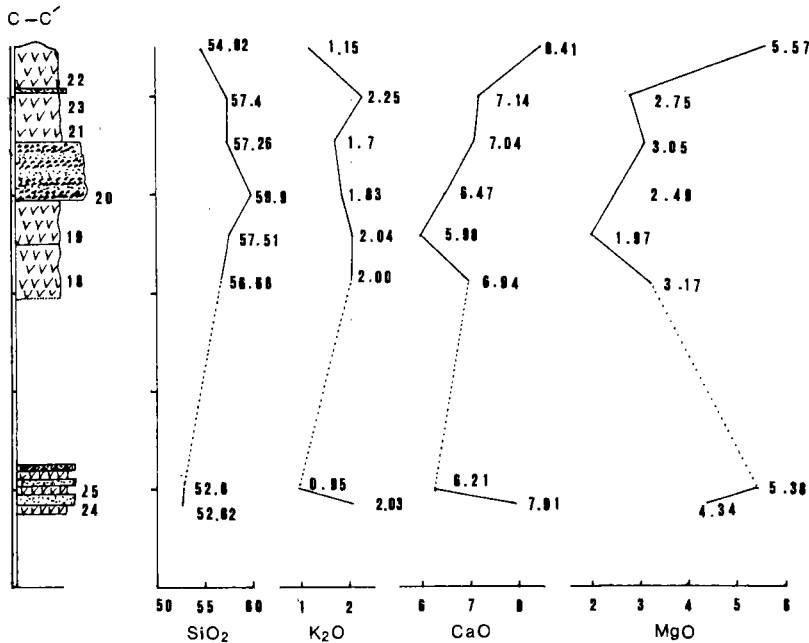


Fig. 7. Variation diagram of oxides vs. height of the volcanic rocks in the Mt. Guduk.

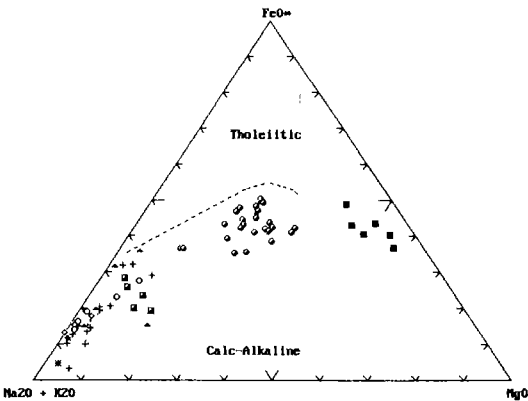


Fig. 8. AFM diagram of the volcanic rocks in the Pusan area. Symbols are the same as in Fig. 3.

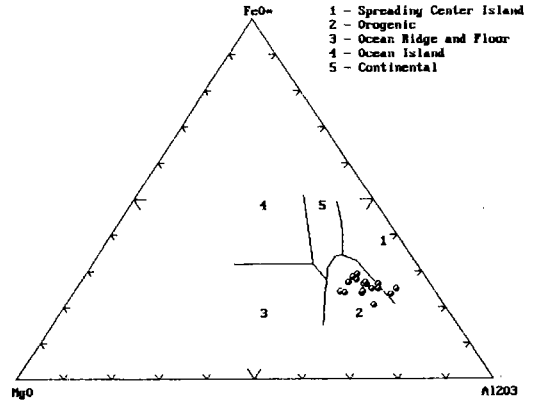


Fig. 9. FeO*-MgO-Al₂O₃ diagram of andesite in Pusan area (SiO₂, 51-56 wt%; Pearce *et al.*, 1977).

분산되어 나타나는 시료는 경하관찰에 의하면 부분적으로 변질된 것으로 인지된다. 또한, SiO₂의 함량이 증가함에 따라 TiO₂, Al₂O₃, FeO^t, MnO, MgO, CaO 등은 점진적으로 감소하는 경향을 나타내고, 반면, Na₂O, K₂O, Na₂O+K₂O는 점진적으로 증가하는 경향을 나타내는데, 전체적으로는 일시에 마그마챔버에 공급된 현무암질의 동원마그마로부터 분별결정 작용에 의하여 현무암질안산암, 안산암, 데이사이트 및 유문암의 순으로 형성된 것과 같은 양상을 잘

나타내는 것으로 보인다(그림 4).

그러나, 구봉산의 단면(그림 5)에서 보는 바와 같이 하위로부터 상부로 감에 따라 SiO₂의 함량이 점진적으로 증가하는 것이 아니라, 감소하다가 증가하고, 다시 감소 및 증가하다가 감소한다. 고원전산 단면(그림 6)에서도 다소 감소하다가 그 후, 점진적으로 증가하는 경향을 보인다. 구덕산 단면(그림 7)에서도 하부로부터 조금씩 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보인다. SiO₂의 변화에 조화적으로 K₂O도 같은

변화를 보이며, CaO와 MgO는 반대의 변화경향을 보인다.

이와 같이 하나의 화산암체에 있어서 하부로부터 상부로 감에 따라 단위 용암의 성분 변화가 염기성에서 산성으로, 즉 SiO₂의 함량이 분출 순서에 따라 일률적으로 증가하지 않음을 볼 수 있다. 즉, SiO₂ 함량이 감소하다가 증가하고, 또 증가하다가 감소하는 등의 변화 경향을 볼 때, 이는 각 암층을 구성하는 용암류가 일시에 공급된 하나의 균질한 동원의 시원마그마로부터 마그마챔버에서 일련의 마그마 분화과정을 거치면서 현무암에서 현무암질안산암, 안산암, 데이사이트 및 유문암으로 단계적으로 분출되

었을 것이라는 해석은 타당성이 낮은 것으로 생각된다. 본 연구지역의 중성화산암으로 구성되는 화산암체는 SiO₂의 성분영역이 50.1에서 64.3 wt%의 일정한 범위내에서 반복되어 나타나며, Sr 동위원소의 분석결과에 의하면 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr의 초생비가 0.7049-0.7051의 좁은 범위에 집중됨을 볼 때 거의 동일한 시기에 동원의 마그마에서 기인 분출된 것으로 해석된다. 즉 화산활동의 초기에 맨틀에서 마그마챔버에 공급된 마그마가 일정한 범위의 분화를 거치면서 SiO₂의 함량이 증가하는 방향으로 분별결정작용이 진행되다가 분출하고, 계속하여 맨틀로부터 새로운 마그마가 공급됨에 따라 마그마챔버(refilled magma

Table 4. Chemical compositions and CIPW norms of the volcanic rocks in the Pusan area (Ba, Basalt; BA, Basaltic Andesite; An, Andesite; Da, Dacite; Rh, Rhyolite)

Sites	Mt. Gowongyun									Mt. Gubong			
	17	1	7	2	3	5	6	9	16	K-2	15A	15	14
Sample Rock	An	An	An	An	An	An	BA	An	Da	BA	Ba	Ba	Ba
SiO ₂	62.06	58.08	59.13	61.36	59.61	64.33	52.61	57.28	65.92	52.74	50.09	51.74	51.88
TiO ₂	0.69	0.84	0.73	0.69	0.71	0.66	0.79	1.15	0.57	0.97	1.01	0.92	1.03
Al ₂ O ₃	16.97	18.41	16.78	16.93	16.77	15.51	19.56	18.50	16.83	20.91	21.78	21.82	19.17
Fe ₂ O ₃	2.90	3.74	2.88	3.44	3.19	1.36	6.57	3.03	1.60	4.04	4.09	4.31	4.71
FeO	2.39	2.76	3.27	2.71	3.17	3.10	1.93	4.38	2.35	4.25	4.87	3.94	4.49
MnO	0.10	0.09	0.10	0.11	0.10	0.07	0.14	0.19	0.09	0.13	0.18	0.14	0.15
MgO	2.86	4.55	3.96	3.10	3.55	4.41	3.46	2.60	0.93	2.34	2.79	3.06	4.21
CaO	6.60	4.04	6.49	6.57	6.85	3.81	7.74	6.94	3.44	9.71	10.51	10.10	8.86
Na ₂ O	3.46	4.21	2.97	3.70	2.74	2.70	3.34	3.89	5.13	3.06	3.30	3.08	3.08
K ₂ O	1.31	1.12	1.90	1.34	1.77	2.59	2.35	1.27	2.46	0.16	0.87	0.78	0.32
P ₂ O ₅	0.20	0.25	0.18	0.20	0.18	0.11	0.26	0.39	0.15	0.20	0.20	0.17	0.24
Total	99.54	98.09	98.39	100.15	98.64	98.65	98.75	99.62	99.47	99.21	99.69	100.06	98.25
Q	19.49	14.03	14.92	17.17	17.35	22.53	4.24	10.82	17.35	7.75	1.37	5.18	7.74
C		3.38				1.53							
Or	7.74	6.62	11.22	7.92	10.46	15.30	13.88	7.50	14.53	5.08	5.14	4.61	1.89
Ab	29.27	35.61	25.12	31.30	23.18	22.84	28.25	32.91	43.39	25.88	27.91	26.05	26.05
An	26.91	18.81	26.85	25.63	28.23	18.39	31.44	29.27	15.64	40.78	42.05	43.41	37.84
Ne													
Di	3.75		3.55	4.67	3.84		4.27	2.34	0.54	5.11	7.31	4.59	3.78
Wo	1.98		1.86	2.46	2.01		2.29	1.20	0.27	2.63	3.75	2.40	1.98
en	1.54		1.34	1.91	1.46		1.98	0.71	0.14	1.62	2.21	1.67	1.41
fs	0.23		0.35	0.30	0.36		0.00	0.44	0.13	0.86	1.35	0.53	0.39
Hy	6.39	12.09	10.77	6.71	9.20	14.58	6.63	9.32	4.26	6.45	7.61	7.83	11.61
en	5.58	11.33	8.52	5.81	7.38	10.98	6.63	5.77	2.18	4.21	4.73	5.95	9.07
fs	0.81	0.76	2.25	0.90	1.83	3.60	0.00	3.55	2.09	2.24	2.88	1.88	2.54
ol													
fo													
fa													
Ap	0.47	0.59	0.43	0.47	0.43	0.26	0.62	0.92	0.36	0.47	0.47	0.40	0.57
Mt	4.20	5.42	4.18	4.99	4.62	1.97	4.39	4.39	2.32	5.86	5.93	6.25	6.83
Il	1.31	1.60	1.39	1.31	1.35	1.25	1.50	0.18	1.08	1.84	1.92	1.75	1.96
Hm							3.54						

Table 4. Continued

Sites Sample Rock	Mt. Gubong				Mt. Guduk								
	12 BA	11 BA	K-1 Da	13 Da	10 Rh	24 BA	25 BA	18 BA	19 An	20 An	21 An	23 An	22 BA
SiO ₂	52.73	56.72	66.33	66.87	71.33	52.62	52.60	56.68	57.51	59.90	57.26	57.40	54.92
TiO ₂	0.86	0.83	0.51	0.44	0.30	1.16	1.06	0.83	0.83	0.64	0.84	0.87	0.96
Al ₂ O ₃	19.17	17.72	16.85	15.96	14.12	17.58	18.31	17.59	17.52	17.17	17.73	17.60	16.86
Fe ₂ O ₃	3.80	5.36	1.21	1.31	1.62	4.23	5.42	4.41	5.55	3.93	4.34	4.58	3.54
FeO	4.99	3.20	2.46	2.74	1.38	3.31	3.93	2.44	1.75	1.82	2.57	2.41	3.99
MnO	0.17	0.18	0.03	0.08	0.08	0.12	0.14	0.15	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14
MgO	4.19	3.14	1.26	1.25	0.62	4.34	5.38	3.17	1.97	2.49	3.05	2.75	5.57
CaO	10.16	9.02	2.27	3.93	2.03	7.91	6.21	6.94	5.98	6.47	7.04	7.14	8.41
Na ₂ O	2.60	2.90	4.58	3.48	3.79	4.89	3.61	3.49	4.63	3.63	3.45	3.45	3.23
K ₂ O	0.38	0.43	2.60	3.62	3.65	2.03	0.95	2.00	2.04	1.83	1.70	2.25	1.15
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.03	0.08	0.06	0.45	0.29	0.29	0.29	0.22	0.29	0.30	0.24
Total	99.22	99.57	98.13	99.76	98.98	98.64	97.90	97.99	98.20	98.22	98.41	98.89	99.01
Q	8.45	16.49	21.66	21.50	29.69		6.76	11.17	9.20	15.90	12.86	11.72	7.18
C			2.32		0.31		0.66						
Or	2.24	2.54	15.36	21.39	21.56	11.99	5.61	11.82	12.05	10.81	10.04	13.29	6.79
Ab	21.99	24.53	38.74	29.44	32.06	38.95	30.54	29.52	39.17	30.71	29.18	29.18	27.32
An	39.52	34.06	11.41	17.24	9.90	20.03	29.16	26.43	21.00	25.15	27.87	25.90	28.11
Ne						1.31							
Di	8.01	7.63		1.58		13.11		5.02	5.54	4.63	4.37	6.11	9.87
Wo	4.14	4.07		0.79		6.97		2.69	2.97	2.48	2.34	3.28	5.18
en	2.63	3.38		0.38		5.67		2.33	2.57	2.14	2.02	2.83	3.83
fs	1.24	0.18		0.41		0.47		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85
Hy	11.47	4.67	5.87	5.70	2.39		14.64	5.56	2.33	4.05	5.57	4.01	12.26
en	7.80	4.43	3.14	2.74	1.54		13.39	5.56	2.33	4.05	5.57	4.01	10.03
fs	3.67	0.23	2.73	2.96	0.84		1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22
ol							3.92						
fo							3.60						
fa							0.33						
Ap	0.40	0.40	0.07	0.19	0.14	1.07	0.69	0.69	0.69	0.52	0.69	0.71	0.57
Mt	5.51	7.77	1.75	1.90	2.35	6.13	7.86	5.93	3.65	4.40	6.29	5.69	5.13
Il	1.63	1.58	0.97	0.84	0.57	2.20	2.01	1.58	1.58	1.22	1.60	1.65	1.82
Hm								0.32	3.03	0.90		0.66	

chamber)에서 잔류마그마와 새로 공급된 마그마의 혼합(mixing)이 일어나면서 SiO₂ 함량이 감소하다가 분출되고, 또, 일정한 범위의 결정분화작용을 거침에 따라 SiO₂ 함량이 점진적으로 증가하면서 분출한 것으로 생각된다. 이와 같이 도호 및 대륙연변부에서 다양한 화산암류를 형성하는 주된 마그마작용 중의 하나로 마그마혼합이 인식되고 있다(Gill, 1981; Thorpe and Francis, 1979). 화산암체 최상부의 데사이트-유문암질 화산암류는(SiO₂ 66.7-71.3 wt%) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr의 초생비가 0.7054로서 중성화산암류와는 기원을 달리하는 것으로 해석된다.

FeO-(Na₂O+K₂O)-MgO의 성분도(그림 8)에서 본역의 화산암류는 칼칼알칼리계열의 평균치에 유

사한 성분 변화 경향을 나타낸다. Pearce *et al.*(1977)의 FeO-MgO-Al₂O₃ 지구조 분류도(그림 9)에서 본역의 안산암류는 조산대안산암(orogenic andesite)에 속함을 알 수 있다.

사 사

이 논문에 많은 조언과 심사를 해준 권성택 교수, 이문원 교수 그리고 좋은 지적을 해준 박준범 심사 위원에게도 감사드립니다.

본 연구는 1992년도 학술진흥재단(교육부)의 연구비와 전라광물자원센터(CMR)의 일부 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김상욱, 1982, 북부 유천분지내에 분포하는 후기 백악기 화산암의 암석학적 연구, 서울대학교 박사학위청구 논문, 133p.
- 김상욱, 1986, 경상분지에서의 후기백악기 화성활동에 관한 연구. 이상만 교수 송수기념 논문집, 167-194.
- 김진섭, 1990, 경상분지 동남부 일대에 분포하는 백악기 화산암류에 대한 암석학적 연구. 지질학회지, 26, 53-62.
- 원종관, 1968, 경상분지 내에서의 백악기 화성활동에 관한 연구. 지질학회지, 4, 215-236.
- 윤성효, 김진섭, 1991, 부산전포동 구상만려암질암에 대한 암석학적 지화학적 연구. 부산대학교 자연과학 논문집 제52집, 155-173.
- 이상만, 김상욱, 진명식, 1987, 남한의 백악기 제3기 화성활동과 지구조적 의의. 지질학회지, 25, 225-232.
- 장태우, 강필종, 박석환, 황상구, 이동우, 1983, 한국 지질도 (1 : 50,000), 부산 가덕 도폭 및 설명서, 한국 동력자원연구소.
- 차문성, 1976, 부산지역의 불국사산성화산암류의 암석학적 연구. 광산지질, 9, 85-109.
- 차문성, 윤성효, 1982, 부산시 일원의 백악기 화산활동. -특히, 장산 칼데라 잔존구조에 관하여- 부산대학교 자연과학 논문집 제34집, 377-390.
- 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.
- Miyashiro, A., 1978, Nature of alkalic volcanic rock series. Contrib. Mineral. Petrol., 66, 91-104.
- Pearce, T. H., Gorman, B.E. and Birkett, T.G., 1977, The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. Earth Planet. Sci. Lett., 36, 121-132.
- Thorpe, R.S. and Francis, P.W., 1979, Variations in Andean andesite compositions and their petrogenetic significance. Tectonophysics, 57, 53-70.

(책임편집 : 권성택)

Petrology of the Cretaceous volcanic rocks in Pusan area, Korea

Jin Seop Kim* and Sung Hyo Yun**

*Dept. of Geology, Pusan Nat'l Univ., Pusan 609-735, Korea

**Dept. of Earth Sciences, Pusan Nat'l Univ., Pusan 609-735, Korea

ABSTRACT: The volcanic stratigraphy and geochemistry of the Cretaceous volcanic rocks in the southern part of the Pusan showed that the volcanic rocks of the study area consist of alternating pyroclastic rocks and andesitic lavas, apparently constituting a thick volcanic sequence of a stratovolcano. The andesitic rocks contain augite, plagioclase, and hornblende as phenocrysts. Matrix minerals are augite, magnetite, hornblende, apatite. Mafic minerals, such as chlorite, epidote, sericite, and iron oxides occur as alteration products. Dacitic volcanic breccia and rhyolitic welded ash-flow tuff locally overlie the andesitic rocks. The rocks reported in the previous studies as andesitic breccia and andesite plot in the field of basalt, basaltic andesite, andesite, dacite and rhyolite, based on their chemical compositions. The volcanic rocks of the study area belong to the calc-alkaline series, and the andesitic rocks which are predominant in the area plot to the field of orogenic andesite.

Key Words: Pyroclastic rock, volcanic sequence, stratovolcano, welded ash-flow tuff, orogenic andesite