

## 부산 가덕도 지역 백악기 화성암류에 대한 암석학적 연구

고정선 · 김은희 · 윤성효\*

부산대학교 지구과학교육과

### Petrology of the Cretaceous igneous rocks in Gadeog Island, Busan, Korea

Jeong Seon Koh, Eun Hee Kim, and Sung Hyo Yun\*

Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**요약:** 부산 가덕도 일대에 분포하는 화성암류에 대한 암석기재적 및 지화학적 특징을 알아보았다. 암석 조직과 광물 조성 특징으로부터 중성화산암류는 안산암(반상 그리고 괴상 안산암)과 안산암질 화성쇄설암으로, 규장질 화산암은 유문암, 유문암질 용결응회암과 응회각력암으로 구성된다. 이들 화산암류를 관입해 있는 심성암류는 많은 염기성마그마포획체를 가지는 각섬석 화강섬록암으로 주로 구성된다. 화산암류는 화학조성상  $\text{SiO}_2$  59~78wt.%에 이르는 안산암, 테사이트 및 유문암에 해당하며, 칼크-알칼리암 계열에 속한다. 심성암류는  $\text{SiO}_2$  63~69wt.%이다. 이들 화산암류의 변화 경향성은 경상분지 남동부의 백악기 화산암류와 심성암류의 변화 경향과 대체로 일치한다. 화산암류의 미량성분과 희토류원소 변화경향은 경희토류원소가 부화되어 있으며, LREE/HREE의 높은 비를 나타내는데, 이는 해양판이 섭입하는 판경계부에서 산출되는 대륙연변부의 칼크-알칼리계열의 화산암에서 나타나는 전형적인 특징이다. 가덕도지역의 화산암류와 심성암류는 섭입 환경의 맨틀 웨지의 부분용융에 의해 만들어진 조산대 안산암질 마그마로부터 진화하였음을 지시한다.

**주요어:** 부산 가덕도, 백악기 화산-심성활동, 섭입대, 안산암, 유문암

**Abstract:** This study focuses on the petrography and petrochemical characteristics of the volcanic and plutonic rocks in Gadeog island, Busan, Korea. Based on textural and mineralogical characteristics, intermediate volcanic rocks can be divided into andesitic lava flows (porphyritic and massive andesites) and andesitic pyroclastics. Felsic volcanic rocks are composed of rhyolite, rhyolitic welded tuff, and tuff breccia. Plutonic rocks are intruded rhyolite and andesitic rocks, and composed of hornblende granodiorite which contains lots of mafic magma enclaves. Volcanic rocks are composed of andesite, dacite and rhyolite having a range in  $\text{SiO}_2$  from 59 to 78wt.%. The volcanic rocks belong to the calc-alkaline rock series. Plutonic rocks have a range in  $\text{SiO}_2$  from 63 to 69wt.%. This compositional variations correspond to those of Cretaceous volcanic and plutonic rocks in the southeastern Gyeongsang basin. The trace element composition and rare earth element patterns of the volcanics, which are characterized by high LREE/HFSE ratios and enrichment in LREE, suggest that they are typical of calc-alkaline volcanic rocks produced in the subduction environment around continental arc. We concluded that volcanic and plutonic rocks in Gadeog Island were evolved from orogenic andesitic magma which was produced by partial melting of the mantle wedge in the subduction environment.

**Key words:** Gadeog Island, Busan, Cretaceous volcanic-plutonic activity, subduction environment, Andesite, Rhyolite

## 서 론

가덕도는 행정구역상 부산광역시 강서구에 해당되고,

북위 35° 00'~35° 10', 동경 128° 45'~129° 00'로 구획된다. 섬의 가장 높은 곳의 해발이 459.4 m이고 해안선은 연장 36 km이며, 전체 면적은 21.7 km<sup>2</sup>인 섬이다.

\*Corresponding author: yunsh@pusan.ac.kr

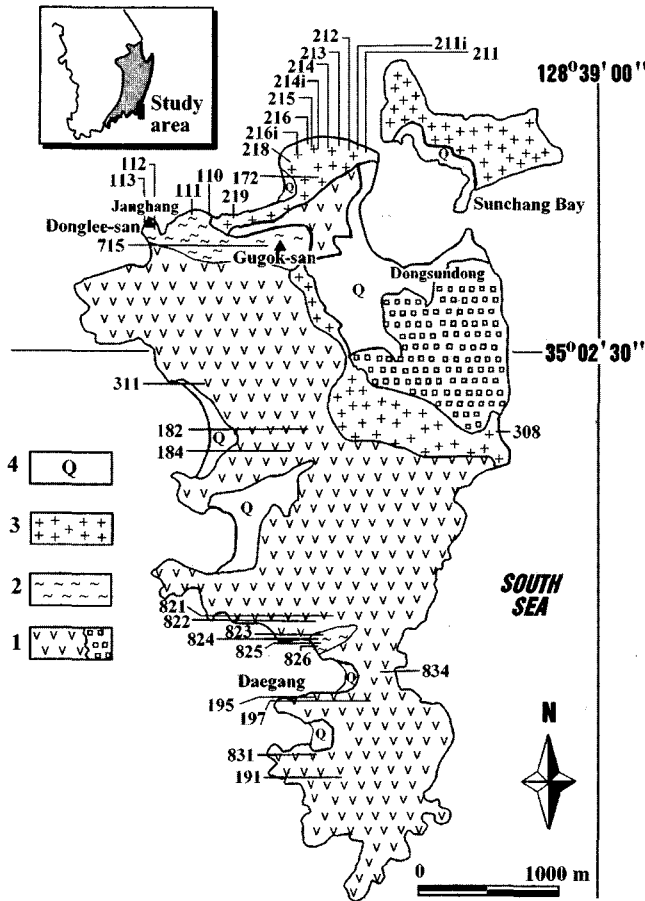


Fig. 1. Geological map of the Gadeog Island, Busan (modified from Jang *et al.*, 1983). 1. Andesitic rocks(v) and altered andesite(□), 2. Rhyolitic rocks, 3. Hornblende granodiorite, and 4. Alluvium.

한반도에서 백악기 후기 내지 고제3기에 격렬했던 화성활동은 유천층군을 형성시킨 화산활동과 이에 수반된 불국사화강암류의 관입활동으로 구성된다. 유천층군의 화산암은 다시 하부의 주사산안산암질암과 상부의 운문사유문암질암으로 대별된다(김상욱과 이영길, 1981). 경상분지 유천층군의 화산암과 이를 관입하고 있는 불국사관입암류의 화성활동에 관해서는 많은 선행연구가 수행된바 있다(김규환과 이진수, 1993; 김진섭과 윤성호, 1993; 윤성호, 1993; 윤성호 외, 1994, 1996, 1997, 1998; 윤성호와 상기남, 1994; 조동룡과 권성택, 1994a, 1994b; 황상구와 김상욱, 1994; 황상구, 1996; Jwa, 1996). 이들 연구에 의하면 이 시기의 화성활동은 지판의 섭입과 밀접한 관련이 있다.

본 연구 지역인 가덕도의 지질에 대한 선행 조사는 장태우 등(1983)의 부산-가덕 지질도폭 조사가 있었으나 그 이후로는 현재까지 가덕도 화성암에 대한

암석화학적 연구가 수행된 바 없다. 본 연구는 한반도 남동부 도서지역인 가덕도에 분포하는 백악기 유천층군의 화산암과 불국사관입암류를 대상으로 암석기재학적 연구와 함께 암석화학적 특성과 조구조적인 위치를 알아보고자 한다.

### 지질 개요

본 역의 지질은 백악기 경상누층군 상부에 속하는 유천층군의 화산암과 불국사관입암류로 대별된다(Fig. 1). 부산-가덕 도폭(장태우 등, 1983)에서는 유천층군의 화산암류를 안산암질 화산각력암, 안산암질암, 유문암질암으로 기재하였으며, 이를 관입하여 분포하는 불국사관입암류는 각섬석 화강섬록암으로 기재하고 있다.

화산암류는 성분상 크게 안산암질암과 유문암질암으로 나누어지며, 산출양상에 따라 다시 용암류(lava flow)

와 화성쇄설암으로 구분된다. 안산암질 용암은 본 역의 전 범위에 걸쳐 분포하며, 장석과 휘석의 반정을 함유하고 있는 반상안산암과 반정을 거의 함유하지 않고 치밀 견고한 괴상안산암으로 구성된다. 안산암질 화성쇄설암은 주로 라필리옹회암으로 구성되며, 섬의 북서부 동리산 부근과 대항선착장 주변에 분포하고 있다 (Fig. 1). 섬의 북동부에서 각섬석 화강섬록암의 관입에 의해 안산암질 화산각력암이 열변질되어 납석화대를 이룬다(장태우 등, 1983). 유문암질암은 섬의 북서부 구곡산과 동리산 일대, 대항리 근처에서 소규모로 분포하고 있다. 동리산 일대에는 유문암질 용암이 분포하고 있어 유상조직을 잘 보이며 구과상조직을 나타내기도 한다. 유문암질 응회암은 용결응회암, 응회각력암 등으로 구성된다. 유문암질 용결응회암은 동리산 부근에 나타나며, 부분적으로 응회각력암과 응회암이 대항선착장 북쪽 지점에 나타난다.

불국사관입암류는 주로 각섬석 화강섬록암으로 갈마봉과 매봉 일대에 분포하고 있으며, 그 외에 소량의 토날라이트와 염기성 마그마 포획체로 구성된다. 본암은 화산암류를 관입하여 분포하고 있으며 이들에 열수변질을 주었다(장태우 등, 1983).

### 화성암류의 암상 분류 및 기재

본 연구 지역의 야외조사에서 채취한 시료 중 대표적인 신선한 시료 65개를 박편으로 제작하여 편광현미경 관찰을 통해 구성광물과 조직 등을 비교 검토했으며, 점샘법으로 모우드 조성을 분석하고, 그 결과를 화산암류는 Table 1에, 화강암류는 Table 2에 각각 나타내었다.

#### 화산암류

**중성화산암류:** 중성화산암류는 안산암(용암)과 화성쇄설암으로 구성된다. 안산암은 반상안산암과 괴상안산암으로 구분되며, 안산암질 화성쇄설암은 주로 라필리옹회암에 해당한다.

반상안산암은 연구지역에서 가장 넓게 분포하며, 대부분이 청회색 내지 암청색을 띤다. 반정의 함량은 일정하지 않으며 사장석 및 휘석 반정을 상대적으로 많이 함유한 것이 청회색을 띤다. 육안 관찰에 의한 사장석 반정은 장주상의 형태를 보이며, 장경이 2.5 mm 내외이다. 현미경 관찰에 의하면 반상조직을 보이며, 기질부는 암석의 62-93%를 차지한다. 기질부는 부분적으로 유리질 또는 은미정질 물질로 구성되어 있는

**Table 1. Modal composition of the volcanic rocks in Gadeog Island.**

Sample No.	Phenocryst		Secondary minerals			Groundmass	Texture	Rock type
	plagioclase	pyroxene	chlorite	epidote	others			
184	16.8	0.1	1.5	0.1	-	81.5	trachytic	
308	2.3	-	0.7	4.7	0.1	92.2	hyalopilitic	
311	26.9	1.1	6.4	3.5	0.1	62.0	pilotaxitic	
821	5.4	0.5	0.7	0.5	-	92.9	pilotaxitic	porphyritic andesite
822	7.3	0.9	1.0	0.5	0.2	91.1	trachytic	
831	3.5	0.4	1.7	2.2	-	92.2	trachytic	
834	2.5	0.4	1.4	3.1	-	92.6	pilotaxitic	
191	25.5	0.4	1.6	0.5	-	72.0	pilotaxitic	
195	16.1	3.4	2.4	-	0.8	77.3	trachytic	
197	-	-	0.5	0.2	-	99.3	trachytic	massive andesite

Sample No.	Crystals			Rock fragment	Groundmass	Texture	Rock type
	quartz	plagioclase	others				
111	-	0.1	0.3	19.9	79.7		andesitic tuff
182	-	-	-	19.9	80.1		
823	-	3.7	-	22.9	73.3		
110	0.2	-	0.5	15.0	84.3	welded	rhyolitic tuff
825	-	-	-	6.0	87.6		rhyolitic tuff
824	-	-	0.5	10.0	89.4		rhyolitic tuff

Table 2. Modal compositions of the granitic rocks in Gadeog Island.

Rock type	Sample No.	Quartz	K-feldspar	Plagioclase	Biotite	Amphibole	Chlorite	Epidote	Others
GD	211	32.2	9.5	42.8	1.0	1.5	12.5	0.3	0.2
	211i	33.2	10.5	31.1	-	-	23.8	1.2	0.2
	215	22.1	11.9	53.9	0.8	1.4	9.7	-	0.2
	219	30.1	15.3	43.2	1.0	1.9	7.5	0.6	0.4
	110i	38.6	12.6	36.9	-	-	9.8	1.9	0.2
	172	31.1	10.9	48.3	-	1.8	7.7	0.2	-
G	212	33.6	33.1	14.8	-	0.1	17.2	1.2	-
	213	38.2	38.1	13.6	0.4	-	8.3	1.2	0.2
	212i	34.3	33.0	19.2	-	-	10.2	2.6	0.7
	214i	22.7	26.9	35.1	0.4	1.2	12.7	0.8	0.2
TO	218	18.9	4.0	41.8	0.5	17.0	15.8	1.9	0.1
MME	216	0.1	6.7	69.8	-	17.3	4.7	0.8	0.6

[Note] GD: granodiorite, G: granite, TO: tonalite, and MME: mafic magmatic enclave.

것도 있으나, 대부분은 침상의 사장석 래스가 평행하게 방향성을 가지며 반정주위를 둘러싸는 필로택시틱(pilotaxitic) 조직과 일정한 방향성을 보이는 조면암질 조직을 보인다. 반정은 사장석, 단사휘석(Fig. 2a), 그리고 변질에 의한 2차적 광물로 녹니석과 녹염석으로 구성된다. 사장석 반정은 2~27%를 차지하며, 크기는 최대 2.5 mm 정도로 반자형 내지 타형으로 나타나며 누대구조(累帶構造)를 보인다. 사장석은 알바이트 쌍정과 알바이트-칼스바드 쌍정을 보이며, 부분적으로 중심부가 견운모로 변질되거나 녹니석과 녹염석으로 변질되어 사장석의 소수라이트 변질작용(saussuritic alteration)을 보여준다. 일부 사장석 반정은 기질부와의 반응에 의해 용식되어 있는 양상을 보인다. 단사휘석 반정은 암석의 3.4%이하를 차지하며 변질에 의해 부분적으로 연녹색의 섬유상조직을 보이는 2차적으로 형성된 각섬석 또는 우랄라이트로 교대되었다. 이들 중 일부는 다시 부분적으로 변질되어 녹니석으로 변한 것도 있다. 휘석을 둘러싸는 각섬석 반응연(rim)도 관찰된다. 녹니석은 암석의 최대 약 6%를 차지하며 녹염석은 최대 약 5%를 차지한다.

괴상안산암은 야외에서 반상 안산암과 뚜렷한 경계를 보이지 않으며, 섬의 북동쪽 동선동 해안지대와 섬의 남쪽 지역에 분포한다. 본 암은 암흑색 내지 암청색을 띠며, 반정이 거의 없고 치밀 견고하다. 현미경 관찰에 의하면 본 암 체적의 99%를 기질부가 차지하며, 변질 광물인 녹염석, 녹니석 등의 이차적 광물이 소량 기질부를 부분적으로 나타나고 있다. 기질부는 사장석의 미세한 래스가 평행하게 배열되어 조면암질 조직을 나타낸다.

안산암질 라필리옹회암은 국부적으로 소규모 분산되어 분포하며 담녹색 내지 녹회색을 띤다. 동리산 동쪽 해안가에서 소규모로 노출되며, 대항선착장 북쪽에서는 유문암질 응회암과 인접하여 소규모 나타나고 그외 응주봉 명주암 남동쪽에서도 소규모로 관찰된다. 현미경 관찰에 의하면 기질부는 유리질 내지 은미정질로 모우드 분석에 의하면 체적의 74~88%를 차지한다. 결정편은 사장석이 주로 나타난다. 사장석은 최대 약 2 mm의 크기로 3.7%이하를 차지하며 반자형으로 알바이트쌍정, 알바이트-칼스바드쌍정을 나타낸다. 암편은 안산암질암이 대부분으로 6~23%를 차지한다(Table 1).

**산성화산암류:** 산성화산암류는 암상에 따라 유문암, 유문암질 용결응회암, 응회각력암 및 응회암 등으로 구분할 수 있다.

유문암은 장항선착장 근처인 동리산에서 동묘리 구곡산 최정상 일대와 대항선착장 북쪽지점에 분포한다. 동리산에서는 거의 수직에 가까운 경사로 유동구조를 보인다(Fig. 2b). 주향은 N52° W 내지 N62° W이며, 경사는 75° SW 내지 수직이며, 용암의 흐름 방향에 따라 흑갈색 내지 갈색의 띠가 겹겹이 관찰되는 유동밴드(flow-banding)를 나타낸다. 현미경 관찰에 의하면 갈색 내지 흑갈색 또는 베이지색을 띤 유리질의 기질을 가진다. 장항 선착장과 구곡산(九曲山) 정상 주변부에는 국부적으로 직경 1 cm 정도의 구과를 가지는 구과상유문암이 분포한다(Fig. 2c). 구과상유문암에는 유리질 내지 은미정질 석기에 장석과 실리카 광물이 방사상으로 성장하여 구과를 이룬다.

유문암질 용결응회암은 동리산 부근 해안가에 폭

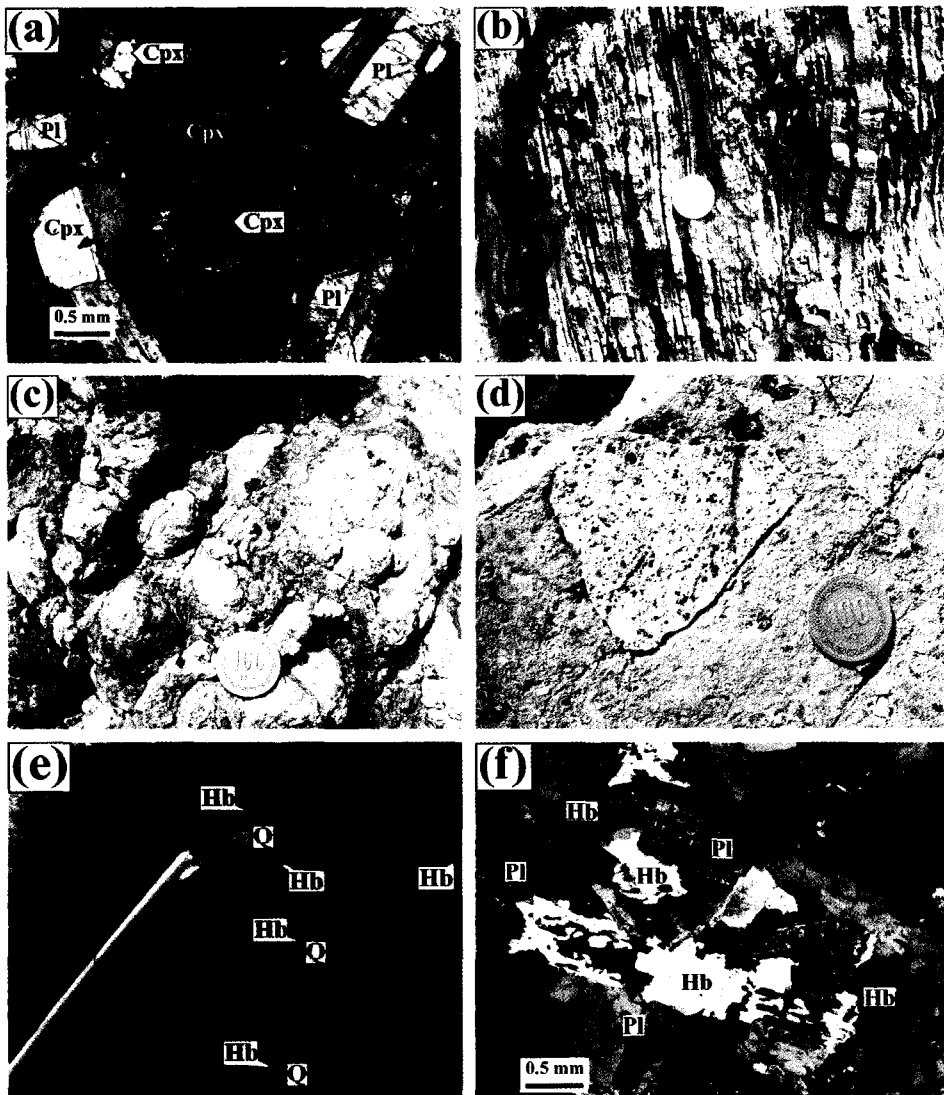


Fig. 2. (a). Photomicrograph of clinopyroxene (cpx), plagioclase phenocrysts in andesite. Under crossed polars. (b). Photograph of rhyolite showing vertical flowage. (c). Photograph of spherulitic rhyolite. (d). Photograph of rhyolite tuff showing granite fragment. (e). Photograph of hornblende-mantled quartz in granitic rocks. (f). Photomicrograph of MME showing prismatic hornblende crystals and plagioclases.

75 m, 높이 4.5 m 정도의 노두로 관찰된다. 육안 관찰에 의하면, 녹회색의 치밀한 기질부와 쉽게 구별되는 피아메가 암녹색을 띠며 신장된 타원체로 산출되며 서로 평행하게 배열되어 선명한 선구조를 형성하는 파라텍시틱조직을 나타낸다. 일부 부석편은 회백색 내지 담황색의 등방형 내지 약간 길쭉한 모양(크기 1 cm 미만)을 보이며, 큰 암석편 주변에서는 선구조가 암편을 둘러싸는 유택스틱(eutaxitic) 조직을 나타낸다. 현미경 관

찰에 의하면 기질부는 84%를 차지하며 결정편은 사장석, 석영 등이 1% 미만을 차지하고 있다. 암편은 약 15%를 차지하고 있으며, 안산암이 대부분이나, 홍색의 화강암편을 함유하기도 한다(Fig. 2d).

유문암질 응회각력암은 대항선착장 북쪽 지점에서 안산암질 응회암과 라펠리응회암의 사이에 나타나는데, 이들의 층서는 하부로부터 안산암질 라펠리응회암, 유문암질 응회각력암, 안산암질 응회암 순이다. 층의 주

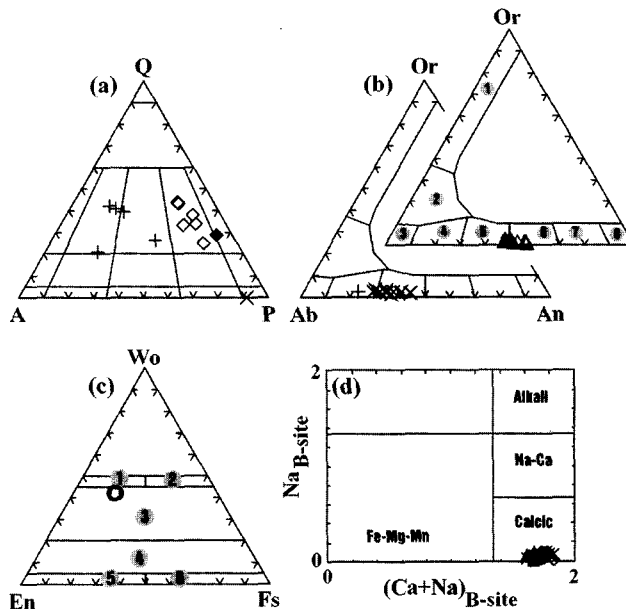


Fig. 3. (a). Q-A-P diagram of the granitic rocks (symbols: +: Granite, ◇: Hornblende granodiorite, ◆: Tonalite, ×: MME). (b). Ab-An-Or diagram for the feldspar compositions. [1: sanidine, 2: anorthoclase, 3: albite, 4: oligoclase, 5: andesine, 6: labradorite, 7: bytownite, 8: anorthite]. (c). Pyroxene compositions of the andesite in the system of Wo-En-Fs (Morimoto, 1988). [1: diopside, 2: hedenbergite, 3: augite, 4: pigeonite, 5: enstatite, 6: ferrosillite]. (d). Classification of amphibole from the hornblende granodiorite according to  $Na_B$  vs.  $(Ca+Na)_B$  (Leake and Winchell, 1978).

향은 N12~29° W이며, 경사는 72~81° SW이다. 응회각력암은 녹회색을 띠며, 포함된 각력은 최대 장경이 35 cm이다. 각력은 주로 안산암질 용암류와 혼펠스화된 응회질 이암 등을 함유한다. 현미경 관찰에 의하면 기질은 89%를 차지하며, 미립의 결정편과 은미정질 물질로 구성되어 있고, 약 10%의 암편의 종류는 대부분 안산암과 쳐트 등이다(Table 1).

### 심성암류

심성암류는 안산암질암과 유문암질암을 관입하여 주로 섬의 북동부에 분포한다. 선창 선착장에서 동리산까지 서쪽 해안을 따라 나타나는 심성암류는 부분적으로 염기성 마그마 포획체(MMEs: mafic magma or magmatic enclaves(Barbarin, 1988; Chappell, 1996; Weinberg, 1997); mafic microgranular enclaves(Didier, 1973); mafic microgranitoid enclaves(Vernon, 1984))를 다수 함유한다.

본 역에 나타나는 심성암 시료를 모드분석(Table 2)을 통해 Q-A-P 다이어그램에 도시한 결과 대부분 화강섬록암의 영역에 도시되나 일부 부분적으로 우백질 부분은 화강암 영역에, 일부 염기성 마그마 포획체와 그 반응연에서는 토날라이트 및 섬록암 영역의 경계에

도시된다(Fig. 3a). 따라서 본 연구에서는 심성암류를 암상에 따라 각섬석 화강섬록암, 화강암, 염기성 마그마 포획체 및 토날라이트로 구분하여 설명한다.

**각섬석 화강섬록암:** 본 암은 회백색 내지 암회색을 띠며, 갈마봉 북쪽 해안가에서 장항 선착장인 서쪽으로 감에 따라 결정 크기가 점차적으로 커짐을 관찰할 수 있다. 본 암에서는 부분적으로 사장석이 정장석을 둘러싸고 있는 라파키비(rapakivi) 조직을 육안으로 관찰할 수 있다. 각섬석화강섬록암의 모우드 분석 결과, 사장석 24~54%, 석영 22~41%, 정장석 10~21%, 각섬석 최대 2%, 흑운모 최대 1%, 변질에 의해 이차적으로 생성된 녹니석 6~24%, 녹염석 최대 5% 등으로 구성된다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정 및 알바이트-칼스바드 쌍정과 누대구조를 보이며, 사장석의 중심부가 녹니석과 녹염석으로 변질되어 있고 사장석의 가장자리에 띠처럼 보이는 체 조직(sieve texture)을 볼 수 있다. 각섬석은 전형적인 2 방향의 벽개를 나타내고, 또한 중심부와 주변부가 소광을 달리 하는 미약한 누대구조를 가진다. 대부분의 각섬석과 흑운모는 녹니석화 되었으며, 석영과 정장석은 미문상 조직을 나타내기도 한다.

**화강암:** 본 암은 섬의 북쪽에서 각섬석 화강섬록암과 염기성 마그마 포획체가 나타나는 곳에서 관찰된다. 또한 석영 결정들 둘러싸고 있는 각섬석(hornblende-mantled quartz)도 육안으로 관찰된다. 현미경 관찰에 의하면 석영 15~38%, 정장석 27~41%, 사장석 14~35%, 각섬석 최대 15%, 흑운모 최대 0.4%, 변질에 의해 이차적으로 생성된 녹니석 8~17%, 녹염석 1~6% 등으로 구성된다. 사장석은 반자형으로 알바이트 쌍정 및 알바이트-칼스바드 쌍정을 보이고 누대구조를 나타내며 중심부가 쇼슈라이트 작용에 의해 녹니석과 녹염석으로 변질된 것을 볼 수 있다. 각섬석과 흑운모는 대부분이 녹니석화되었으며, 석영의 가장자리를 미세한 각섬석 결정이 둘러싸고 있는 것이 관찰(Fig. 2e)되는데, 이는 마그마 혼합의 증거가 될 수 있다(Stull, 1979). 즉 난형의(ovoidal) 석영은 주변부에 작은 각섬석 결정들을 포함하고 있으며, 이는 보다 염기성 마그마의 혼합에 의해 석영의 가장자리에 각섬석 결정들이 포함된 것으로 추정된다(Hibbard, 1995).

**염기성 마그마 포획체:** 섬의 북동부 선착장 부근에서 각섬석 화강섬록암이 주체가 되어 다량으로 염기성 마그마 포획체를 함유하고 있다. 염기성 마그마 포

획체는 암청색을 띠며, 크기가 수 cm~1 m 내외로 대부분이 규칙적인 타원의 형태를 보이며, 수 m의 크기를 가지는 것은 대부분 불규칙한 모양을 가진다. 서쪽으로 진행함에 따라 각섬석 화강섬록암의 결정 크기가 커짐을 관찰할 수 있으며, 염기성 마그마 포획체가 불규칙적인 형태를 나타내나 국부적으로는 뚜렷한 경계를 이룬다. 각섬석 화강섬록암과의 뚜렷한 경계를 이루는 것은 모양이 타원형으로 규칙적인 것이며, 뚜렷한 경계를 이루지 않는 것은 그 형태나 모양이 불규칙적인 것이다. 또한, 염기성 마그마 포획체의 크기가 수 m로 큰 경우에는 주체를 이루는 각섬석 화강섬록암이 염기성 마그마 포획체에 의해 둘러싸이는 것과 같은 역의 양상을 보이기도 한다. 염기성 마그마 포획체의 모우드분석(Table 1) 결과에 의하면 석영은 0.1%, 정장석 7%, 사장석 70%, 각섬석 17%, 녹니석 5%, 녹염석 0.8% 등을 차지한다(Fig. 2f). 사장석은 반자형이며 알바이트 쌍정 및 알바이트-칼스바드 쌍정을 보이며 중심부가 쇼슈라이트 작용에 의해 녹니석과 녹염석으로 변질되었다. 석영은 그 주변부에 각섬석 결정을 함유하고 있다. 염기성 마그마 포획체 중 가장 매퍽(mafic) 시료를 Q-A-P 삼각도에 도시해 보면 섬록암(시료 216) 영역에 해당한다(Fig. 3a).

**Table 3. The representative chemical compositions of plagioclase from the rocks in Gadeog Island.**

Sample No.	Andesite								Granodiorite								Granite
	[core]				→ [rim]				[core]				→ [rim]				
	311								219								216i
	3	5	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	1	
SiO <sub>2</sub>	55.34	53.73	55.88	55.58	53.73	56.13	56.06	56.29	56.51	58.12	59.88	60.05	60.92	59.06	60.33	62.75	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.74	28.30	27.15	27.06	28.57	26.84	26.99	26.83	26.75	26.36	25.02	24.60	24.49	24.86	24.01	22.99	
FeO	0.59	0.37	0.69	0.46	0.58	0.45	0.35	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.35	0.38	0.00	0.00	
CaO	9.76	11.09	10.01	10.17	11.47	9.58	9.47	8.87	8.94	8.26	6.74	6.85	6.01	7.06	5.89	4.73	
Na <sub>2</sub> O	5.73	4.62	5.27	5.55	4.78	5.71	5.54	6.18	6.28	6.70	7.29	7.26	7.91	7.37	8.01	8.78	
K <sub>2</sub> O	0.44	0.31	0.48	0.38	0.21	0.38	0.53	0.28	0.30	0.40	0.52	0.52	0.61	0.34	0.41	0.40	
Total	98.60	98.42	99.48	99.20	99.33	99.32	98.94	98.45	98.78	100.29	99.45	99.27	100.28	99.07	98.64	99.64	
Numbers of cation on the based of 8 oxygens																	
Si	2.53	2.47	2.53	2.53	2.45	2.54	2.55	2.56	2.57	2.60	2.68	2.69	2.71	2.67	2.72	2.79	
Al	1.44	1.53	1.45	1.45	1.53	1.43	1.45	1.44	1.43	1.39	1.32	1.30	1.28	1.32	1.28	1.20	
Fe	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	
Ca	0.48	0.55	0.49	0.50	0.56	0.47	0.46	0.43	0.44	0.40	0.32	0.33	0.29	0.34	0.28	0.23	
Na	0.51	0.41	0.46	0.49	0.42	0.50	0.49	0.55	0.55	0.58	0.63	0.63	0.68	0.64	0.70	0.76	
K	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	
Mole percent (%)																	
Ab	50.10	42.20	47.40	48.70	42.50	50.80	49.80	54.80	55.00	58.10	64.20	63.80	68.00	64.10	69.50	75.30	
An	47.30	56.00	49.70	49.20	56.30	47.00	47.00	43.60	43.20	39.60	32.90	33.20	28.50	33.90	28.20	22.40	
Or	2.60	1.80	2.90	2.20	1.20	2.20	3.20	1.60	1.80	2.30	2.90	3.00	3.50	2.00	2.30	2.30	

Table 4. Chemical compositions of clinopyroxene from the andesite in Gadeog Island.

Andesite										
311										
Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	52.39	52.08	52.35	52.61	51.98	52.06	52.35	52.29	52.37	52.01
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.27	0.45	0.28	0.60	0.41	0.40	0.38	0.38	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.45	1.23	1.67	1.49	1.75	1.42	1.36	1.35	1.37	0.99
FeO	9.73	10.28	10.13	10.55	10.26	10.36	10.67	10.72	10.56	10.95
MnO	0.39	0.55	0.60	0.37	0.43	0.49	0.00	0.45	0.00	0.37
MgO	14.20	14.35	14.10	14.24	14.08	13.99	14.16	13.95	14.35	14.07
CaO	20.07	20.47	20.27	20.78	19.98	19.87	20.35	19.95	19.78	20.21
Na <sub>2</sub> O	0.43	0.34	0.33	0.42	0.37	0.38	0.29	0.33	0.42	0.52
Total	98.96	99.57	99.89	100.75	99.45	98.99	99.57	99.41	99.22	99.12
Numbers of cation on the based of 6 oxygens										
TSi	1.97	1.95	1.96	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.96
TAl	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
M1Ti	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00
M1Fe <sup>2+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
M1Mg	0.16	0.19	0.17	0.19	0.17	0.17	0.17	0.18	0.16	0.21
M2Fe <sup>2+</sup>	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.80	0.79
M2Mn	0.15	0.14	0.15	0.13	0.16	0.15	0.16	0.16	0.17	0.14
M2Na	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
M2Ca	0.81	0.82	0.81	0.82	0.80	0.80	0.82	0.80	0.80	0.82
Mole percent (%)										
Wo	42.05	41.86	41.99	42.31	41.70	41.55	42.07	41.49	41.21	41.56
En	41.40	40.83	40.64	40.33	40.88	40.72	40.72	40.36	41.61	40.26
Fs	16.55	17.31	17.37	17.36	17.42	17.73	17.21	18.15	17.18	18.18

**토날라이트:** 동리산에서 동으로 약 200 m 지점에서 염기성 마그마 포획체 내에 육안 관찰에 의하여 침상의 각섬석(장경 1.3 cm 내지 1.5 cm)이 함유되어 발달한 토날라이트 암상(시료 218)을 관찰할 수 있다. 이것은 염기성 마그마 포획체와 각섬석 화강섬록암과의 혼합으로 인하여, 침상의 각섬석이 형성되어 토날라이트 암상을 보이는 것으로 추정된다. 경하에서 모우드 분석 결과 석영 19%, 정장석 4%, 사장석 42%, 흑운모 1%, 각섬석 17%, 녹니석 16%, 녹염석 2% 등으로 구성된다. 사장석은 반자형이며 알바이트 쌍정 및 알바이트-칼스바드 쌍정을 보이며 중심부가 쇼슈라이트 작용에 의해 녹니석으로 변질되었으며, 각섬석과 흑운모는 대부분이 녹니석화 되었다.

### 광물화학

본 연구에서는 안산암(시료 311), 화강섬록암(시료 214, 219), 화강암(시료 216i) 시료에 함유된 조암광물

중 사장석, 휘석, 각섬석을 분석하였다. 구성광물의 정량분석을 위해 고려대학교 전략광물자원연구소에서 EPMA로 분석하였다. 분석은 에너지분산 모드(EDS)로 JEOL SUPERPROBE JXA-8600의 three channel system을 사용하여, 가속 전압은 15 kV, 빔 크기(diameter)는 5~10 μm, 빔 전류는 10 nA, 분석결정으로는 PET, TAP, LIF를 사용하였다.

### 사장석

안산암의 반정으로 나타나는 사장석과 각섬석 화강섬록암 내의 사장석의 조성을 Table 3에 나타내었으며, 이를 Or-Ab-An 단성분 분류도(Fig. 3b)에 도시하였다.

안산암의 사장석 반정은 An<sub>47-56</sub>으로 안데신과 라브라도라이트에 해당한다. 누대구조를 보이는 반정에서는 중심부에서 주변부로 갈수록 An의 함량은 An<sub>50</sub> → An<sub>56</sub>으로 증가하다가 다시 An<sub>47</sub>로 감소하는 양상을 보인다. 각섬석 화강섬록암에 나타나는 사장석은 대부분 안데신에 해당한다. 사장석에 나타나는 누대구조는 중



**Table 5. Chemical compositions (wt.%) of hornblende from the granitic rocks in Gadeog Island.**

Granodiorite									
219									
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	48.43	48.67	48.55	44.10	48.98	51.27	48.73	49.59	48.26
TiO <sub>2</sub>	1.40	1.33	1.10	2.00	1.40	0.26	1.06	1.08	1.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.01	5.88	5.49	10.42	5.31	4.20	6.12	4.97	6.13
FeO	14.26	14.73	14.41	13.26	13.30	15.47	14.06	13.78	14.02
MnO	0.61	0.81	0.78	0.33	0.70	1.10	0.63	0.55	0.82
MgO	14.30	13.90	14.00	13.53	14.77	14.18	14.31	14.26	13.48
CaO	10.36	10.79	10.61	10.86	10.88	10.18	10.51	10.92	10.48
Na <sub>2</sub> O	1.49	1.49	1.34	2.43	1.34	0.84	1.29	1.17	1.40
K <sub>2</sub> O	0.39	0.29	0.40	0.38	0.53	0.19	0.44	0.46	0.46
Total	97.25	97.88	96.68	97.30	97.21	97.70	97.13	96.77	96.49
Numbers of cation on the based of 23 oxygens									
TSi	7.13	7.15	7.21	6.53	7.20	7.50	7.17	7.31	7.17
TAl	0.87	0.85	0.79	1.47	0.80	0.50	0.83	0.69	0.84
CAI	0.18	0.16	0.17	0.34	0.12	0.22	0.23	0.18	0.24
CCr	0.16	0.15	0.12	0.22	0.16	0.03	0.12	0.12	0.16
CTi	3.14	3.04	3.10	2.98	3.24	3.09	3.14	3.13	2.98
CMg	1.53	1.65	1.61	1.45	1.49	1.66	1.51	1.57	1.62
CFe <sup>2+</sup>	0.23	0.16	0.18	0.19	0.15	0.24	0.22	0.13	0.12
BFe <sup>2+</sup>	0.08	0.10	0.10	0.04	0.09	0.14	0.08	0.07	0.10
BMn	1.64	1.70	1.69	1.72	1.71	1.60	1.66	1.73	1.67
BCa	0.06	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.08	0.11
BNa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ANa	0.37	0.38	0.35	0.65	0.33	0.21	0.32	0.26	0.30
AK	0.07	0.06	0.08	0.07	0.10	0.04	0.08	0.09	0.09

심부에서 주변부로 갈수록 An함량은 An<sub>44</sub> → An<sub>40</sub> → An<sub>33</sub> → An<sub>28</sub>로 감소한다. 즉 중심부에서 주변부로 갈수록 Ca함량은 감소하고 Na의 함량이 점진적으로 증가하는 정누대구조(normal zonal structure)를 나타낸다. 화강암내의 사장석은 An<sub>22</sub>로 올리고클레이스에 해당한다.

**휘석**

반상안산암 내의 분석된 휘석의 조성은 Table 4에 나타나 있으며, 이를 Wo-En-Fs 단성분 분류도(Fig. 3c)에 나타내었다.

안산암에서 반정으로 나타나는 휘석은 Wo<sub>41-42</sub>En<sub>40-42</sub>Fs<sub>17-18</sub>로 Wo-En-Fs 단성분 분류도에서 보통휘석(augite) 영역에 해당한다. 휘석은 성분 변화가 거의 없이 일정한 조성을 나타낸다.

**각섬석**

화강섬록암 내의 각섬석의 분석치는 Table 5와 같으

며, 이를 (Na+Ca)<sub>B</sub>에 대한 Na<sub>B</sub> 비의 분류표(Fig. 3d)에 도시해 보면, 모두 calcic amphibole group에 속한다.

**암석화학**

각 암상을 대표하는 신선한 시료 15개를 선별하여 주성분원소와 미량원소(Cr, Co, Ni, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Cs, Hf, Ta, Pb, Th, U, Ba) 및 희토류원소를 한국기초과학지원연구원 서울분소에 의뢰하여 XRF(X선 형광분광분석장치)와 ICP-MS(유도결합플라즈마 질량분석기)로 분석하여 화학조성을 구하였다. 전암분석을 위해 신선한 샘플을 선별하고 오염을 최소화하여 1 cm 이하의 크기로 파쇄, 증류수로 세척한 후 106°C 이상에서 24시간 이상 건조시킨 뒤 부산대학교 공동실험실습관 지구과학기질서의 암석분쇄기로 고체분말시료를 제작하였다.

Table 6. Major element composition (wt.%) and CIPW norm of the igneous rocks in Gadeog Island.

Rock Type	Andesite				Andesitic tuff		Rhyolitic tuff		Rhyolite		MME* Tonalite		Granodiorite		
Sample No.	195	822	311	308	111	825	110	824	112	113	216	218	214	219	215
SiO <sub>2</sub>	58.80	60.83	61.65	68.02	65.68	60.80	72.85	76.00	76.37	77.90	50.52	57.24	62.83	66.95	68.49
TiO <sub>2</sub>	0.79	0.79	0.72	0.64	0.62	0.75	0.29	0.48	0.21	0.17	1.03	0.97	0.68	0.51	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.57	16.32	16.10	15.10	15.42	16.54	13.50	14.07	13.10	12.56	18.46	16.71	15.67	15.46	15.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.71	2.45	2.34	2.10	2.06	2.36	1.15	0.99	0.61	0.55	2.03	3.17	2.34	1.91	0.00
FeO	4.53	4.07	3.90	1.88	2.78	3.95	1.03	0.89	0.54	0.50	7.31	5.30	3.91	2.59	2.15
MnO	0.21	0.15	0.13	0.13	0.13	0.39	0.15	0.06	0.04	0.04	0.28	0.18	0.18	0.09	0.07
MgO	4.01	2.55	3.04	1.04	1.77	2.57	0.62	0.53	0.14	0.04	4.38	2.88	2.18	1.62	1.28
CaO	4.76	5.62	6.29	2.87	2.68	4.66	1.22	1.86	0.68	0.19	8.78	5.50	4.47	4.36	3.99
Na <sub>2</sub> O	2.62	3.29	2.52	3.62	3.69	3.90	2.84	0.17	3.75	4.13	2.37	3.49	3.29	3.22	2.98
K <sub>2</sub> O	1.97	1.98	1.76	2.94	2.91	0.74	4.19	3.35	3.76	3.07	1.41	1.85	2.01	1.88	2.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.18	0.16	0.19	0.13	0.15	0.07	0.04	0.03	0.02	0.30	0.22	0.13	0.14	0.10
LOI	2.41	1.37	0.96	1.20	1.75	2.70	2.03	2.44	0.83	0.80	1.73	1.51	1.67	1.03	1.14
Total	100.03	100.05	100.00	99.93	99.93	101.95	100.05	100.98	100.12	100.02	99.41	99.60	99.78	100.04	100.16
CIPW norm															
Q	18.39	17.68	21.63	28.52	24.37	20.34	37.39	58.35	38.81	41.98	3.41	12.34	22.00	28.87	32.60
Or	12.00	11.92	10.56	17.65	17.59	4.52	25.31	20.13	22.41	18.31	8.61	11.22	12.17	11.26	12.27
Ab	22.80	28.31	21.60	31.05	31.87	34.05	24.51	1.46	31.94	35.20	20.68	30.25	28.46	27.56	25.49
An	23.42	24.30	27.76	13.33	12.81	22.99	5.77	9.14	3.22	0.83	36.66	25.05	21.93	21.09	19.46
C	1.83	0.00	0.00	1.15	1.63	1.19	2.26	6.96	1.69	2.15	0.00	0.00	0.22	0.49	1.47
Di(wo)	0.00	1.26	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.72	0.68	0.00	0.00	0.00
Di(en)	0.00	0.71	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.36	0.00	0.00	0.00
Di(fs)	0.00	0.49	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.29	0.00	0.00	0.00
Hy(en)	10.32	5.78	6.96	2.64	4.52	6.64	1.58	1.35	0.35	0.10	9.95	7.02	5.58	4.10	3.24
Hy(fs)	5.31	4.00	3.91	0.91	2.67	4.94	0.76	0.14	0.22	0.26	93.58	5.69	4.56	2.53	2.03
Mt	4.05	3.62	3.44	3.09	3.05	3.53	1.70	1.46	0.89	0.80	3.04	4.71	3.47	2.81	2.35
Il	1.55	1.53	1.39	1.23	1.20	1.47	0.56	0.93	0.40	0.33	2.02	1.89	1.32	0.98	0.87
Ap	0.34	0.40	0.35	0.42	0.29	0.34	0.16	0.09	0.07	0.04	0.60	0.49	0.29	0.31	0.22

MME\* = mafic magmatic enclave.

### 주성분원소

본 역의 화산암 및 심성암에 대한 주성분원소의 분석값 및 CIPW 노름값을 Table 6에 나타내었다.

화산암 시료 10개 중 안산암의 SiO<sub>2</sub>의 함량 범위는 59~68wt.%, 안산암질응회암은 61~66 wt.%이며, 유문암은 76~78wt.%이며, 유문암질 응회암은 73~76wt.%이다.

본 역 화산암류를 TAS 다이어그램(Le Maitre *et al.*, 1989)에 도시해 보면, 안산암, 테사이트, 유문암의 넓은 조성범위를 나타낸다(Fig. 4a). 이를 하커 다이어그램(Fig. 5)에 도시해 보면, 전체적으로 SiO<sub>2</sub>의 함량이 58wt.%에서 78wt.%로 증가함에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 17~13 wt.% 범위에서, total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 9~1wt.%의 범위에서 TiO<sub>2</sub>는 약 1wt.% 내에서 직선으로 감소하는 경향을 뚜렷하

게 보이며, MnO도 감소하는 경향을 보인다. TiO<sub>2</sub>는 0.17~0.79wt.%로 비교적 낮은 함량을 나타내는데, Ti는 지판의 침강 섭입에 연관된 대륙연변부나 도호에 분포하는 화산암에서 흔히 고갈되기 쉬운 대표적인 HFSE(high field strength elements) 중의 하나이다. CaO는 6wt.% 이하의 범위에서 급격한 감소를 보이는데, 이는 사장석의 분별정출작용 때문으로 해석된다. MgO는 ~4wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 ~0.18wt.% 이하로 거의 일직선에 가깝게 감소하는 경향을 보인다. K<sub>2</sub>O는 ~4wt.% 이하의 범위에서 다소 분산되나, 대체적으로 증가하는 양상을 나타내고, Na<sub>2</sub>O는 분산되나 거의 일정한 값을 나타낸다.

암석계열을 분류하기 위해 SiO<sub>2</sub>에 대한 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 다이어그램(Fig. 4a)을 살펴 도시해 보면, 서브알칼리암

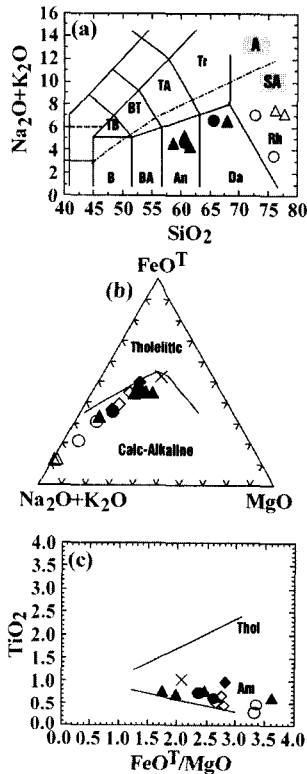


Fig. 4. (a). TAS diagram (Le Maitre, 1989) of the volcanic rocks. (b). AFM diagram of the igneous rocks (Irvine and Baragar, 1971) (Symbols:  $\diamond$ : Hornblende graniorite,  $\blacklozenge$ : Tonalite,  $\times$ : MME,  $\blacktriangle$ : Andesite,  $\bullet$ : Andesite tuff,  $\triangle$ : rhyolite,  $\circ$ : rhyolite tuff), (c).  $TiO_2$  vs  $FeO/MgO$  diagram. Thol: typical tholeiitic trend of the Skaergaard intrusion, Am: typical calc-alkaline trend of the Amagi volcano, Japan (Miyashiro, 1974).

계열에 도시된다. 또한, 서브알칼리암 계열의 암석을 슐리아이트 계열과 칼크알카리 계열로 구분할 수 있는 AFM 삼각다이어그램(Irvine and Baragar, 1971)에 도시해 보면 칼크알카리계열의 평균조성에 가까운 분화경향을 나타낸다(Fig. 4b).  $FeO/MgO$ 에 대한  $TiO_2$  변화도에서  $TiO_2$ 가 증가함에 따라  $FeO/MgO$ 가 점진적으로 감소하는 칼크알카리암 계열의 변화경향을 나타낸다(Fig. 4c).

심성암 시료 5개 중 Q-A-P 다이어그램(Fig. 3a)에서 화강섬록암에 해당하는 암석의  $SiO_2$ 의 함량 범위는 63~69wt.%, 토날라이트는 57wt.%, 염기성 마그마 포획체는 51wt.%이다. 이를 하커 다이어그램에 도시하면,  $SiO_2$ 의 함량이 증가함에 따라  $Al_2O_3$ , total  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , MnO, CaO, MgO,  $P_2O_5$ 는 화산암류와 마찬가지로 거의 직선상으로 감소하는 경향을 나타내며,  $K_2O$ 는 다소 분산되나 증가하는 경향을 보인다(Fig. 5).

심성암의  $SiO_2$  함량에서 주목할 점은 하나의 단성분으로 볼 수 있는 화강섬록암(시료 215의 68.5wt.%)과 염기성 마그마 포획체(시료 216의 50.5wt.%)의  $SiO_2$  함량의 중간 값을 화강섬록암(시료 214의 62.8wt.%)이 가진다는 것이다. 이 화강섬록암은 암석기재에서 언급한 바와 같이 염기성 마그마 혼합체와 화강섬록암과의 혼합대(mixing zone)에서 나타나는 암석이다. 또한 토날라이트(시료 218)는 염기성 마그마 포획체 내 근접하여 관찰되는 암상으로,  $SiO_2$ 의 함량이 혼합대의 화강섬록암 보다는 염기성 마그마 포획체에 더욱 가까운 값(57wt.%)을 가진다. 이는 야외 산상에서 육안으로 관찰되는 마그마 혼합을 주성분 화학분석치로 확인할 수 있는 예가 될 수 있다.

### 미량원소 및 희토류원소

본 역의 15개 시료의 미량원소와 희토류원소의 조성을 Table 7에 나타내었다.

화산암 시료 중 반상안산암에 대한 미량원소인 Cr의 함량 범위는 3~59 ppm이며, Ni의 함량 범위는 2~25 ppm으로 비교적 낮은 함량을 나타내는데, 이것은 Ni, Cr이 고질질 광물에 농집되는 호정성 원소로 휘석 등의 광물이 분별정출할 때 보통 분별된다. Rb의 함량 범위는 47~100 ppm으로 조산대의 high-K 안산암의 함량범위인 100 ppm 이하에 해당한다. Sr의 함량은 265~410 ppm의 성분범위를 나타내는데, 이것은 Gill(1981)이 제시한 조산대 안산암의 성분범위 100~1000 ppm에 해당된다. 유문암질암의 미량원소 중 Cr의 함량 범위는 2~3 ppm으로 반상안산암과 응회암질암에 비해 낮은 값을 가지며, Sr의 함량은 약 95 ppm이다. Y의 함량은 반상안산암의 함량 범위와 유사한 26~33 ppm이며, Hf의 함량범위는 4~6 ppm으로 반상안산암과 마찬가지로 아주 낮은 함량을 보인다. Ba의 함량 범위는 710~718 ppm으로 반상안산암과 응회암에 비해 높은 값을 가진다.

심성암 시료의 희토류원소의 분석치 중 Co의 함량 범위는 56~142 ppm으로  $SiO_2$ 가 증가함에 따라 대체적으로 함량이 증가하며, 경상분지의 화강암류(진명식, 1988)의 평균치 13 ppm에 비해 높은 함량 범위를 보인다. 화강섬록암의 Rb의 함량 범위는 47~59 ppm으로 경상분지 화강암류(진명식, 1988)의 평균치 100~148 ppm에 비해 낮은 함량범위를 보인다. Rb은 운모, K-장석에 함유된 원소로 마그마 분화가 진행됨에 따라 유체에 농집되어 분화말기에 보통 함량이 증가한다. 그러나 본역의 화강암에서는 함량의 변화가 크지 않다.  $SiO_2$  함량이 증가함에 따라 Sr은 점진적으로 감소하는 경향

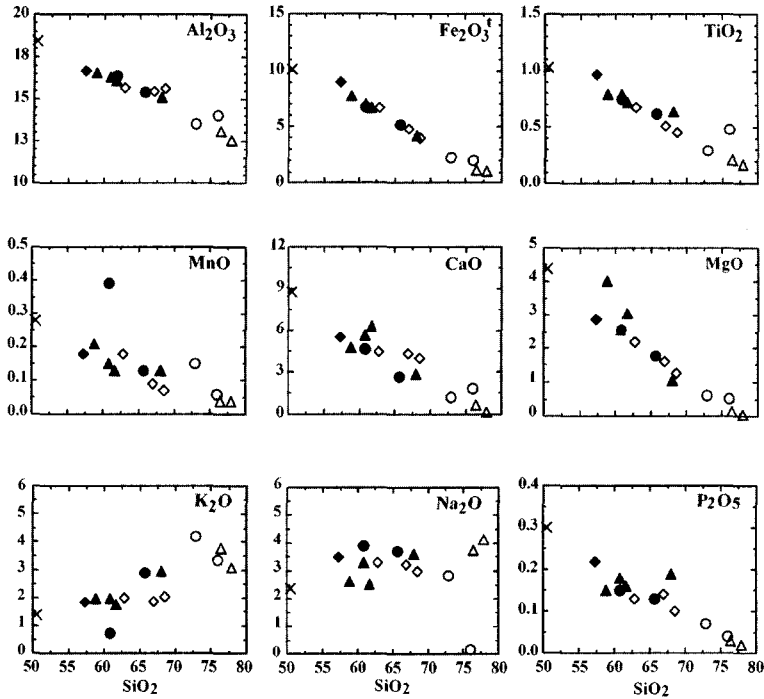


Fig. 5. Harker variation diagrams. Symbols are the same as in Fig. 4.

을 나타낸다(Fig. 6). Rb과 Ba은 점진적으로 증가하는 경향을 보이며, Cr, Ni은 중성화산암과 염기성 마그마 포획체에서는 넓은 범위의 조성을 보여 거의 수직으로 급격하게 감소하는 경향을 보이는 반면, 유문암류에서는 낮은 함량을 보이며, 조성범위도 좁다. Zr은 분산되어 뚜렷한 경향을 볼 수 없으나, 화산암류가 화강암류에 비해 다소 높은 값을 나타낸다.

미량원소 함량을 MORB로 표준화(Nakamura, 1974) 하여 그 함량분포 특성을 알아보면 안산암, 응회암, 유문암 그리고 화강암류는 전체적으로 불호정성원소인 Rb, Ba, Th이 부화되어 있고, Nb이 결핍되어 있으며, Y 및 Yb으로 감에 따라 감소하는 경향을 보인다(Fig. 7). 이러한 변화경향은 지판의 침강섭입에 연관된 조산대의 화산암류가 나타내는 전형적인 특징으로 알려져 있다(Michael and Ulrich, 1993). 안산암에서 유문암으로 감에 따라 Sr, Nb은 점차 감소하는데, Sr의 고갈은 사장석의 분별정출에 의한 것으로 해석할 수 있다. 화강암에서는 희토류원소와 Zr, Hf의 낮은 조성을 나타내는데, 이는 저어콘의 분별정출과 연관된 것으로 사료된다.

희토류원소 함량을 콘드라이트로 표준화한 변화도(Fig. 8)에서 안산암에서 유문암으로 갈수록 Eu 부(-)이상이 커지며 전체적으로 경희토류원소가 중희토류원소

에 비해 부화되어 있는 양상을 보인다. 화강암류에서는 약한 Eu 부(-) 이상을 보이나 일부 화강섬록암에서는 미약한 정(+) 이상을 나타낸다. 희토류원소의 변화경향이 서로 대체적으로 평행한 배열을 나타내는 데, 이는 본 역의 화산암류와 심성암류가 동원마그마로부터 유래되었음을 말해준다(Fodor *et al.*, 1992).

## 조구조적 위치

화산암류의 조구조적 위치를 알아보기 위해서 Wood(1980)에 의해 제안된 Hf-Th-Nb의 조구조적 위치분류표(Fig. 9a)에 도시해 보면, 본 역의 화산암류들은 지판이 침강 섭입하는 지판경계부(destructive plate margin)에서 형성된 마그마로부터 유래한 화산암류의 조구조적 위치인 D의 영역에 도시된다.

심성암류는 Pearce *et al.*(1984)이 화강암류를 형성시킨 지구조적 위치를 총돌대 화강암(COLG), 지판내부 화강암(WPG), 화산도호 화강암(VAG), 해령 화강암(ORG)의 4가지 영역으로 나눈 Rb-Y+Nb 성분분류도에 도시해 보면, VAG영역, 즉 화산호 영역에 도시된다(Fig. 9b).

이것은 유전층군의 화산암류와 이를 관입하고 있는

**Table 7. Some trace and rare earth element analyses (ppm) of the igneous rocks in Gadeog Island.**

Rock Type	Andesite				Andesitic tuff		Rhyolitic tuff		Rhyolite		MME Tonalite		Granodiorite		
Sample No.	195	822	311	308	111	825	110	824	112	113	216	218	214	219	215
Cr	59.3	27.2	44.5	2.9	8.9	28.9	3.4	5.0	2.2	2.8	37.1	0.9	3.5	6.2	5.1
Co	32.8	56.7	57.0	63.8	31.8	27.1	49.4	23.0	81.1	118.6	66.6	56.2	103.0	141.9	130.2
Ni	24.7	9.6	17.1	1.9	3.8	12.5	2.4	8.1	1.3	1.3	25.6	1.5	1.6	4.2	2.2
Cu	42.7	15.3	37.5	8.3	7.9	10.2	11.0	6.8	10.2	9.1	40.1	8.7	38.2	13.7	3.7
Zn	104.5	72.8	66.2	84.5	82.1	627.4	158.0	84.6	75.3	30.3	133.0	102.2	100.7	55.3	32.2
Rb	71.8	60.6	47.0	99.8	89.9	23.9	137.4	204.9	120.4	100.1	28.2	62.7	65.8	47.1	59.4
Sr	367.6	410.3	324.9	264.9	277.2	279.5	132.4	92.9	95.1	94.9	418.1	359.6	345.2	327.7	312.7
Y	23.4	27.9	22.8	24.1	23.2	30.0	18.0	24.9	26.0	32.5	19.5	25.6	23.5	13.3	12.7
Zr	157.7	174.8	156.2	146.3	136.6	173.5	75.8	232.6	213.4	126.9	87.4	37.7	27.3	19.9	19.0
Nb	8.2	15.3	7.1	13.9	16.0	26.4	7.6	11.1	8.8	9.1	19.5	4.7	9.2	6.5	20.3
Cd	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	1.6	0.3	1.4	0.3	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1
Cs	5.8	1.7	2.1	3.5	2.4	1.0	6.8	9.1	2.8	2.3	1.8	2.2	4.2	1.4	2.7
Hf	3.9	4.9	4.1	4.0	3.8	4.4	2.5	5.5	5.9	3.8	2.2	1.1	0.9	0.5	0.7
Ta	1.8	3.1	2.8	1.7	3.8	3.4	1.3	1.6	1.2	2.3	4.1	0.7	6.7	1.4	0.1
Pb	8.9	15.4	13.5	23.6	12.3	42.5	51.7	137.8	30.2	34.1	55.0	7.2	32.4	31.9	11.4
Th	6.0	7.5	7.0	10.7	7.9	7.3	12.7	9.3	12.4	11.3	4.2	6.4	8.3	5.4	7.4
U	1.5	1.8	1.3	3.0	1.9	2.0	2.6	2.2	3.0	2.6	1.0	1.9	1.8	0.7	1.1
Ba	470.8	365.9	351.3	425.4	548.1	224.2	660.4	201.8	710.8	718.3	378.5	241.3	306.3	422.3	432.8
La	17.89	21.02	18.73	22.97	21.28	21.43	22.48	34.79	24.06	23.38	19.09	12.88	12.29	11.70	14.32
Ce	39.74	46.38	42.43	50.04	45.51	44.22	45.47	50.16	46.23	38.10	40.87	30.76	26.31	24.02	26.55
Pr	5.06	6.11	5.14	6.03	5.57	6.35	5.78	8.29	6.29	5.72	5.43	4.23	3.60	2.91	3.11
Nd	20.05	23.94	20.42	22.47	21.14	25.49	20.19	28.57	23.15	21.12	22.24	18.40	15.19	11.59	11.80
Sm	4.55	5.51	4.69	4.91	4.64	5.60	3.80	5.83	4.92	4.65	4.81	4.58	3.78	2.48	2.37
Eu	1.22	1.27	1.10	1.24	1.18	1.35	0.76	1.00	0.87	0.80	1.39	1.28	1.02	0.87	0.94
Gd	4.91	5.47	4.90	4.86	4.67	5.85	3.81	5.50	5.08	5.10	4.86	4.71	4.08	2.69	2.56
Tb	0.74	0.88	0.76	0.76	0.75	0.95	0.52	0.84	0.79	0.82	0.73	0.84	0.64	0.41	0.38
Dy	4.35	5.47	4.33	4.50	4.69	6.05	3.53	5.17	5.09	5.41	4.21	5.07	4.21	2.76	2.30
Ho	0.88	1.08	0.95	0.91	0.90	1.17	0.65	0.92	1.01	1.10	0.79	0.99	0.88	0.50	0.46
Er	2.79	3.15	2.74	2.69	2.89	3.36	2.03	3.00	3.11	3.47	2.20	2.97	2.72	1.59	1.45
Tm	0.37	0.44	0.41	0.45	0.41	0.50	0.29	0.41	0.52	0.50	0.32	0.44	0.40	0.21	0.21
Yb	2.68	2.98	2.45	2.80	2.88	3.31	2.16	2.77	3.41	3.25	1.88	2.87	2.79	1.43	1.42
Lu	0.43	0.49	0.40	0.43	0.40	0.50	0.35	0.43	0.48	0.56	0.28	0.46	0.43	0.22	0.21
REE	105.66	124.19	109.45	125.06	116.91	126.13	111.82	147.68	125.01	113.98	109.10	90.48	78.34	63.38	68.08
(La/Lu) <sub>N</sub>	4.29	2.95	2.89	7.02	4.82	7.03	4.42	5.48	5.50	5.16	6.62	4.42	4.30	8.34	5.48
(Eu/Eu*) <sub>N</sub>	0.84	0.72	0.71	0.79	0.79	0.74	0.62	0.55	0.54	0.51	0.89	0.86	0.81	1.05	1.19

MME\* = mafic magmatic enclave.

화강암류에 대한 선행연구(차문성, 1976; 김상욱, 1982, 1986; 김상욱 외, 1993; 김영라, 1995; Jin, 1981; 윤성효 등, 1994)에서 맨틀웨지나 해양지판 일부의 부분용융에 의해 형성된 I-형 마그마 기원으로 해석한 것과 일치한다. 즉, 본역의 화산암류와 화강암류는 지판의 섭입에 연관하여 형성된 대륙연변부의 화산도호(conti-

ental margin volcanic arc)의 화산-심성작용과 연관되어 있음을 알 수 있다.

### 결론

가덕도에 분포하는 화산암과 심성암을 대상으로 암

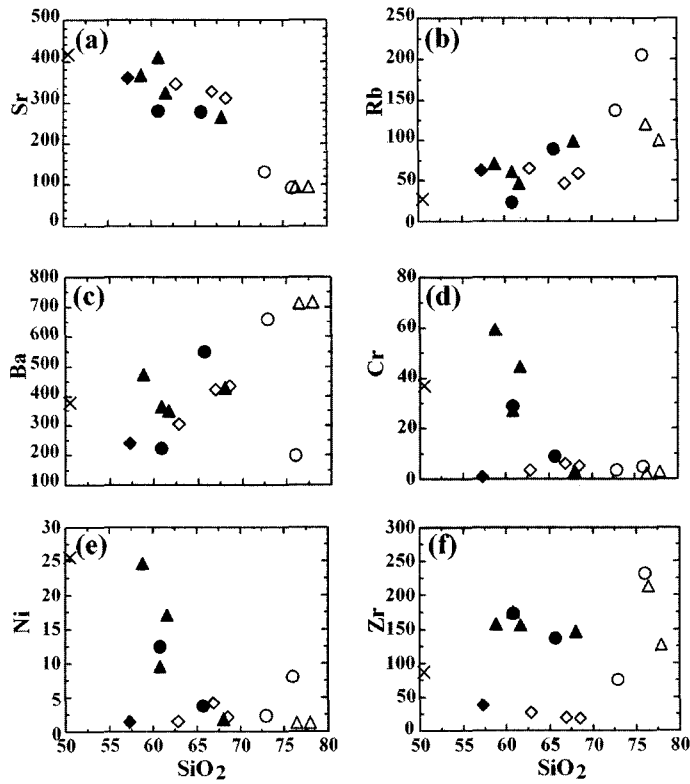


Fig. 6. Some trace elements vs. SiO<sub>2</sub> variation diagram. Symbols are the same as in Fig. 4.

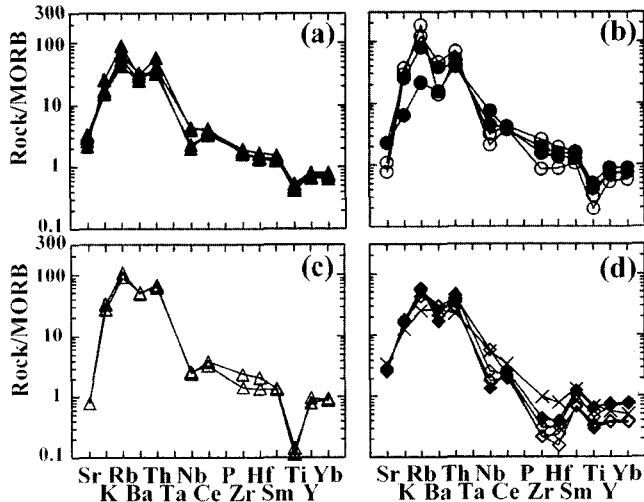


Fig. 7. MORB-normalized trace elements patterns. (a) Andesite, (b) Andesite tuff and rhyolite tuff, (c) rhyolite, and (d) granitic rocks. Symbols are the same as in Fig. 4.

상분류 및 암석기재, 광물조성, 주성분원소와 미량원소 및 희토류원소 등을 분석하여 그 특성을 조사하여 화

산암과 심성암의 조구적 위치를 고찰하였다. 화산암류 중에서 중성화산암류는 조석과 반정의 유

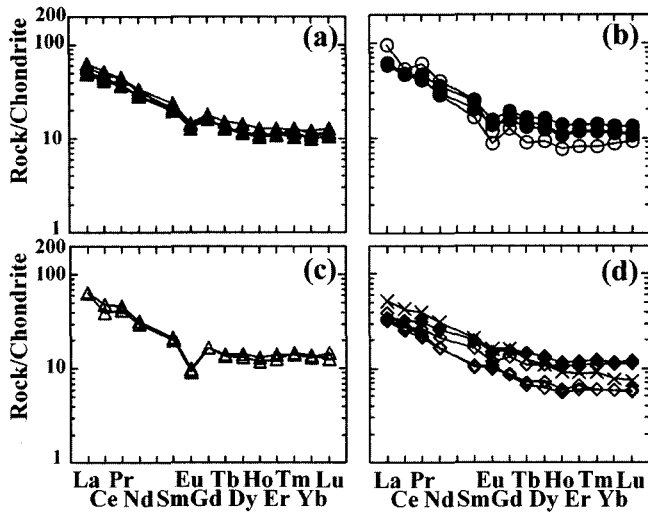


Fig. 8. Chondrite-normalized REE patterns. (a) Andesite, (b) Andesite tuff and rhyolite tuff, (c) rhyolite, and (d) granitic rocks. Symbols are the same as in Fig. 4.

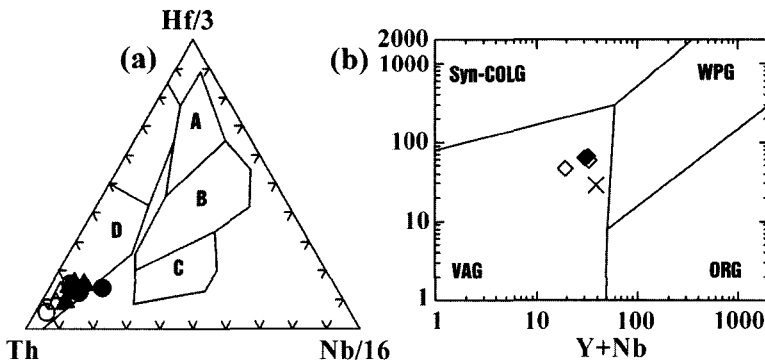


Fig. 9. (a). Tectonic discrimination diagram (Wood, 1980) of the volcanic rocks (Field A: N-type MORB, B: E-type MORB and tholeiitic WPB and differentiates, C: alkaline WPB and differentiates, and D: destructive plate margin basalt and differentiates). (b). Tectonic discrimination diagram (Pearce *et al.*, 1984) of the granitic rocks.

무에 따라 반상안산암과 치밀안산암, 안산암질 화성쇄설암으로 구성된다. 산성화산암류는 유문암, 유문암질 용결응회암, 응회각력암 및 응회암 등으로 구성된다. 심성암류는 유문암질암과 안산암질암을 관입하여 분포하며 각섬석 화강섬록암이 주체를 이루며, 부분적으로 염기성 마그마 포획체를 다수 함유한다.

화강섬록암에 나타나는 사장석은 모두 안데신에 해당하고 누대구조를 보이며, 화강암에 나타나는 사장석은 올리고클레이스에 해당한다. 안산암의 사장석 반정은 안데신과 라브라도라이트에 속한다. 휘석은 안산암에서 반정으로 나타나며 모두 보통휘석에 해당한다. 화강섬록암 내의 각섬석은 모두 켈식감석섬군에 한다.

화산암은 SiO<sub>2</sub>의 함량 범위가 59~78wt.%로 안산암, 테사이트-유문테사이트, 유문암의 조성범위를 나타내고, 칼크알카리계열 암석의 변화경향을 나타낸다. 심성암은 SiO<sub>2</sub>의 함량 범위가 63~69wt.%이다. 변화 양상은 정상분지 내의 백악기 화산암류와 화강암류의 변화 경향과 대체로 일치한다.

미량원소와 희토류원소의 조성변화는 지판의 침강 섭입에 연관된 조산대의 화산암류의 전형적인 특징을 보이며, 전체적으로 경희토류원소가 중희토류원소에 비해 부화되어 대체로 평행한 배열을 보여 화산암류와 화강암류가 동원마그마에서 유래되었음을 알 수 있다. 즉, 본 역의 화산암류와 화강암류는 대륙연변부의 화

산도호의 지판의 섭입에 연관하여 형성된 화산작용과 연관되어 있음을 알 수 있다.

## 감사의 글

본 논문을 읽고 유익한 비평과 조언을 주신 한국해양연구소 이종익 박사과 익명의 심사자, 그리고, 전북대 오창환 교수에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김규한, 이진수, 1993, 경상퇴적분지내에 분포하는 백악기 화산암류의 암석지구화학적 연구. 지질학회지, 29, 84-96.
- 김상욱, 1982, 북부 유천분지내에 분포하는 후기 백악기 화산암류의 암석학적 연구. 서울대학교 박사 학위논문, 133p.
- 김상욱, 1986, 경상분지에서의 후기 백악기 화성활동에 관한 연구. 이상만 교수 송수기념 논문집, 167-194.
- 김상욱, 이영길, 1981, 유천분지 북동부 백악기 화산암류의 화산암석학 및 지질구조. 광산지질, 14, 35-49.
- 김상욱, 이재영, 김영기, 1993, 대구-자인 지역에 분포하는 백악기 안산암질암류의 암석학적 연구. 지질학회지, 29, 324-337.
- 김영라, 1995, 부산 송도-다대포 일대의 중성화산암류에 대한 암석화학적 연구. 부산대학교 석사학위논문, 47p.
- 김진섭, 윤성효, 1993, 부산 일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구(I). 암석학회지, 2, 156-166.
- 윤성효, 1993, 의성분지 중앙부 금성산 화산암복합체의 화산활동과 콜드론 구조. 지질학회지, 309-323.
- 윤성효, 상기남, 1994, 경상분지 남부의 백악기 화산암복합체의 콜드론구조 및 지질년대. 지질학회지, 15, 376-391.
- 윤성효, 김진섭, 김영라, 1994, 부산 일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구(II) - 조구조적위치 및 성인. 한국지구과학회지, 15, 356-365.
- 윤성효, 고정선, 김영라, 1996, 부산 남부 일원의 백악기 안산암질 화산암류에 대한 암석학적 연구-송도-다대포지역을 중심으로-. 한국지구과학회지, 17, 472-488.
- 윤성효, 이준동, 이상원, 고정선, 서윤지, 1997, 거제도 화산암의 암석학적 연구. 암석학회지, 6, 1-18.
- 윤성효, 김은희, 고정선, 김영라, 1998, 부산 가덕도 일원 백악기 화산-심성암류의 암석학적 연구. 대한자원환경지질학회 공동학술발표회 발표논문 요약집, 47.
- 장태우, 강필중, 박숙환, 황상구, 이동우, 1983, 한국지질도 (1 : 50,000) 부산-가덕도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 20 p.
- 조동룡, 권성택, 1994a, 남한의 중생대 화강암의 Fe-Ti 산화광물에 대한 암석기재와 광물화학 : 계열분류에 대한 고찰. 암석학회지, 3, 1-19.
- 조동룡, 권성택, 1994b, 남한의 중생대 화강암 대한 각섬석 지암계 지각 두께의 진화. 지질학회지, 30, 41-61.
- 진명식, 1988, 남한의 백악기-제 3기 화강암류의 지화학적 연구, 제 2편: 미량원소 지화학. 지질학회지, 24(특별호), 168-188.
- 차문성, 1976, 부산지역의 불국사 산성화성암류의 암석학적 연구. 광산지질, 9, 85-106.
- 황상구, 김상욱, 1994, 밀양-양산지역 백악기 화산암류의 암석학적 연구(I): 암석조구조적 위치. 지질학회지, 30, 229-241.
- 황상구, 1996, 양산칼데라에 관련된 화산암류의 암석학적인 진화. 지질학회지, 32, 208-222.
- Barbarin, B., 1988, Field evidence for successive mixing and mingling between the Piolard Diorite and the Saint-Julien-la-Vetere Monzanite (Nord-Foréz, Masif Central, France). Can. Jour. Earth Sci., 25, 49-59.
- Chappell, B., W., 1996, Magma mixing and the production of compositional variation within granite suites: evidence from the granites of southeastern Australia. Jour. Petrol., 37, 449-470.
- Didier, J., 1973, Granites and their enclaves, Developments in Petrology, Amsterdam: Elsevier.
- Fodor, R.V., Frey, F.A., Bauer, G.R. and Clague, D.A., 1992, Age, rare-earth element enrichment and alkali basalts from Kahoolawe island, Hawaii. Contrib. Mineral. Petrol., 110, 442-462.
- Gill, J.B., 1981, Orogenic andesites and plate tectonics. Springer-Verlag, Berlin, 336.
- Hibbard, M.J., 1995, Petrography to petrogenesis. Prentice Hall. 242-260.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Jour. Earth Sciences, 8, 523.
- Jin, M.S., 1981, Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in southern Korea, Ph. D. thesis. Seoul Nat'l University, 144p.
- Jwa, Y.J., 1996, Chemical Composition of Korean Cretaceous granites in the Gyeongsang basin I. major element variation trends. Jour. Korean Earth Sciences, 17, 318-325.
- Leake, B.E., and Winchell H., 1978, Nomenclature of amphiboles. Am. Mineral., 63, 1023-1052.
- Le Maitre, R.W., 1989, A propose by the IUGS subcommission 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.
- Michael B. and Ulrich K., 1993, Significance slab-derived partial melts and aqueous fluids for the genesis of tholeiitic and calc alkaline island-arc basalts: Evidence from Mt. Arayat, Philippines. Chem. Geol., 105, 233-251.
- Morimoto, N., 1988, Nomenclature of pyroxenes. Am. Mineral., 73, 1123-1133.
- Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. J. Sci., 274, 321-355.
- Nakamura, M., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg,



- Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 757-773.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 4, 956-983.
- Stull, R.J., 1979, Mantled feldspars and synneusis. *Am. Mineral.*, 64, 514-518.
- Vernon, R.H., 1984, Microgranitoid enclaves in granite-globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment. *Nature*, 309, 438-439.
- Weinberg, R.F., 1997, The Disruption of a diorite magma pool by intruding granite: The Sobu body, Ladakh Batholith, Indian Himalayas. *Chem. Geol.*, 136, 87-98.
- 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. Letters*, 50, 11-30.

---

(2004년 3월 25일 접수; 2004년 3월 25일 채택)