

## 제주도 우도 단성화산의 현무암에 대한 암석학적 연구

고정선<sup>1</sup> · 윤성효<sup>1,\*</sup> · 현경봉<sup>1,2</sup> · 이문원<sup>3</sup> · 길영우<sup>4</sup>

<sup>1</sup>부산대 지구과학교육과, <sup>2</sup>제주 중앙여자고등학교, <sup>3</sup>강원대 과학교육과, <sup>4</sup>한국기초과학지원연구원 나노소재팀

## Petrology of the basalt in the Udo monogenetic volcano, Jeju Island

Jeong Seon Koh<sup>1</sup>, Sung-Hyo Yun<sup>1,\*</sup>, Gyeong Bong Hyeon<sup>1,2</sup>,  
Moon Won Lee<sup>3</sup> and Young-Woo Gil<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2</sup>Jeju Jungang Girl's High School, Jeju, Jeju-province 690-825, Korea

<sup>3</sup>Department of Science Education, Gangwon National University, Chuncheon, Kangwon-province 200-701, Korea

<sup>4</sup>Nano Material Team, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

**요 약:** 제주도 동부의 우도 단성화산체내에 넓게 분포하는 소머리현무암의 암석기재적 특징과 주구성 광물의 화학성분을 알아보고, 주성분 원소의 함량 조성 특성을 알아보았다. 소머리현무암은 사장석, 감람석, 사방휘석, 단사회석과 티탄철석으로 구성된다. 주성분원소의 조성으로 볼 때, TAS성분도에서 서브-알칼리계열에, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 대한 알칼리지수의 판별도에서는 쏘레이아이트현무암의 영역에 도시된다. 소머리현무암은 노움 석영(3.9% 이하) + 하이퍼신 + 투회석을 가지는 쏘레이아이트 조성의 영역에 도시된다.

**핵심어:** 우도, 단성화산체, 쏘레이아이트 현무암, 사방휘석, 암석기재

**Abstract:** This study was intended to elucidate the petrography and geochemical characteristics of the Someori Basalt in the Udo monogenetic volcano, eastern Jeju Island. The Someori basalts consist of plagioclase, olivine, orthopyroxene, clinopyroxene and ilmenite. The Someori basalts are plotted into sub-alkali rock series on the TAS diagram, and belong to tholeiitic basalts in the diagram of alkali index against to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents. The basalts belong to tholeiitic rock series, having normative quartz (less than 3.9%) + hypersthene + diopside.

**Key words:** Udo, monogenetic volcano, tholeiitic basalt, orthopyroxene, petrography

### 서 론

제주도는 한라산(해발 1950 m)을 중심으로 북동동-남서서 방향의 장축(74 km)과 이에 수직인 방향의 단축(32 km)을 갖는 타원형의 화산섬으로 신생대 제4기 동안의 화산활동에 의해 형성되었으며, 순상화산의 지형을 나타내고, 그 면적은 약 1,850 km<sup>2</sup>에 달한다.

제주도는 해안 가까이에 여러 개의 아주 작은 부속 섬들을 거느리고 있다. 이들 섬 중 가장 큰 것이 우도(牛島)이며, 제주도 동쪽 끝 성산포항으로부터 북동쪽으로 약 3 km 지점에 위치한다. 이 우도는 여러 가지 분출물로 구성된 일운회 화산섬으로서 섬의 남동부에

분화구가 위치하며 분화구 중앙에 분석구(噴石丘), 이의 동쪽과 남쪽 외곽을 따라 응회구(凝灰丘), 응회구의 북쪽과 서쪽 섬의 대부분은 분화구에서 흘러나간 용암류가 용암삼각주(熔岩三角洲)를 형성하고 있다. 우도 화산체는 일운회(一輪廻) 분출에 의해 형성된 단성화산(單成火山)으로 이의 화산과정이 비교적 상세히 밝혀져 있고(황상구, 1992, 1993), 응회구의 퇴적학적 연구도 상세히 연구되어졌다(Sohn, 1992). 그러나, 우도의 대부분을 차지하며 분포하는 우도 소머리현무암(원종관 외, 1993)은 1 : 50,000 성산도폭 지질도에 기재된 후 현재까지 화산암석학적 연구가 자세하게 이루어지지 않고 있다.

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

본 연구는 우도에 넓게 분포하는 현무암의 암석기재적 특징과 주구성광물의 화학성분을 알아보고, 주성분 원소의 함량 조성 특성을 파악함을 목적으로 한다.

### 연구방법

본 연구의 수행을 위하여 야외조사에서는 1:5,000 지형도를 이용하여 야외지질조사를 하였으며, 용암류 간의 상호 관계(층서)를 중심으로 지질조사를 진행하였다. 야외조사를 통하여 연구지역에서 각 용암류의 대표적인 신선한 표품을 채취하여 박편 제작한 후, 편광

현미경하에서 대표적인 14개 박편에 대하여 조직 및 구성광물을 관찰하고 모우드 분석(박편당 2000점)하였다. 모우드 분석시 결정의 크기에 따라 반정(0.7 mm 이상), 미반정(0.7~0.1 mm), 그리고 석기(0.1 mm 이하)로 분류하여 암석기재를 하였다. 광물의 정량분석은 한국 기초과학지원연구원에 설치되어 있는 CAMECA SX-50 전자현미분석기(Electron-probe micro analyzer)를 이용하여 분석하였다. 분석한 광물의 종류는 현무암에 반정과 석기로 나타나는 주요 광물인 감람석, 휘석(단사 휘석과 사방휘석), 사장석 및 불투명광물이며, 분석할 지점을 정밀하게 선택하여 총계 약 200여점의 분석치

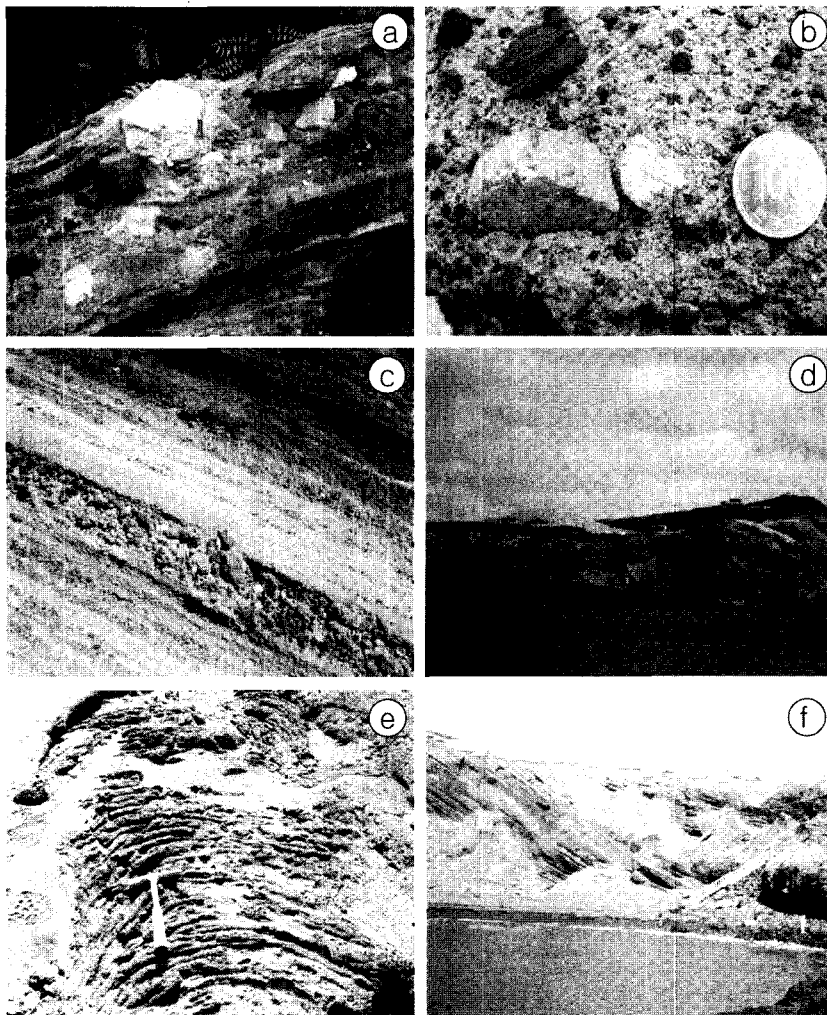


Fig. 1. Photographs of outcrop. (a & b) Tuff beds in the Udo tuff cone, having basement rock fragments of early-formed basaltic rocks and Cretaceous welded tuff. (c) Planar bedding of the tuff beds in the Udo tuff cone. (d) Cinder cone in the center of the Udo tuff cone crater. (e) Ropy structure of Someori basalt. (f) Outcrop showing reworked tephra, lava-pond basalt and tuff beds of tuff cone.

를 구하였다. 분석 조건은 조사전류 20 nA, 가속전압 15 Kev, 빔 직경 1  $\mu$ m, 측정시간은 10초이다. 전자현미 분석에서 FeO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량을 따로 구할 수 없으므로, 철의 총량을 FeO로 가정하였다.

전암 화학분석을 위한 시료의 제작시 오염을 최소화하기 위해 (암석용) 망치만을 사용하여 직경 0.5~1 cm 가량의 조각으로 만든 다음 육안으로 신선한 것을 택하여 증류수로 완전히 세척하였다. 그 다음 105°C 오븐에서 12시간 이상 건조시켜 암석 조각 표면에 남아 있는 물을 제거시킨 후 부산대학교 공동실험실습관 지구과학기기에 배치되어 있는 암석 분쇄기(high-speed vibrating tungsten carbide sample mill: TI-100 model)에서 5분 동안 진동을 주어 분말로 만들었다. 이들 분말시료는 보다 정확한 분석을 위하여, 아게이트 사발에서 5~10여 분간 더 갈아서 미세한 분말 시료를 제작하였다. 암석의 화학적 특징을 밝히기 위해 시료 15개에 대한 주성분 분석은 부경대학교 공동실험실습관에서 Philips PW 2400 X-선 형광분광분석기(XRF)를 이용하였다.

### 지질개요

우도는 섬의 남동부에 분화구가 위치하며, 이의 동쪽과 남쪽 외곽부에 응회구, 분화구 중앙에 분석구, 섬의 대부분에 현무암 용암삼각주로 연속되는 일윤희 분출물로 구성되는 단성화산도(monogenetic volcanic island)이다.

우도 화산체 하위의 구성암층은 응회구를 이루는 응회암층 속에 포함되어 있는 유질(類質)과 이질(異質) 암괴(block)로부터 추정할 수 있다(Fig. 1a, b). 유질 암괴는 대부분 현무암질로 구성되며 이질 암괴는 백악기 용결응회암, 응회암과 흑운모화강암이 포함된다(Kim *et al.*, 1986). 현무암질의 유질 암괴는 유리질로서 다공질인 것과 미정질이면서 비반상 내지 다소 반상조직을 보이는 것이 있다. 이 현무암 암괴들은 우도 화산체 바로 아래에 존재하는 현무암질 용암류로부터 유래되었을 것이다. 이 현무암질 용암류는 많은 용암류로 구성되었을 것이며, 성산일대의 표선리현무암(원종관, 1976; Lee, 1982)과 혹은 그 아래의 가장 오래된 현무

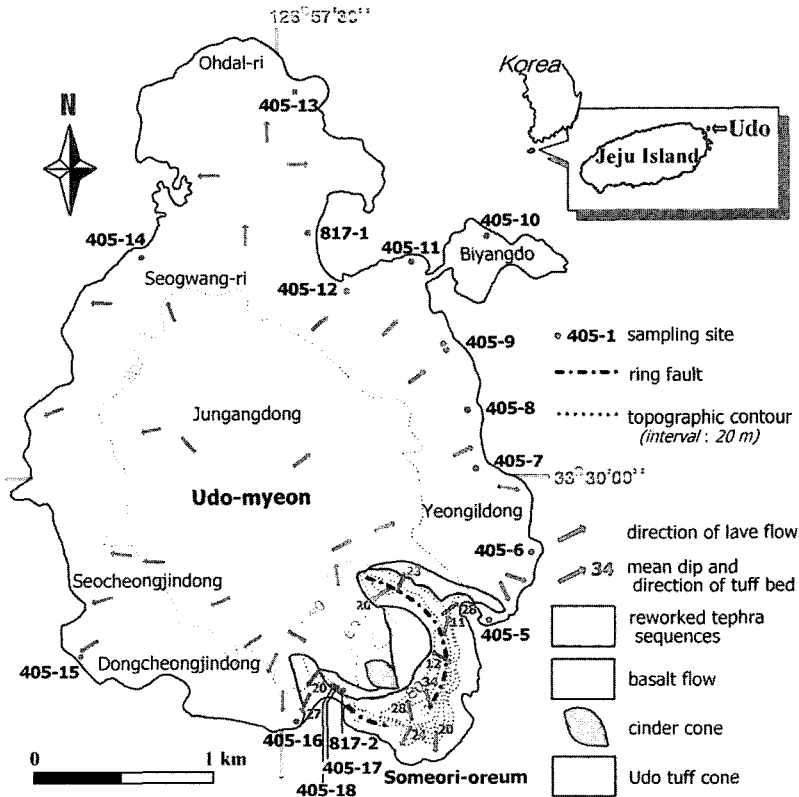


Fig. 2. Geological map of the monogenetic Udo volcano area(modified from Hwang, 1993; Won *et al.*, 1993).

Table 1. K-Ar whole rock age determination of the basalt lava from Udo, Jeju Island, Korea.

Sample	K (%)	Wt (g)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}$ radiogenic	air (%)	$^{40}\text{Ar}$ radiogenic ( $\times 10^{-8}$ ccSTp/s)	$\Delta 40$ radiogenic ( $\times 10^{-8}$ ccSTp/s)	T (Ma) $\pm \Delta T$
Udo 405-9	0.383	0.12482	296.418	2.1E-10	99.69	0.16943	0.00065	0.114 $\pm$ 0.003

암질 용암류일 것으로 판단된다. 왜냐하면 현무암질 암괴의 암상이 다공질인 것과 비반상 내지 약간 반상인 것이 존재하고, 또 성산반도의 현무암을 제외하면 성산 일대의 표선리현무암의 사면구배가 1~3°로 유지되면서 해수 밑으로 우도부근까지 연속되기 때문이다. 담회색~담홍색 용결용회암과 흑운모화강암의 이질 암괴는 현무암류 하위의 부정합면 아래에 놓이는 중생대 기반암에서 유래된 것으로 판단되며, 이 기반암은 제주도 본섬의 신생대 화산암류 아래에 놓이는 것과 동일한 층서적 위치에 해당될 것이다. 이는 제주도 동부 지역에서 지하 지질분포와 심도가 지표로부터 현무암질 용암류가 약 120~155 m 두께로 놓이고, 그 하위 117~264 m 두께로 존재하며 그 하위에 기반암인 응회암이 놓여 있다는 사실(윤성효 외, 1998, 1999)과 잘 부합한다.

우도응회구(凝灰丘: tuff cone)는 응회환(凝灰環: tuff ring, Kim *et al.*, 1986)으로 표현된 바 있으나, 응회환에 가까운 응회구로 판명되어 우도응회구로 명명되었다(황상구, 1993). 즉 응회구의 최고 두께가 132 m 이상이고, 외측부의 최고 경사가 32°이며, 분화구 바닥이 해발 15 m 이하에 해당한다. 이러한 양상은 Wohletz and Sheridan(1983)에 의한 응회구의 형태 기준에 포함된다. 또 현재 노출되어 있는 최대 너비가 1180 m로 응회구의 최고 높이 : 최대 너비의 비가 약 1 : 9로서 Heiken(1971)에 의한 응회구의 범위(1 : 9~1 : 11)에 해당한다. 우도응회구는 대부분 현무암질 성분의 라필리응회암과 응회암으로 구성되며, 이들은 화산회, 라필리, 화산탄, 암괴 등을 다양한 비율로 포함한다(Fig. 1c).

분석구(cinder cone)는 응회구 분화구 내부의 중심부에 놓인다(Fig. 1d). 최고봉이 해발 87.5 m이고, 사면경사가 약 25~30°이다. 이의 표층부는 모우트(moat)에 채워진 현무암류에 의하여 피복되며, 이의 기저부에 가까운 것이 남서측 해안절벽의 현무암 아래에 아주 작게 노출되는 데, 응회구와는 환상단층에 의해 경계지워진다. 분석구의 구성원은 표층부에서는 암회색 내지 암갈색의 암괴와 스패터(spatter) 등이고 이의 약간 아래쪽에서는 다량의 분석(cinder)으로 구성되며, 이들은 스트롬볼리안분출상에 의한 산물이다.

용암삼각주를 이루는 현무암질 용암류는 응회구와 분석구 사이의 모우트에 채워져 용암연을 형성하다가

응회구의 북서쪽으로 뻗어 나가서 만든 것으로 우도화산체의 대부분을 차지한다. 이 용암의 표면은 로피구조(ropy structure)가 잘 발달되어 있는 유동성이 큰 파호이호이 용암(pahoehoe lava)이며(Fig. 1e), 로피구조에 의한 이동방향의 추적에 의하면 현무암질 용암의 기원지는 분석구의 방향이다. 또한 용암삼각주의 지형에서 그 고도가 분석구 인접부에서 최고 70 m에 달하나 북서쪽으로 가다가 북북서로 갈수록 점점 낮아지면서 북동측과 남서측보다 다소 높은 축을 형성하여 분석구쪽이 용암의 기원지임을 지시한다. 본 현무암류를 성산도폭(1/50,000: 원종관 외, 1993)에서는 기저부의 2단계 온평리알칼리현무암과 그 상위의 3단계 소머리현무암으로 구분하여 기재하였다. 그러나 본 연구결과를 종합하여 보면, 현무암류는 우도응회구의 분화구로부터 나온 단일 용암류로 판단되어 용암삼각주를 형성하는 전체 현무암을 소머리현무암으로 칭한다(Fig. 2).

소머리현무암(시료 405-9)에 대한 전암 K-Ar연대 측정(한국기초과학지원연구원) 결과 0.114  $\pm$  0.003(2 $\sigma$ ) Ma (Table 1)로 우도화산체에서의 화산활동 시기는 후기플라이스토세에 해당한다.

재이동테프라층은 응회구의 외측부의 북동사면과 내측부의 대부분의 지역에 분포한다. 이는 응회구 사면의 급경사가 끝나는 부분으로부터 비교적 완경사의 사면과 현무암질 용암위를 부정합으로 덮으며 완만한 경사의 재이동층을 형성한다(Fig. 1f). 이의 하부에는 로피구조를 가지는 현무암질용암과 접하여 이들 양자관계가 부정합임을 지시하며, 부분적으로 얇은 현무암질 용암과 설상(舌狀)으로 교호되어 있어 용암분출이 끝나기 전 마지막 단계부터 간헐적으로 미고결상태의 응회암층이 재이동되었음을 알 수 있다.

## 현무암의 암석기재

우도화산체내의 용암삼각주와 용암연에 분포하는 소머리현무암에 대한 암석기재는 아래와 같다.

야외조사 결과 신선한 현무암에 대한 현미경 관찰을 하였으며, 결정의 크기에 따라 반정, 미반정, 그리고 석기로 구분하여 암석 기재 및 모드 분석을 하였다. 정밀한 광물 조합과 함량을 알아보기 위해 2000점 모드 분석을 실시하였다(Table 2).

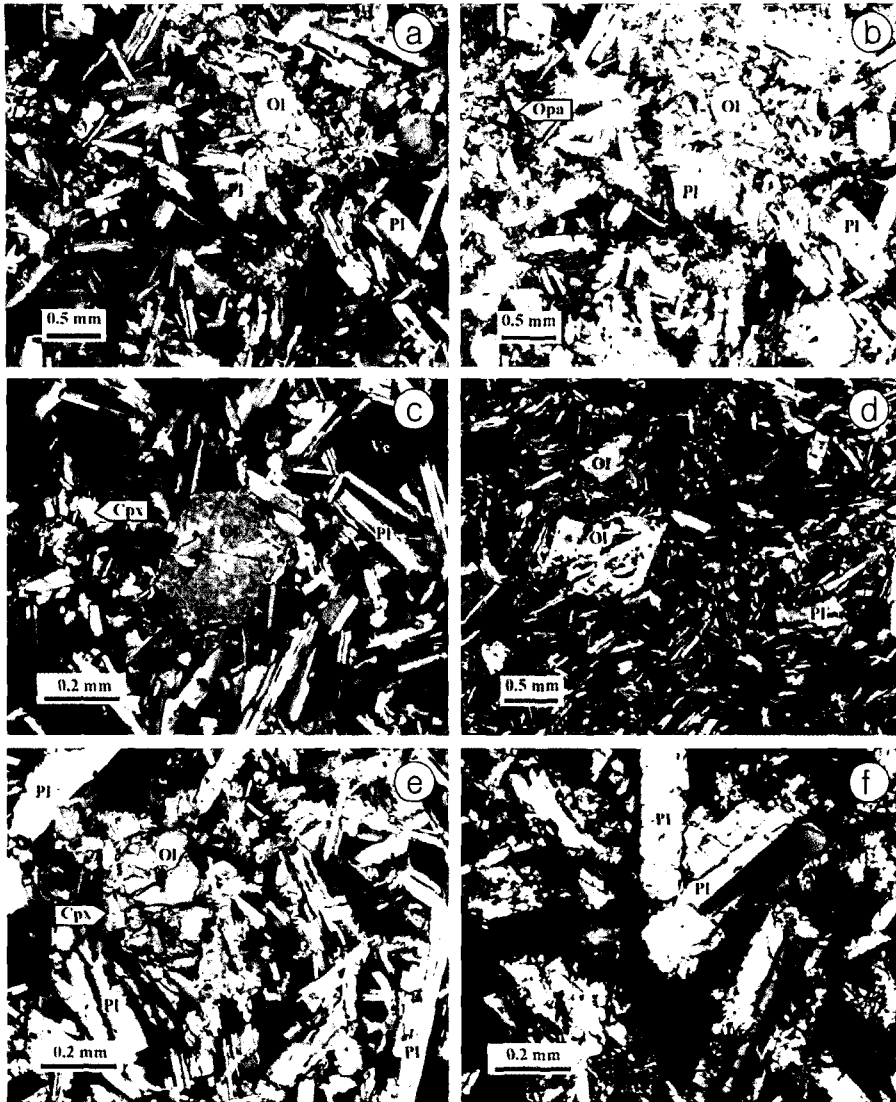


Fig. 3. Photomicrographs of tholeiitic basalt. (a) Tholeiitic texture (sample, 405-16). (crossed polars). (b) Tholeiitic texture (sample, 405-16), (open polar). (c) Euhedral olivine phenocrysts (sample, 405-14). (crossed polars). (d) Skeletal texture of olivine phenocrysts (sample, 405-1). (crossed polars). (e) Olivine phenocryst and its surrounding small clinopyroxene crystals (sample, 405-12). (crossed polars). (f) Albite-Carlsbad twin and albite twin of plagioclase phenocryst (sample, 405-13). (crossed nicols).

채취한 시료들의 대부분은 다공질(기공의 함량은 5.1~18.2%)로 반상조직(porphyrific texture)이 뚜렷하지 않으나, 시료 채취 위치에 따라 기공의 함량과 반정 및 미반정 입자의 크기는 약간씩 차이가 난다. 전반적으로 석기의 목편상(lath) 사장석의 결정 크기가 커져 미반정의 감람석, 휘석의 크기와 비슷할 정도로 다른 시료 내의 미반정과 구별의 의미가 없어질 정도로 사장석의 함량이 많아진다(예를 들면, Fig. 3a와 b<시료 405-

16>). 이러한 조직의 형태는 제주 동부지역의 전형적인 쉘레이아이트 암석에서 나타나는 조직과 유사한 양상을 보여준다(윤성호 외, 1997; 이정숙, 1998).

현미경 관찰 결과, 전체적으로 약한 반상조직을 가지고 있으며, 반정 광물은 주로 감람석, 사장석, 사방휘석으로 구성되며, 드물게 반정과 미반정으로 단사휘석이 산출된다. 대부분의 암석이 5% 이상의 반정과 미반정 결정을 포함하며, 20%에 달하는 경우도 있다(Table

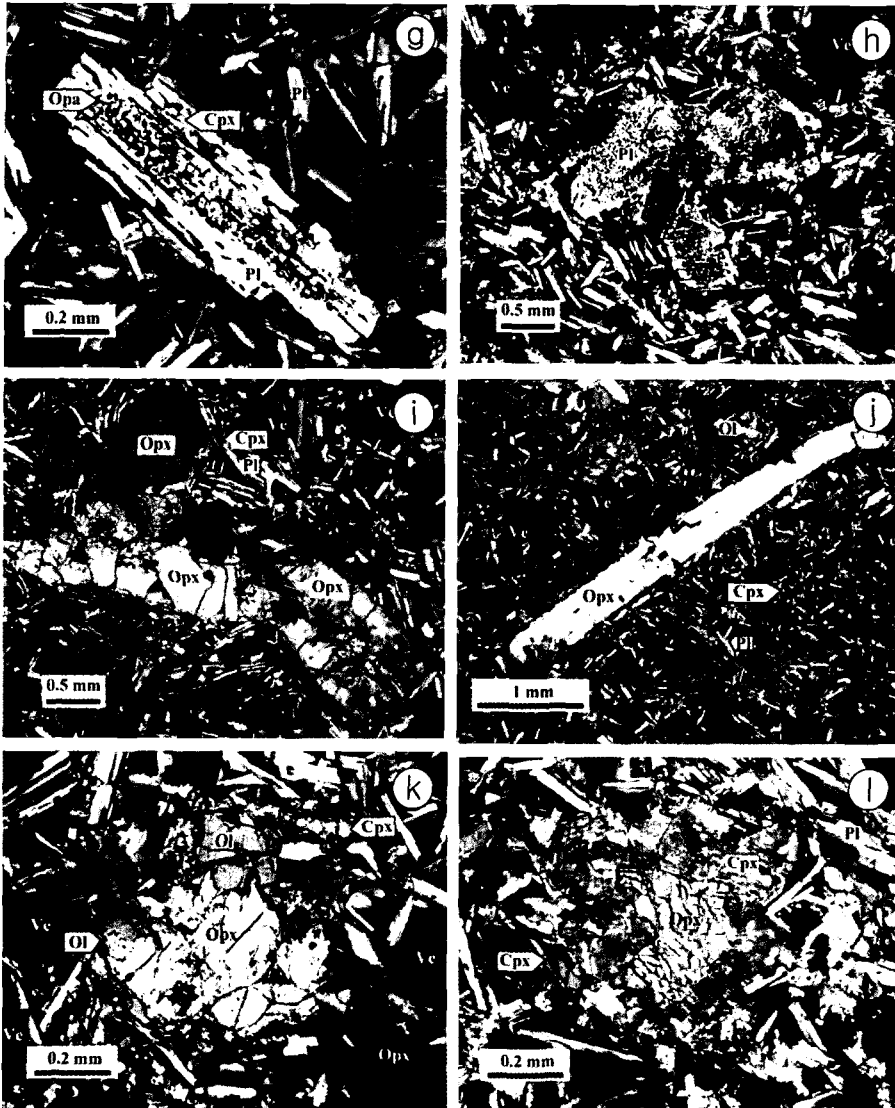


Fig. 3. Continued. (g & h) Sieve texture of plagioclase phenocryst(sample, 405-9 & 405-7). (crossed nicols). (i & j) Phenocrysts of orthopyroxene(sample, 405-8). (crossed nicols). (k) Small olivine crystals around the orthopyroxene phenocrysts (sample, 405-11). (crossed nicols). (l) Reaction rim of clinopyroxene around the orthopyroxene phenocryst(sample, 405-12). (crossed nicols). Abbreviation: Ol=olivine, Cpx=clinopyroxene, and Pl=plagioclase.

2). 석기들은 주로 목편상의 사장석과 아원형 내지 단주상의 단사휘석, 감람석 및 이들 사이를 채우는 불투명 광물들로 구성되어 있다. 몇몇의 시료에서는 침상의 불투명 광물이 나타나기도 하며 그 함유량은 시료에 따라 다양하다. 야외 조사와 현미경적 관찰 결과, 본 연구지역은 전체적으로 암석 시료에 따라 입자의 크기가 달라지는 것 외에 각 암석들에서 나타나는 조직은 거의 유사하다. 석기 부분은 감람석과 휘석과 같

은 유색광물(mafic mineral)이 목편상의 사장석 결정 사이의 공간을 채우고 있는 입간상 조직(intergranular texture)과 소량의 유리질이 석기를 이루고 있는 미정질의 사장석, 휘석, 감람석 결정 사이를 채우고 있는 인터서털(intersertal) 조직을 나타내고 있다.

감람석은 반정과 미반정 및 석기를 이루고 있다. 주로 아원형의 타형이 우세하며 간혹 자형(Fig. 3c<시료 405-14>)으로 나타나기도 한다. 대부분 균열이 발달되

**Table 2. Modal compositions of the basaltic rocks in the Udo area.**

Sample No.	Ol		Pl		Opx		Cpx		Gm	Ve	Remarks
	ph	mph	ph	mph	ph	mph	ph	mph			
405-5	1.8	2.2	-	1.9	-	-	-	-	88.9	5.1	Textures of all samples in the groundmass are similar; intergranular, subophitic and intersertal.
405-6	4.1	1.7	-	1.9	0.1	-	0.2	-	86.4	6.4	
405-7	1.8	2.3	-	1.2	-	-	-	0.1	80.9	13.0	
405-8	1.2	2.2	tr	1.9	0.6	0.2	-	-	79.4	14.4	
405-9	3.1	2.1	0.2	1.5	-	0.1	-	-	79.6	13.2	
405-10	1.2	1.7	-	3.3	-	-	-	-	75.7	18.0	
405-11	1.7	2.4	0.1	2.3	0.9	-	-	-	75.9	16.4	
405-12	2.5	1.9	-	6.2	1.0	0.2	-	-	78.8	10.2	
405-13	4.4	1.6	0.8	10.8	-	-	-	-	68.1	14.1	
405-14	1.9	1.7	0.1	5.5	-	-	-	-	79.3	11.5	
405-15	4.1	2.4	-	6.5	-	-	-	-	78.3	8.6	
405-16	3.1	1.4	0.1	15.4	-	-	-	-	69.9	9.7	
405-17	4.3	1.5	0.2	3.1	0.4	0.2	-	-	78.3	11.8	
405-18	0.8	1.6	-	5.5	-	0.1	-	-	85.9	5.9	

Modes are based on 2000 counts per sample.

Phenocrysts (ph); > 0.7 mm, microphenocrysts (mph); 0.1-0.7 mm, groundmass; < 0.1 mm.

Abbreviations: Ol; olivine, Pl; plagioclase, Opx; orthopyroxene, Cpx; clinopyroxene, Gm; groundmass, Ve; vesicle

어 있으나 전체적으로 신선하게 나타난다. 드물게 자형의 외곽구조를 가진 골격구조(skeletal texture)가 나타나기도 한다(Fig. 3d<시료 405-1>). 간혹 변질에 의해 균열을 따라 혹은 외곽부가 이딩사이트(iddingsite)로 되어 있기도 한다. 현미경적 관찰과 EPMA 분석 결과, 드물게 석기 부분의 감람석 결정의 외곽부가 멜트(melt)와의 반응에 의해서 만들어진 Ca-poor 단사휘석(정확하게 EPMA 분석 결과에 의하면 피지오나이트(pigeonite)에 해당)으로 되어 있기도 한다(Fig. 3e<시료 405-12>).

사장석은 시료에 따라 반정으로 나타나지 않는 경우도 있으며 대부분의 경우 미반정으로 산출된다. 이러한 반정과 미반정 결정은 대부분 알바이트쌍정(albite twin) 혹은 알바이트-칼스바드 쌍정(albite-Carlsbad twin), 및 진동누대구조(oscillatory zoning)(Fig. 3f<시료 405-13>)를 나타낸다. 반정과 미반정의 사장석은 대개 주상형이며, 서브이퀀트형(subequant)나 쉐기형(wedge)으로 산출되기도 한다. 반정 결정은 부분적으로 용식(resorption)되어 불투명광물과 휘석으로 채워져 있는 체(sieve) 구조(Fig. 3g<시료 405-9>)를 보이거나, 혹은 용융이 아주 많이 진행되어 결정을 구분하기 힘들 정도로 결정 전체가 용식되어 있는 조직이 자주 발견되기도 하는데(Fig. 3h<시료 405-7>), 이는 부분적으로 사장석 반정들이 비평형 상태였음을 의미하기도 한다. 석기의 사장석은 알바이트 쌍정으로 주로 목편상으로 나

타난다.

사방휘석은 많은 박편에서 반정과 미반정 광물로서 산출되고 있다. 단주상의 반정과 미반정이 우세하나(Fig. 3i<시료405-8>), 긴 주상의 형태도 간혹 관찰된다(Fig. 3j<시료 405-8>). 대부분의 반정과 미반정의 외곽부를 현미경으로 자세히 관찰하면 멜트와 반응에 의해 다소 용융된 조직을 나타낸다. 미반정의 사방휘석이 멜트와 반응에 의해 용융된 불규칙한 외곽부 주위를 감람석이 성장하여 둘러싸고 있거나(Fig. 3k<시료 405-11>) 혹은 단사휘석에 의해 둘러싸여 있는 경우(Fig. 3l<시료 405-12>)도 관찰된다. 또한 석기에서도 드물지만 사방휘석이 나타나기도 하는데, 미반정과 마찬가지로 결정의 외곽부 주위에 미정질의 단사휘석이 부분적으로 불규칙하게 성장하여 있는 것이 관찰된다.

단사휘석의 반정과 미반정은 대부분의 시료에서는 나타나지 않으며, 현미경적 관찰에 의해 일부 시료에 드물게 나타난다(Table 2; 시료 405-6에서 반정으로 모우드 분석으로 0.2%, 405-7에서 미반정으로 0.1%). 이들은 주로 타형으로 나타나며 직각 방향의 두 방향의 벽개를 가지고 있다. 석기를 이루고 있는 휘석은 주로 아원형 내지 단주상의 결정들로 나타나며, 석기의 목편상의 사장석 결정들에 의해 부분적으로 둘러싸여 있는 서브오피틱(subophitic) 조직을 나타내기도 한다.

불투명광물(Fe-Ti 산화광물)은 대개 석기 입자로서 석기를 이루고 있는 감람석, 휘석, 사장석의 간극을 채

Table 3. Representative microprobe analyses of plagioclases from the basaltic rocks in the Udo area.

Sample	405-13 405-14										405-18													
	No.	1	2	3	4	6	7	10	11	37	41	42	43	44	45	48	51	52	53	60				
	core ←	mph		gm		tw		mph		gm		core ←		mph		gm		core ←		mph		gm		
SiO <sub>2</sub>	52.51	51.35	0.10	51.74	53.54	55.25	53.32	52.39	52.21	53.37	52.31	52.57	51.54	54.93	53.74	55.56	53.33	53.34	55.78	51.30				
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.10	0.07	0.11	0.14	0.14	0.08	0.08	0.04	0.06	0.09	0.09	0.04	0.11	0.10	0.10	0.14	0.08	0.15	0.06				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.24	30.16	29.35	28.36	27.06	28.68	29.27	29.54	29.54	28.97	29.63	29.57	30.39	28.15	28.86	27.39	28.73	28.91	27.57	30.28				
FeO <sup>T</sup>	0.53	0.53	0.56	0.65	0.68	0.61	0.65	0.65	0.54	0.57	0.49	0.53	0.47	0.39	0.55	0.64	0.51	0.56	0.65	0.54				
MnO	0	0.03	0	0.03	0.02	0	0.03	0	0	0.04	0.00	0.05	0.09	0	0.01	0	0.03	0	0.05	0.05				
MgO	0.08	0.09	0.10	0.05	0.02	0.08	0.11	0.09	0.11	0.07	0.08	0.08	0.05	0.07	0.04	0.03	0.05	0.03	0	0.02				
CaO	12.96	13.50	13.21	11.92	10.48	11.91	13.27	13.38	13.38	12.16	13.18	13.00	13.69	11.32	12.22	10.54	12.07	12.23	10.14	13.66				
Na <sub>2</sub> O	4.11	3.75	4.01	4.64	5.38	4.73	4.06	3.91	4.70	4.04	4.18	4.18	3.77	4.90	4.68	5.50	4.68	4.56	5.71	3.85				
K <sub>2</sub> O	0.11	0.10	0.10	0.18	0.26	0.19	0.12	0.12	0.12	0.17	0.11	0.14	0.13	0.21	0.17	0.28	0.16	0.19	0.26	0.12				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0	0	0.02	0.02	0	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.02	0	0				
Total	99.66	99.62	99.14	99.48	99.30	99.59	99.99	99.85	99.85	100.14	99.97	100.21	100.19	100.07	100.37	100.03	99.69	99.92	100.31	99.87				
(O=8)																								
Si	2.395	2.348	2.376	2.441	2.514	2.430	2.386	2.380	2.380	2.42	2.380	2.386	2.345	2.479	2.430	2.510	2.427	2.423	2.511	2.343				
Al	1.571	1.624	1.587	1.523	1.450	1.539	1.570	1.585	1.585	1.548	1.588	1.581	1.628	1.496	1.537	1.457	1.540	1.547	1.462	1.628				
Ti	0.003	0.004	0.002	0.004	0.005	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001	0.004	0.003	0.004	0.005	0.003	0.005	0.002				
Fe	0.020	0.020	0.022	0.025	0.026	0.023	0.025	0.020	0.020	0.022	0.019	0.020	0.018	0.015	0.021	0.024	0.020	0.021	0.025	0.021				
Mn	0	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0	0.002	0	0.002	0.003	0	0	0	0.001	0	0.002	0.002				
Mg	0.006	0.006	0.007	0.003	0.001	0.006	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0	0.001				
Ca	0.633	0.661	0.650	0.582	0.511	0.581	0.647	0.653	0.653	0.591	0.643	0.632	0.667	0.548	0.592	0.510	0.588	0.595	0.489	0.668				
Na	0.364	0.332	0.357	0.411	0.475	0.418	0.359	0.346	0.346	0.413	0.356	0.368	0.333	0.429	0.410	0.482	0.413	0.402	0.499	0.341				
K	0.007	0.006	0.006	0.011	0.015	0.011	0.007	0.007	0.007	0.010	0.006	0.008	0.007	0.012	0.010	0.016	0.009	0.011	0.015	0.007				
Ab	36.3	33.2	35.2	40.9	47.5	41.4	35.4	34.4	34.4	40.7	35.4	36.5	33.1	43.4	40.5	47.8	40.9	39.9	49.8	33.6				
An	63.0	66.2	64.2	58.0	51.0	57.5	63.9	64.9	64.9	58.3	64.0	62.7	66.2	55.4	58.5	50.6	58.2	59.0	48.8	65.7				
Or	0.7	0.6	0.6	1.1	1.5	1.1	0.7	0.7	0.7	1.0	0.6	0.8	0.7	1.2	1.0	1.6	0.9	1.1	1.5	0.7				

Total Fe as FeO.

Abbreviations: mph; microphenocryst, gm; groundmass, tw; twin.



Table 4. Representative microprobe analyses of olivines from the basaltic rocks in the Udo area.

Sample No.	405-08				405-11				405-12				405-13				405-18		
	8	9	13	20	21	23	25	26	27	32	35	39	46	50	57(1)*	57(2)*	59		
Mineral	core ↔ rim																		
	ph	mph	mph	mph	ph	ph	ph	ph	mph	ph	gm	gm	gm	gm	gm	gm	gm	ph	ph
SiO <sub>2</sub>	38.72	38.67	38.33	38.66	38.13	37.54	38.54	38.55	37.60	38.57	37.68	38.95	38.71	39.13	35.68	35.63	38.58		
TiO <sub>2</sub>	0.02	0	0	0	0	0.01	0.05	0.01	0.01	0	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0	0		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.02	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0	0.02	0	0	0.02	0.02
FeO <sup>T</sup>	19.22	19.15	20.58	18.87	21.74	23.46	21.09	20.09	23.44	19.31	26.75	19.32	21.68	20.21	36.60	36.45	21.23		
MnO	0.30	0.13	0.23	0.25	0.15	0.29	0.27	0.30	0.25	0.17	0.29	0.19	0.25	0.18	0.35	0.40	0.20		
MgO	42.06	41.28	40.60	41.62	39.84	38.12	40.65	41.02	38.25	41.74	36.49	41.78	40.52	41.63	28.08	28.33	40.51		
CaO	0.23	0.21	0.21	0.20	0.21	0.21	0.20	0.22	0.25	0.21	0.30	0.19	0.21	0.27	0.22	0.18	0.20		
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0.02	0	0	0		
K <sub>2</sub> O	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0	0		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0	0.01	0.02	0.03	0.08	0.06	0.02	0.04	0.02	0	0.03	0.04	0.03	0	0	0		
Total (O=4)	100.62	99.48	99.99	99.67	100.13	99.74	100.88	100.24	99.85	100.03	101.58	100.50	101.47	101.48	100.97	101.00	100.75		
Si	0.987	0.996	0.990	0.993	0.989	0.987	0.989	0.991	0.987	0.989	0.986	0.994	0.989	0.992	0.988	0.986	0.991		
Al	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001		
Ti	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0		
Fe	0.410	0.413	0.444	0.405	0.471	0.516	0.452	0.432	0.515	0.414	0.586	0.412	0.463	0.429	0.848	0.844	0.456		
Mn	0.007	0.003	0.005	0.005	0.003	0.007	0.006	0.006	0.005	0.004	0.006	0.004	0.005	0.004	0.008	0.009	0.004		
Mg	1.599	1.585	1.563	1.594	1.540	1.494	1.554	1.572	1.497	1.596	1.424	1.589	1.544	1.574	1.160	1.169	1.551		
Ca	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.007	0.006	0.008	0.005	0.006	0.007	0.006	0.005	0.005		
Na	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0		
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0		
Cr	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0.001	0	0.001	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0		
Mg/(Mg+Fe)	0.80	0.79	0.78	0.80	0.77	0.74	0.77	0.78	0.74	0.79	0.71	0.79	0.77	0.79	0.58	0.58	0.77		

Total Fe as FeO.

Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst, gm; groundmass.

The point analysis of 57\* was done twice. This grain has olivine core with clinopyroxene rim, compositions with the rim of clinopyroxene.

Table 5. Representative microprobe analyses of clinopyroxenes from the basaltic rocks in the Udo area.

Sample No.	405-08					405-11					405-12			405-13			405-18		
	5	12	14	15	22	24	30	31	36	47	49	56	58(1)*	58(2)*	61				
SiO <sub>2</sub>	52.93	49.84	53.23	51.92	52.94	53.84	54.18	52.11	51.41	49.22	52.03	51.35	51.79	51.48	53.12				
TiO <sub>2</sub>	0.44	1.14	0.47	0.81	0.45	0.25	0.31	0.69	0.90	1.68	0.89	0.72	1.00	1.03	0.36				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.86	1.67	1.14	1.87	1.23	0.60	0.68	1.69	1.43	1.93	1.38	0.87	1.84	2.09	0.55				
FeO <sup>V</sup>	14.54	19.71	15.31	10.09	15.61	15.86	15.11	13.36	14.36	18.54	14.00	21.53	13.22	12.34	17.74				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.01	0.31	0.57	0.33	0.16	0.20	0.47	0.06	0.01	0.16	0.02	0.21	0.33	0.03				
MnO	0.26	0.29	0.25	0.26	0.27	0.32	0.27	0.29	0.37	0.29	0.28	0.40	0.27	0.23	0.43				
MgO	20.67	12.29	23.81	17.30	24.13	25.35	24.81	20.98	16.83	11.54	19.15	18.03	16.84	16.73	23.13				
CaO	9.98	14.89	5.03	16.61	4.75	3.59	4.01	10.18	14.07	16.76	12.62	7.19	15.54	16.09	4.55				
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.24	0.06	0.20	0.07	0.04	0.06	0.16	0.19	0.27	0.14	0.10	0.23	0.22	0.08				
K <sub>2</sub> O	0.01	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0				
Total	99.99	100.07	99.60	99.67	99.77	100.00	99.63	99.92	99.61	100.24	100.66	100.20	100.94	100.54	100.00				
(O=6)																			
TSi	1.950	1.914	1.950	1.925	1.935	1.956	1.977	1.914	1.928	1.889	1.914	1.937	1.912	1.905	1.953				
TAI	0.037	0.076	0.049	0.075	0.053	0.026	0.023	0.073	0.063	0.087	0.060	0.039	0.080	0.091	0.024				
MAl	0	0	0	0.007	0	0	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0				
MITI	0.012	0.033	0.013	0.023	0.012	0.007	0.009	0.019	0.025	0.048	0.025	0.020	0.028	0.029	0.01				
MiFe	0	0.263	0	0	0	0	0	0	0.032	0.291	0	0	0.039	0.039	0				
MiCr	0.005	0	0.009	0.017	0.009	0.005	0.006	0.014	0.002	0	0.005	0	0.006	0.010	0.001				
MiMg	0.983	0.704	0.978	0.953	0.978	0.989	0.980	0.967	0.941	0.661	0.971	0.979	0.927	0.923	0.989				
M2Mg	0.153	0	0.322	0.003	0.336	0.384	0.369	0.182	0	0	0.079	0.034	0	0	0.279				
M2Fe	0.448	0.370	0.469	0.313	0.477	0.482	0.461	0.410	0.418	0.305	0.431	0.679	0.369	0.343	0.545				
M2Mn	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008	0.010	0.008	0.009	0.012	0.01	0.009	0.013	0.009	0.007	0.013				
M2Ca	0.394	0.613	0.197	0.660	0.186	0.140	0.157	0.401	0.565	0.689	0.497	0.291	0.615	0.638	0.179				
M2Na	0.009	0.018	0.004	0.014	0.005	0.003	0.004	0.011	0.014	0.02	0.010	0.007	0.016	0.016	0.006				
M2K	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0				
Wo	19.844	31.270	9.991	34.066	9.558	6.966	7.936	20.343	28.719	35.27	25.027	14.557	31.386	32.713	8.944				
En	57.182	35.921	65.862	49.362	66.193	68.508	68.303	58.358	47.803	33.794	52.854	50.779	47.338	47.338	63.206				
Fs	22.974	32.808	24.147	16.573	24.449	24.526	23.762	21.299	23.477	30.936	22.120	34.664	21.275	19.949	27.85				
Mg/(Mg+Fe)	0.72	0.53	0.73	0.75	0.73	0.74	0.75	0.74	0.68	0.53	0.71	0.60	0.69	0.71	0.70				

Total Fe as FeO. Abbreviations: gm; groundmass, olrim; rim of olivine.

58\*: Duplicate point analysis was performed on this sample.

**Table 6. Representative microprobe analyses of orthopyroxenes from the basaltic rocks in the Udo area.**

Sample Analysis	405-08			405-11			405-12	
	16	17	19	18	28	29	33	34
	ph core ↔ rim			ph core ↔ rim			ph core ↔ rim	
SiO <sub>2</sub>	54.47	54.585	55.367	54.614	54.248	54.571	53.424	54.314
TiO <sub>2</sub>	0.229	0.239	0.157	0.26	0.28	0.265	0.315	0.299
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.107	2.069	1.294	1.593	2.49	1.751	2.997	1.806
FeO <sup>T</sup>	11.204	11.116	10.85	12.03	11.275	11.509	12.763	12.91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.462	0.397	0.278	0.368	0.531	0.405	0.314	0.436
MnO	0.192	0.188	0.105	0.216	0.17	0.152	0.254	0.208
MgO	29.532	29.415	30.155	29.49	29.703	29.832	28.398	28.28
CaO	1.671	1.615	1.728	1.788	1.703	1.776	2.062	1.739
Na <sub>2</sub> O	0.039	0.058	0.061	0.039	0.071	0.031	0.065	0.046
K <sub>2</sub> O	0	0.005	0.012	0	0.02	0	0.029	0
Total (O=6)	99.91	99.69	100.01	100.4	100.49	100.29	100.62	100.04
TSi	1.930	1.938	1.954	1.930	1.909	1.926	1.891	1.938
TAl	0.070	0.062	0.046	0.066	0.091	0.073	0.109	0.062
M1Al	0.018	0.024	0.008	0	0.012	0	0.015	0.014
M1Ti	0.006	0.006	0.004	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008
M1Cr	0.013	0.011	0.008	0.01	0.015	0.011	0.009	0.012
M1Mg	0.963	0.958	0.98	0.983	0.965	0.982	0.967	0.966
M2Mg	0.596	0.599	0.607	0.571	0.593	0.588	0.531	0.539
M2Fe	0.332	0.330	0.320	0.356	0.332	0.340	0.378	0.385
M2Mn	0.006	0.006	0.003	0.006	0.005	0.005	0.008	0.006
M2Ca	0.063	0.061	0.065	0.068	0.064	0.067	0.078	0.066
M2Na	0.003	0.004	0.004	0.003	0.005	0.002	0.004	0.003
M2K	0	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0
Wo	3.235	3.144	3.308	3.413	3.277	3.39	3.985	3.388
En	79.543	79.676	80.321	78.334	79.529	79.233	76.371	76.66
Fs	17.223	17.180	16.371	18.252	17.194	17.377	19.643	19.952
Mg/(Mg+Fe)	0.824	0.825	0.832	0.814	0.824	0.822	0.799	0.796

Total Fe as FeO. Abbreviation: ph; phenocryst.

우는 형태로 나타나지만, 일부 시료에서는 침상의 형태로 나타나기도 한다(Fig. 3a, b).

### 주요 조암광물의 광물화학 조성

본 연구의 조암광물 분석에 사용된 암석 시료는 시료 405-8, 405-11, 405-12, 405-13, 405-14, 405-18을 대표 시료를 선정하였다.

분석된 주요 조암광물은 사장석, 감람석, 휘석(사방휘석, 단사휘석), 불투명광물이다. 분석된 광물의 대표적인 조성은 Table 3(사장석), Table 4(감람석), Table 5(단사휘석), Table 6(사방휘석), Table 7(불투명광물)에

나타내었는데, 대부분의 분석된 시료에서 각 광물의 성분은 거의 균질한 성분을 가진다. 하지만 성분 누대구조를 가지는 반정은 중심부(core)와 연변부(rim)로 구분하였다. 각 광물의 성분 조성은 반정 또는 미반정과 석기에 따라 구분하여 분류도(Fig. 4~8)에 나타내었다.

### 사장석

연구 지역내의 사장석 성분을 Or-Ab-An 삼각도(Fig. 4)에 도시해 보면 석기의 목편상 사장석과 미반정의 대부분이 라브라도라이트 영역에 해당한다. 즉, 미반정은 An<sub>66-49</sub>이며, 석기는 An<sub>65-51</sub>로 거의 모두 라브라도라이트에 해당한다.

**Table 7. Representative microprobe analyses of ilmenites from the basaltic rocks in the Udo area.**

Sample	405-12	405-18	J12*	
No.	40	54	55	
gm	gm	gm	mph	
SiO <sub>2</sub>	0.04	0.10	0.05	0
TiO <sub>2</sub>	49.53	50.01	49.67	50.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.10	0.1
FeO <sup>†</sup>	48.62	47.86	48.22	46.47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.10	0.05	0.01
MnO	0.32	0.23	0.32	0.78
MgO	0.30	0.72	1.33	2.21
CaO	0.17	0.08	0.04	0
Na <sub>2</sub> O	0.01	0	0.04	0
K <sub>2</sub> O	0.04	0	0.02	0
Total	99.1	99.13	99.85	100.27
Recalculated <sup>†</sup>				
MgTiO <sub>3</sub>	0.901	2.147	3.966	6.590
MnTiO <sub>3</sub>	0.687	0.487	0.680	1.660
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.034	0.032	0.098	0.100
FeTiO <sub>3</sub>	92.257	91.783	88.659	86.310
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.483	4.883	6.930	6.220
ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.361	99.332	100.333	100.880
Hm	10.149	9.184	12.936	12.040

Total Fe as FeO. Abbreviations: gm; groundmass, mph; microphenocryst. Data of sample J12\* is from Park and Kwon(1993).

<sup>†</sup>Recalculations were made following Anderson(1968).

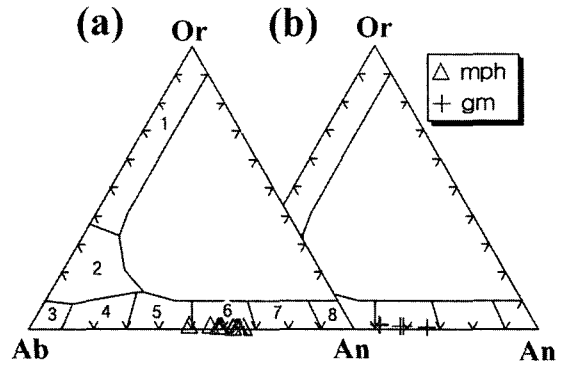
Hm=100×mol. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(mol. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+mol. % FeTiO<sub>3</sub>).

시료 405-08에서 미반정은 결정의 중심부(An<sub>63</sub>)에서 연변부로 갈수록 증가하다가(An<sub>66-64</sub>) 다시 An<sub>58</sub>로 감소하는 경향을 보인다. 시료 405-14에서도 중심부(An<sub>64</sub>)에서 연변부로 갈수록 감소(An<sub>63</sub>) 증가하다가(An<sub>66</sub>) 다시 감소(An<sub>55</sub>)하다 증가(An<sub>59</sub>)하는 진동누대구조를 나타낸다. 시료 405-18에서 미반정은 중심부(An<sub>58</sub>)에서 연변부로 갈수록 함량이 감소(An<sub>49</sub>)하는 정상누대구조를 나타낸다(Table 3; Fig. 5).

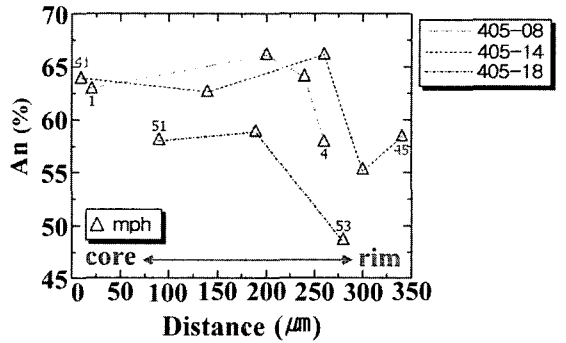
**감람석**

분석된 시료 중에는 감람석이 반정으로 나타나는 것과 석기내의 작은 감람석, 그리고 휘석의 반응환을 가진 것이 관찰된다.

반정으로 나타나는 감람석의 대부분은 Fo<sub>80-77</sub>이며, 미반정은 Fo<sub>80-78</sub>로 반정과 비슷한 조성을 가진다. 석기의 작은 감람석은 Fo<sub>74-71</sub>로 반정에 비하여 낮은 MgO 함량을 나타낸다. 그리고 시료 405-08에서 반정 감람석은 중심부(Fo<sub>80</sub>)에서 주변부(Fo<sub>79</sub>)로 갈수록 Fo함량이



**Fig. 4. Or-Ab-An diagram showing plagioclase compositions of the basaltic rocks. [1. sanidine, 2. anorthoclase, 3. albite, 4. oligoclase, 5. andesine, 6. labradorite, 7. bytownite, 8. anorthite] (Deer et al., 1963). mph: microphenocrysts, gm: plagioclase laths in groundmass.**



**Fig. 5. An content variation diagram from core to margin of plagioclase microphenocrysts of the basaltic rocks.**

미약하게 감소하는 누대구조를 나타낸다. 시료 405-18에서 단사휘석 반응연으로 둘러싸이는 기질부의 작은 감람석은 Fo<sub>58</sub>의 성분 조성을 나타낸다(Fig. 6).

**단사휘석**

분석된 시료 중에는 단사휘석은 주로 석기 부분에만 나타난다. 석기를 이루는 작은 결정으로 나타나는 단사휘석은 성분 영역이 Wo<sub>20-35</sub>En<sub>34-58</sub>Fs<sub>16-32</sub>로서 보통휘석(augite: Mg값<이하 Mg<sup>#</sup>로 표시>은 75~53)에 해당하는 것과 Wo<sub>7-10</sub>En<sub>63-69</sub>Fs<sub>24-28</sub>로서 피지오나이트(pigeonite: Mg<sup>#</sup> = 75~70)에 해당하는 것으로 구분되며, 감람석 결정의 반응연(reaction rim)으로 산출되는 것은 Wo<sub>15</sub>En<sub>51</sub>Fs<sub>35</sub>로 피지오나이트(Mg<sup>#</sup> = 70)에 해당하는 성분을 나타낸다(Fig. 7). 보통휘석의 TiO<sub>2</sub>의 함량은 0.44~1.68wt.%로 피지오나이트의 0.25~0.47wt.%에 비하여 약간 높은 경향을 나타낸다.

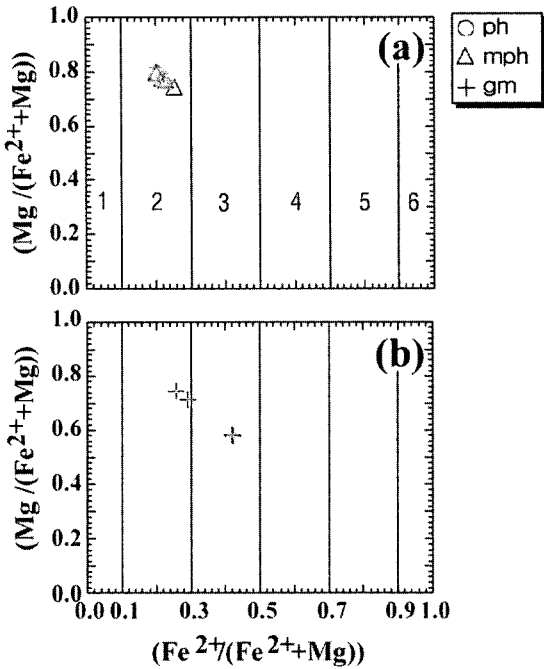


Fig. 6. Fo(Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)) vs. Fa(Fe<sup>2+</sup>/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)) in olivine from the basaltic rocks. [1. forsterite, 2. chrysolite, 3. hyaloseridite, 4. hortonolite, 5. ferro-hortonolite, 6. fayalite] (Deer *et al.*, 1963). ph: phenocrysts, mph: micro-phenocrysts, gm: olivine in groundmass.

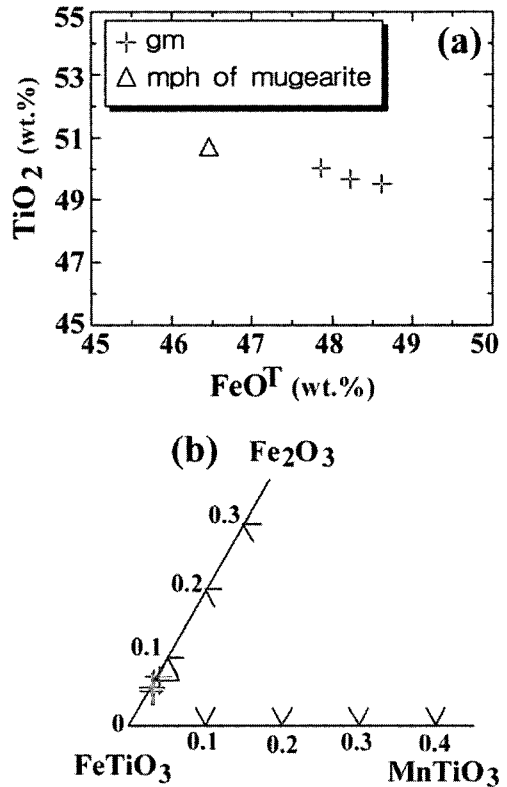


Fig. 8. (a) FeO<sup>T</sup> (wt.%) vs. TiO<sub>2</sub>, (b) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeTiO<sub>3</sub>-MnTiO<sub>3</sub> diagram for the ilmenites in the basaltic rocks.

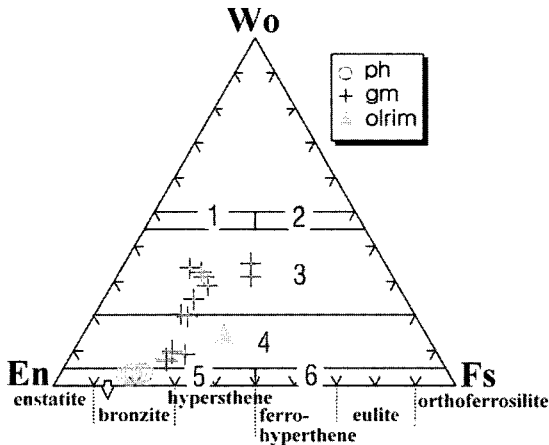


Fig. 7. Pyroxene compositions of the basaltic rocks. [1. diopside, 2. hedenbergite, 3. augite, 4. pigeonite, 5. enstatite, 6. ferrosillite] (Morimoto, 1989). (ph: phenocrysts(opx), gm: cpx in groundmass, olrim: cpx in reaction rim of olivine.

**사방휘석**

분석된 시료(405-08, 405-11, 405-12) 중에는 사방휘

석이 반정으로 산출되는 것을 주로 분석하였다. 사방휘석 반정은 성분이 Wo<sub>3-4</sub>En<sub>77-80</sub>Fs<sub>17-20</sub>이며, 브론자이트 (bronzite) 영역에 해당하고(Fig. 7), Mg<sup>#</sup>는 80~83으로 결정의 중심 부분과 연변부가 거의 균질한 성분을 나타낸다.

**불투명광물**

시료 405-12와 405-18에서 불투명광물은 티탄철석 (ilmenite)으로 구성된다. 우도 소머리현무암내의 티탄철석은 TiO<sub>2</sub> 함량이 49~50wt.%, FeO<sup>T</sup>이 47~48wt.%이며(Fig. 8a), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeTiO<sub>3</sub>-MnTiO<sub>3</sub> 성분도에서 MnTiO<sub>3</sub> 성분영역에 치우쳐 도시된다(Fig. 8b).

**주성분 원소**

본 역의 현무암(용암류)의 주성분 원소 분석 결과와 CIPW 노름값은 Table 8과 같다. 본 역의 용암류는 SiO<sub>2</sub> 함량이 전체적으로 50.4~53.1wt.%의 범위를, MgO 함량은 7.5~6.1wt.%의 범위를 나타낸다.

Table 8. Major element abundances (wt.%) and CIPW norm of the basaltic rocks in the Udo area.

Sample	405-05	405-06	405-07	405-08	405-09	405-10	405-11	405-12	405-13	405-14	405-15	405-16	405-17	818-01	818-02
SiO <sub>2</sub>	52.35	50.63	51.77	51.94	50.41	52.13	51.80	52.23	52.21	52.20	53.06	51.87	52.41	52.22	52.12
TiO <sub>2</sub>	1.75	1.74	1.73	1.73	1.76	1.80	1.75	1.77	1.80	1.86	1.93	1.76	1.96	1.94	1.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.97	14.37	14.01	13.76	14.13	14.00	14.16	13.80	14.35	14.21	14.44	13.78	13.87	13.91	13.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	11.89	12.18	11.85	11.89	12.15	11.71	12.01	11.91	11.19	11.74	11.54	11.82	12.01	11.88	11.95
MnO	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
MgO	6.96	7.53	6.97	7.11	7.24	7.01	7.28	6.97	6.23	6.90	6.21	6.89	6.74	6.70	6.87
CaO	8.54	9.02	8.54	8.37	8.70	8.52	8.58	8.40	8.80	8.68	8.89	8.43	8.46	8.49	8.46
Na <sub>2</sub> O	2.85	2.75	2.82	2.87	2.73	2.86	2.80	2.84	2.91	2.92	3.03	2.83	2.92	2.86	2.87
K <sub>2</sub> O	0.67	0.39	0.59	0.65	0.47	0.62	0.48	0.63	0.68	0.62	0.70	0.64	0.66	0.65	0.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.20	0.23	0.23	0.22
LOI	0.01	0.86	0.04	-0.03	0.23	-0.03	0.06	-0.23	0	0.25	-0.27	0.03	-0.23	-0.23	0.00
Total	99.34	99.82	98.66	98.63	98.19	98.98	99.27	98.67	98.51	99.74	99.89	98.40	99.19	98.80	98.89
<b>CIPW norm</b>															
Q	3.25	1.09	3.05	2.88	1.68	3.23	2.83	3.57	3.88	2.89	3.81	3.36	3.60	3.81	3.33
Or	4.03	2.36	3.57	3.94	2.87	3.74	2.89	3.81	4.12	3.72	4.17	3.89	3.97	3.92	3.99
Ab	24.50	23.74	24.41	24.84	23.81	24.66	24.10	24.52	25.21	25.05	25.82	24.57	25.09	24.66	24.79
An	23.71	26.23	24.37	23.26	25.68	23.98	25.07	23.51	24.65	24.17	23.89	23.60	23.13	23.64	23.21
DiWo	7.57	7.64	7.45	7.52	7.38	7.48	7.14	7.44	7.87	7.62	8.03	7.59	7.59	7.51	7.67
DiEn	4.23	4.34	4.16	4.23	4.14	4.22	4.03	4.16	4.35	4.29	4.40	4.23	4.21	4.17	4.26
DiFs	3.04	2.97	2.98	2.98	2.93	2.94	2.80	2.98	3.21	3.02	3.33	3.05	3.08	3.03	3.10
HyEn	13.47	14.89	13.69	13.97	14.54	13.66	14.51	13.64	11.61	13.23	11.25	13.46	12.92	12.92	13.29
HyFs	9.68	10.19	9.81	9.86	10.30	9.50	10.09	9.78	8.57	9.31	8.52	9.70	9.44	9.39	9.66
Mt	2.67	2.75	2.69	2.69	2.77	2.65	2.70	2.70	2.54	2.64	2.57	2.68	2.70	2.68	2.70
Il	3.38	3.38	3.37	3.37	3.45	3.49	3.39	3.44	3.51	3.59	3.70	3.43	3.79	3.76	3.51
Ap	0.47	0.45	0.45	0.47	0.45	0.47	0.44	0.47	0.47	0.49	0.51	0.45	0.51	0.51	0.49
Mg <sup>#</sup>	39.01	40.31	39.11	39.52	39.43	39.54	39.85	39.00	37.83	39.09	37.03	38.90	38.01	38.13	38.57
A.I.	2.21	2.42	2.29	2.32	2.54	2.24	2.19	2.21	2.29	2.26	2.18	2.30	2.24	2.24	2.28

Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and FeO recalculated according to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO=0.20 (Middlemost, 1989).  
 $Mg^{\#} = 100 \times MgO / (MgO + FeO + Fe_2O_3)$ , A.I. (Alkali Index) =  $(Na_2O + K_2O) / (SiO_2 - 43) \times 0.171$ .

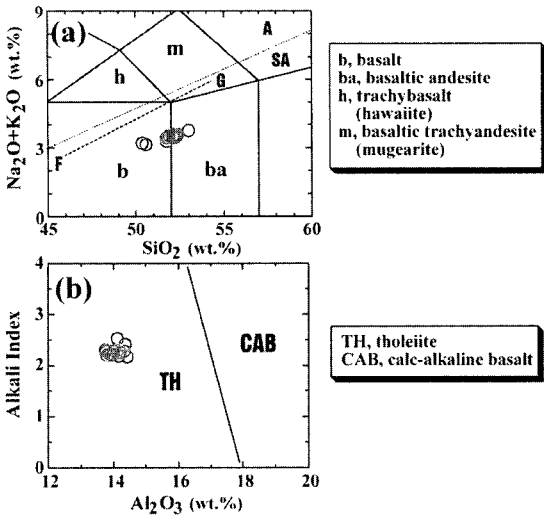


Fig. 9. (a) Total alkali vs. SiO<sub>2</sub> (wt.%) (Le Bas *et al.*, 1986) plot of the volcanic rocks. The dividing line between alkaline (A) and sub-alkaline (SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971). Line F-G is division for tholeiitic and alkaline rocks in Hawaii (Macdonald and Katsura, 1964) and (b) Alkali Index (A.I.) vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt.%) for the classification of tholeiitic (TH) and calc-alkaline basalts (CAB) (Middlemost, 1975).

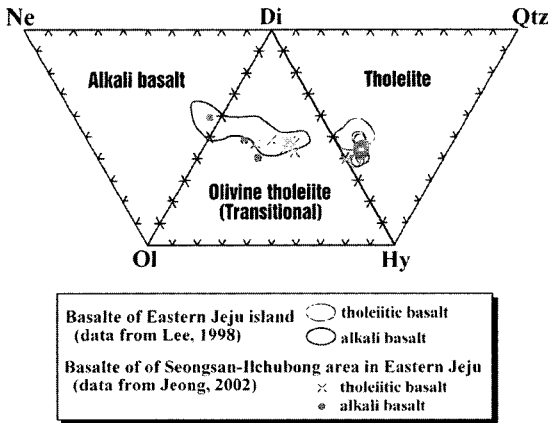


Fig. 10. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimension diagram of normative components Ne-Ol-Di-Hy-Qtz (Hyndman, 1985). Symbol: (open circle: Udo Someori basalt).

본 역의 용암류는 TAS성분도((Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub>)의 IUGS분류도: Le Bas *et al.*, 1986에서 알칼리 성분 함량을 기준으로 하여 암석계열을 구분(Irvine and Baragar, 1971; Macdonald and Katsura, 1964)해 보면, 대부분이 서브알칼리암 계열에 도시된다. 즉 소머리현무암은 서브알칼리암 계열의 현무암과 현무암질안산암 영역에

도시된다(Fig. 9a).

소머리현무암을 서브알칼리암 계열의 현무암을 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 대한 알칼리 지수(alkali index)로 구분하는 성분도 (Middlemost, 1975)에서 고알루미나질 현무암(또는 칼크-알칼리암질 현무암)에 비하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 낮은 쉘레이아이트질 현무암(TH)의 영역에 도시된다(Fig. 9b).

주성분 원소의 노움 광물 조성을 살펴보면, 소머리 현무암은 전반적으로 노움 석영(Q)을 함유한다(Table 8). 노움 광물 분석 결과를 Hyndman(1985)의 Ne-Ol-Di-Hy-Qtz diagram에 도시한 결과(Fig. 10), 소머리현무암은 노움 석영(3.9% 이하) + 하이퍼신 + 투휘석을 가지는 쉘레이아이트 조성의 영역에 도시되어 이 현무암은 쉘레이아이트암류로 분류되어 나타났다. 이는 이정숙(1998)에 의한 제주 동부지역의 현무암중 쉘레이아이트암류를 도시한 영역과 잘 일치한다.

### 결론

본 연구에서는 우도 단성화산체의 소머리 현무암의 암석학적 성질을 규명하였으며, 그 결과는 아래와 같다. 용암삼각주를 이루는 현무암 용암류는 육안상 반상 조직이 뚜렷하지 않으며, 경하에서 사장석, 감람석, 사방휘석, 단사휘석(보통휘석과 피지오나이트), 불투명광물 등으로 구성된다.

사장석은 미반정이 An<sub>66-49</sub>이며, 석기는 An<sub>65-51</sub>로 거의 모두 라브라도라이트에 해당한다. 감람석의 반정의 대부분은 Fo<sub>80-77</sub>이며, 미반정은 Fo<sub>80-78</sub>로 구성된다. 단사휘석은 주로 석기 부분에만 나타나며, Wo<sub>20-35</sub>En<sub>34-58</sub>Fs<sub>16-32</sub>의 보통휘석에 해당하는 것과 Wo<sub>7-10</sub>En<sub>63-69</sub>Fs<sub>24-28</sub>로 피지오나이트에 해당하는 것으로 구분된다. 사방휘석 반정은 성분이 Wo<sub>3-4</sub>En<sub>77-80</sub>Fs<sub>17-20</sub>이며, 브론자이트 영역에 해당하고 Mg#는 80~83으로 결정의 중심 부분과 연변부가 거의 균질한 성분을 나타낸다. 불투명광물은 티탄철석으로 구성된다.

우도 소머리현무암은 TAS분류도에서 서브알칼리 계열 현무암으로 분류되며, 쉘레이아이트암으로 분류된다.

### 감사의 글

본 연구는 2004년 부산대학교 기초과학연구소 기초과학연구기반조성 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 내용의 일부는 현경봉의 석사학위 청구논문으로 제출되었습니다. 심사를 통해 논문의 개선에 힘써주신 박계현 교수와 익명의 심사위원에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 박준범, 권성택, 1993, 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주 북부 지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석화학적 특징. *지질학회지*, 29, 39-60.
- 원종관, 1976, 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적인 연구. *지질학회지*, 12, 207-226.
- 원종관, 이문원, 이동영, 박계현, 1993, 성산도폭설명서. 제주도청.
- 윤성효, 원종관, 이문원, 고정선, 이정숙, 1997, 제주도 동부지역의 쉘레이아이트 용암류에 대한 암석학적 연구. *한국암석학회 발표요약문*, 14, 42p.
- 윤성효, 이윤종, 정원우, 1998, 제주도 하부 기반암 중의 화강암에 대한 암석학 및 저어콘 결정 형태 연구: (I) 백악기 화강암. *한국지구과학회지*, 19(5), 486-494.
- 윤성효, 이윤종, 정원우, 고정선, 1999, 제주도 하부 기반암 중의 화강암에 대한 암석학 및 저어콘 결정 형태 연구: (II) 선백악기 화강암. *한국지구과학회지*, 20(3), 277-281.
- 이정숙, 1998, 제주도 동부 지역의 쉘레이아이트 용암류에 대한 암석학적 연구. *부산대학교 석사학위논문*, 82 p.
- 정은주, 2002, 제주도 동부 성산일출봉 일대 현무암의 암석학적 연구. *부산대학교 석사학위논문*, 54 p.
- 황상구, 1992, 우도용회구의 분출기구와 분출과정, *암석학회지*, 1(2), 91-103.
- 황상구, 1993, 우도 분화구에서의 일윤회 화산과정, *광산지질*, 26(1), 55-65.
- Anderson, A.T., 1968, Oxidation of the LaBlache lake titaniferous magnetite deposit, Quebec, *J. Geol.*, 76, 528-547.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1963, *Rock forming minerals*. v.4., Framework Silicates, Longmans, 435p.
- Heiken, G.H., 1971, Tuff rings: examples from the Fort Rock-Christmas Lake Valley Basin, south-central Oregon, *J. Geophys. Res.*, 76, 5615-5626.
- Hyndman, D.W., 1985, *Petrology of igneous and metamorphic rocks*. 2nd edition. McGraw-Hill, 786.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Kim, D. H., Hwang, J. H, and Hwang, S. K., 1986, Tuff rings and cones on Jeju Island, Korea., *J. Geol. Soc. Korea.*, 22, 1-9.
- 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.
- Lee, M.W., 1982, Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Series.*, 3, 15, 177-256.
- MacDonald, G.A. and Katsura, T. 1964, Chemical composition of Hawaiian Lavas. *J. Petrol.*, 5, 82-133.
- Middlemost, E.A.K., 1975, The basalt clan. *Earth Sci. Rev.*, 11, 337-364.
- Middlemost, E.A.K., 1989, Iron oxidation ratios, norms and the classification of the volcanic rocks. *Chem. Geol.*, 77, 19-26.
- Morimoto, N. (1989), *Rock-forming mineral*. Tokyo Univesity Press, pp.239.
- Sohn, Y.K., 1992, Depositional models of basaltic tuff rings and tuff cones in Cheju Island, Korea. Ph. D dissertation, SNU, 121-163.
- Wohletz, K.H. and Sheridan, M.F., 1983, Hydrovolcanic explosion II. evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *Am. J. Sci.*, 283, 385-413.

---

(2005년 2월 16일 접수; 2005년 3월 8일 채택)