

이학석사 학위논문

제주도 동부 성산 일출봉 일대 현무암의  
암석학적 연구

지도교수 윤 성 호

2002년 2월

부산대학교 대학원

지구과학과

정 은 주

# 정은주의 이학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 10일

주 심 이 준 동



위 원 이 상 원



위 원 윤 성 효



## 목 차

<b>List of Tables</b> .....	ii
<b>List of Figures</b> .....	iii
<b>List of Photographs</b> .....	v
서론 .....	1
연구방법 .....	2
지질개요 .....	4
암석기재 .....	8
1. 표선리현무암 .....	8
2. 성산리현무암 .....	10
2-1. 하부용암류 .....	14
2-2. 상부용암류 .....	15
암석화학적 특징 .....	18
주성분 원소 .....	18
미량성분 원소 .....	26
1. 불호정성 미량원소 .....	26
2. 호정성 미량원소 .....	30
3. 희토류 원소 .....	32
조구적 위치 및 암석성인 고찰 .....	37
1. 조구적 위치 .....	37
2. 암석성인 고찰 .....	39
결론 .....	45
참고문헌 .....	46
<b>Explanation of plates</b> .....	50
<b>Abstract</b> .....	53
감사의 글 .....	55

## **List of Tables**

Table 1. Modal compositions of the basaltic rocks in the study area. ....	9
Table 2. Major element abundances (wt.%) and CIPW norm of the basaltic rocks in the study area. ....	19
Table 3. Trace element abundances (ppm) of the basaltic rocks in the study area. ....	27
Table 4. Rare earth element abundances (ppm) of the basaltic rocks in the study area. ....	33

## List of Figures

Fig. 1. Geological map of the study area. ....	5
Fig. 2. Strikes and dips in the study area. ....	7
Fig. 3. Sketch section of lava flows in Stop 1, 2 and 3 of the study area. ....	17
Fig. 4. (a) Total alkali vs. SiO <sub>2</sub> (wt.%) plot of the basaltic rocks in the study area. (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). ....	21
Fig. 5. K <sub>2</sub> O vs. Na <sub>2</sub> O (wt.%) plot diagram for the basaltic rocks in the study area. ....	22
Fig. 6. Harker variation diagrams of major oxide (wt.%) vs. MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. ....	24
Fig. 7. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimensional diagram of normative components ne-ol-di-hy-qtz. ....	25
Fig. 8. Variation diagrams of incompatible elements against Th (ppm) of the basaltic rocks in the study area. ....	29
Fig. 9. Variation diagrams of compatible elements (ppm) against MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. ....	31
Fig. 10. Chondrite-normalized rare earth element patterns of the basaltic rocks in the study area. ....	35
Fig. 11. Primitive mantle-normalized spider diagrams for the basaltic rocks in the study area. ....	36

Fig. 12. Tectonic discrimination diagrams of the basaltic rocks in the study area. (a) Zr-Y-Ti diagram, (b)  $\text{TiO}_2\text{-MnO-P}_2\text{O}_5$  diagram, and (c) Hf-Th-Nb diagram. .... 38

Fig. 13. Variation diagrams showing different degree of partial melting for the basaltic rocks in the study area. (a) La vs. Ba (ppm), (b) La vs. Rb (ppm), and (c) La vs. Nb (ppm). .... 40

Fig. 14. (a) Nb vs.  $(\text{La/Yb})_N$  and (b) Ba vs.  $\text{K}_2\text{O}$  (ppm) diagrams showing different degree of partial melting for the basaltic rocks in the study area. .... 42

Fig. 15. MgO (wt.%) vs. (a) Y/Nb and (b) Zr/Nb diagrams for the basaltic rocks in the study area. .... 43

Fig. 16. La vs. La/Sm diagram for the basaltic rocks in the study area. ... 44

## List of Photographs

- Photo 1. Outcrop of the Seongsan-ri basalt showing two flow units (B1 : lower lava and B2: upper lava). ..... 12
- Photo 2. Outcrop of the Seongsan-ri basalt which intercalates yellowish lapillistone and paleosol. .... 12
- Photo 3. Outcrop of the volcanic center(small crater) which erupted B1 lavas. (a) Agglomerate deposits of low-angle inward dipping( $20^{\circ}$ ) outside the crater wall. And lavas of the crater wall show high-angle inward dipping( $80^{\circ}$ ). (b) Volcanic bombs in the agglomerate deposits. (c) Crater wall of high-angle inward dipping( $80^{\circ}$ ) lava and low-angle ( $30^{\circ}$ ) lava flows outside the crater wall. .... 13
- Photo 4. Outcrop of black scoria deposit with tuff(dipping  $32^{\circ}$ ) of the spatter cone which erupted B2 lavas. .... 16
- Photo 5. Outcrop of the spatter cone which is intercalated by upper lavas of the Seongsan-ri basalt. .... 16

## 서 론

제주도는 한라산(해발 1950m)을 중심으로 동북동-서남서 방향의 장축(73km)과 이에 수직인 방향의 단축(41km)을 갖는 타원형의 화산섬으로 제4기 동안의 화산활동에 의해 형성되었으며, 순상화산의 지형을 나타내고, 그 면적은 약 1,850 km<sup>2</sup>에 달한다. 제주도의 화산활동은 지판 내부의 열점에 의한 것으로(Lee, 1982; 박준범, 1994), 암석화학적으로 알칼리암 계열로 분류되는 다량의 현무암질 용암류가 분포되고 있는 것으로 알려져 왔으며(원종관, 1976; Lee, 1982; 박준범과 권성택, 1991), 최근 연구에서 알칼리암류 이외에도 쏘리아이트질 현무암류도 분포하고 있음이 보고되었다(Lee, 1989; 박준범과 권성택, 1996; 원종관 외, 1993). 제주도 화산암류 중 쏘리아이트질 현무암류의 존재는 Lee(1989)에 의해 처음 제시된 후 박준범과 권성택(1996), 윤성호 외(1997)의 연구 및 성산(원종관 외, 1993), 표선(원종관 외, 1995), 제주-애월(박기화 외, 1998) 도폭 조사를 통해 이들이 주로 제주도 동부 및 북부 해안 저지대 및 중산간 지역에 비교적 광범위하게 분포하고 있음이 확인되고 있다.

제주도는 100만년 이상의 기간 동안 여러 분화구에서 지역에 따라 분출된 시기가 다른 여러 용암류가 분출한 분출물로 형성된 섬이기 때문에 화산층서가 매우 복잡하다(Kuno, 1966; Miyashiro, 1978; 원종관, 1976; Lee, 1982; 이동영 외, 1987). 그러나 제주도의 화산활동과 층서, 용암류의 지구화학적인 연구는 여러 연구자들에 의해 이루어졌으나, 제주도 동부 성산 일출봉 북쪽 성산리 일원 해안 저지대를 따라 분포하는 성산리현무암(원종관 외, 1993)은 지질도에 기재된 후 현재까지 화산암석학적 연구는 자세하게 이루어지지 않고 있다.

본 연구의 목적은 제주도 동부 성산리현무암의 암석기재적 연구를 통하여 화산활동사를 알아보고, 주성분, 미량성분 및 희토류 원소의 함량 조성을 분석하여 암석화학적 특성을 파악하고자 함이다.



## 연구 방법

본 연구의 수행을 위하여 야외조사에서는 1:5,000 지형도를 이용하여 야외지질조사를 하였으며, 용암류간의 상호 관계(층서)를 중심으로 지질조사를 진행하였다. 야외조사를 통하여 연구지역에서 각 용암류의 대표적인 신선한 표품을 채취하여 박편 제작한 후, 편광현미경하에서 대표적인 14개 박편에 대하여 조직 및 구성광물을 관찰하고 모우드 분석(2000점)하였다. 모우드 분석시 결정의 크기에 따라 반정(0.7mm이상), 미반정(0.7~0.1mm), 그리고 석기(0.1mm이하)로 분류하여 암석기재를 하였다.

전암 화학분석을 위한 시료의 제작시 오염을 최소화하기 위해 해머만을 사용하여 직경 0.5~1cm 가량의 조각으로 만든 다음 욕안으로 신선한 것을 택하여 중류수로 완전히 세척하였다. 그 다음 105℃ 오븐에서 12시간 이상 건조시켜 암석 조각 표면에 남아있는 물을 제거시킨 후 암석 분쇄기(high-speed vibrating tungsten carbide sample mill: TI-100 model)에서 5분 동안 진동을 주어 분말화하였다. 이들 분말시료를 보다 정확한 분석을 위하여, 아게이트 사발에서 5~10 여 분간 더 갈아서 미세한 분말 시료를 제작하였다.

암석의 화학적 특징을 밝히기 위해 시료 14개에 대한 주성분 분석은 한국기초과학지원연구원 부산분소(12개)의 Philips PW 2400 X-선 형광분광분석기와 서울분소(2개)의 Philips PW 2404 X-선 형광분광분석기를 이용하였으며, 미량원소 및 희토류 원소는 대덕연구단지 내 한국기초과학지원연구원의 PQ3(VG Elemental, U.K) 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)로 분석하였다. 주성분 원소의 분석 방법은 전류 30mA, 전압 40kV에서 X-선을 시료에 조사한 후, 시료로부터 방출되는 원소의 특성에너지를 갖는 형광 X-선을 측정하여 형광 X-선의 방출강도를 표준시료의 것과 비교하여 화학성분의 함량으로 다시 표시하여 산화물 %를 산출하는 것이

다. 이 기기분석에서 철은 모두  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 로 분석되기 때문에, 노움 계산을 위하여 2가 철과 3가 철의 분리는 Middlemost(1989)의  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  비에 근거하여 분석값 으로부터  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와  $\text{FeO}$ 를 계산하였다.

## 지 질 개 요

Lee(1982)와 Lee(1989)는 제주도에서의 화산활동을 크게 4단계, 즉 기저현무암 분출기(제 1단계), 용암대지 형성기(제 2단계), 한라산체 형성기(제 3단계), 기생 화산 형성기(제4단계)로 구분하였다. 그리고 제주도에는 10 여 개의 응회암 및 응회구를 포함하여 360 여 개의 분석구가 분포한다. 분석구들은 플라이스토세 후기 이후에 형성되었으며, 대부분이 육상에 분포하고 있다. 반면에 응회환과 응회구는 플라이스토세 전기 이후에 형성되었으며, 주로 해안선을 따라 분포하는 특징을 나타낸다(Kim *et al.*, 1986).

본 연구지역의 화산암류를 1/50,000 성산 도폭(원종관 외, 1993)에서는 일출봉 응회암과 성산리현무암으로 구분하였다. 본 역의 지질은 연구결과를 종합하여 보면 하부로부터 표선리현무암, 성산리현무암, 일출봉응회암, 일출봉재동퇴적층 및 신양리층, 사구층, 해빈사 등으로 구성된다(Fig. 1).

표선리현무암은 수마포의 서쪽 해안을 따라서 국부적으로 침상장석-감람석 현무암이 분포한다. 이 현무암은 성산리현무암의 하부의 것으로(원종관 외, 1993) 알려져 있다.

성산리현무암은 성산 일출봉 북쪽 성산리 일원 해안 저지대에 분포하며, 일출봉응회암에 의해 덮인다.

일출봉응회암은 성산반도 말단부의 일출봉응회구를 구성한다. 일출봉응회구는 지름 약 600m의 사발모양의 분화구가 있으며 화구륜(crater rim)의 고도는 최고 해발 180m이다. 지층의 주향은 화구륜의 등고선에 대체로 평행한 경향이 며, 경사는 최대 45°이며, 분화구의 중심을 기준으로 방사상의 분포형태이다 (Fig. 2). 층의 경사는 거의 분화구의 바깥쪽을 향하고 있으나, 화구륜의 일부 지점에서는 분화구의 안쪽을 향하여 경사진 층들이 관찰된다. 화구륜에 평행한 단층들은 분화구의 안쪽으로 수 m 가량 낙차를 갖는 정단층들이 발달하는데 이

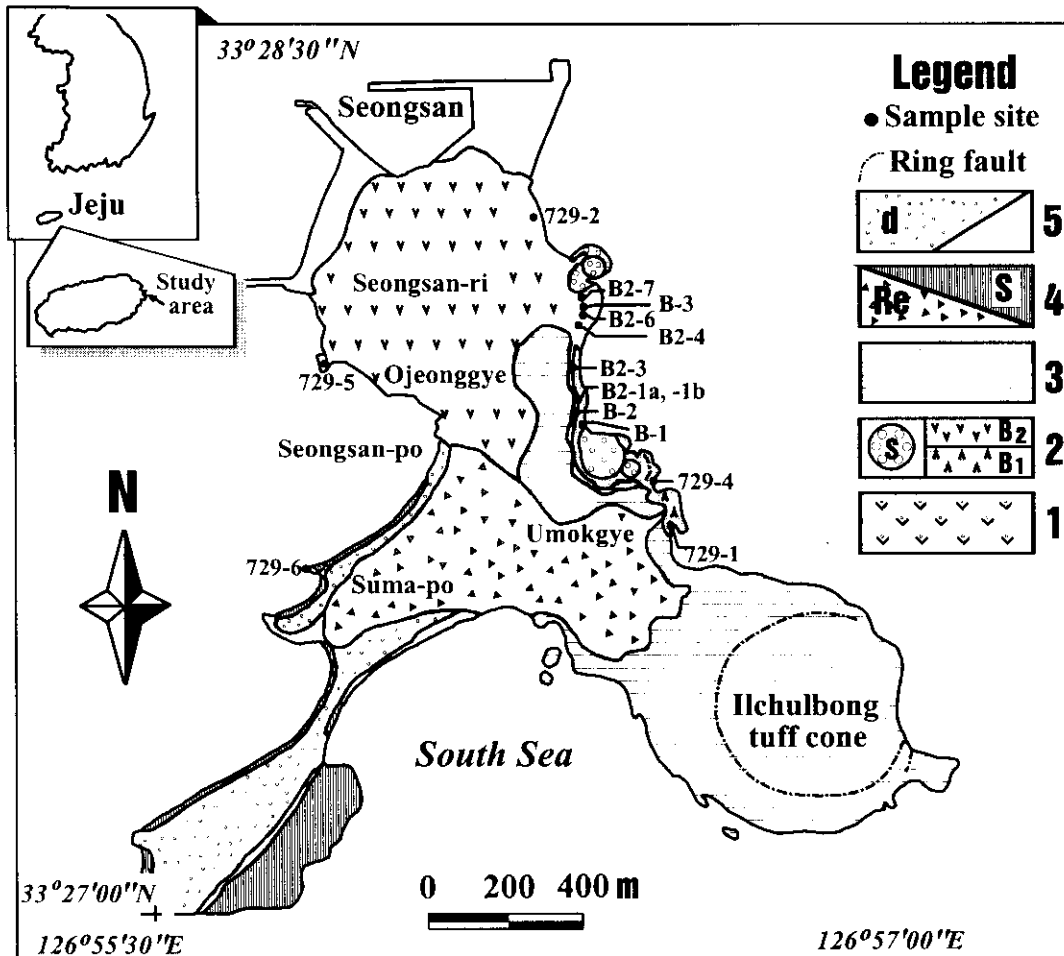


Fig. 1. Geological map of the study area(modified from Won *et al.*, 1993).  
 [1, Pyoseon-ri lava; 2, Seongsan-ri lava (B1, lower lava; B2, upper lava;  
 S, spatter cone); 3, Ilchulbong tuff; 4, Ilchulbong reworked tuff(Re) and  
 Sinyang-ri Formation(S); 5, Eolian dune sand(d) and beach sand and  
 reclaimed area.]

는 일출봉의 분출 도중 또는 분출이 끝난 후 분화구 내측이 침강하여 형성된 환상단층(ring fault)으로 해석된다. 일출봉응회구는 라필리로 주로 이루어져 있으며, 상대적으로 소량의 화산회와 화산암괴를 포함한다. 화산암괴와 비교적 조립의 라필리는 약 62%의 결정질 현무암편과 38%의 다공질 스코리아편으로 이루어져 있다. 결정질 현무암편은 색깔과 형태가 다양하고 감람석의 반정을 다량 함유하며, 광물조성에 근거로 이 일출봉 하부에 위치한 성산리현무암에서 유래한 유질암편으로 판단된다. 라필리는 2~3%의 결정질 현무암편을 제외하면 대부분 다공질인 유리질 암편으로 구성된다. 이들은 40~60%의 기공을 함유하며 황갈색 혹은 불투명한 유리질의 기질에 소량의 감람석 및 사장석 반정을 포함한다. 이들은 일출봉의 분출과 직접 관련된 본질암편으로, 기포가 생성된 마그마(vesiculating magma)의 수성분출에 기인하는 것이다. 화산회는 유리질 암편으로 구성되며, 소량의 사장석 혹은 감람석 결정편을 함유한다. 이들 화산회는 매우 각진 형태를 보이며, 마그마의 수성분출시 생성된 것으로 알려져 있다(원종관 외, 1993).

일출봉재동퇴적층은 일출봉응회구의 사면으로부터 재이동된 응회암의 퇴적층이며, 신양리층(김봉균, 1969)은 일출봉 기원의 해성 화산원 퇴적층이다. 본 역에서 성산리현무암과 일출봉응회암을 부정합으로 피복한다. 신양리층의 주향은 N35°E, N37°E, N10°E 으로 해안선에 평행하며 경사는 3~10°로 바다쪽을 향한다(Fig. 2). 본 층은 층준에 따라 다량의 패각편을 함유하기도 하며 본 층 내의 유공층 연구 결과 제4기 플라이스토세로 동정되었다. 신양리층의 상부에는 약 1m 두께의 동남 고토양(plaleosol: 윤상규 외, 1986)이 놓이며, 그 위로는 현생의 풍성사구층과 해빈사가 놓인다.

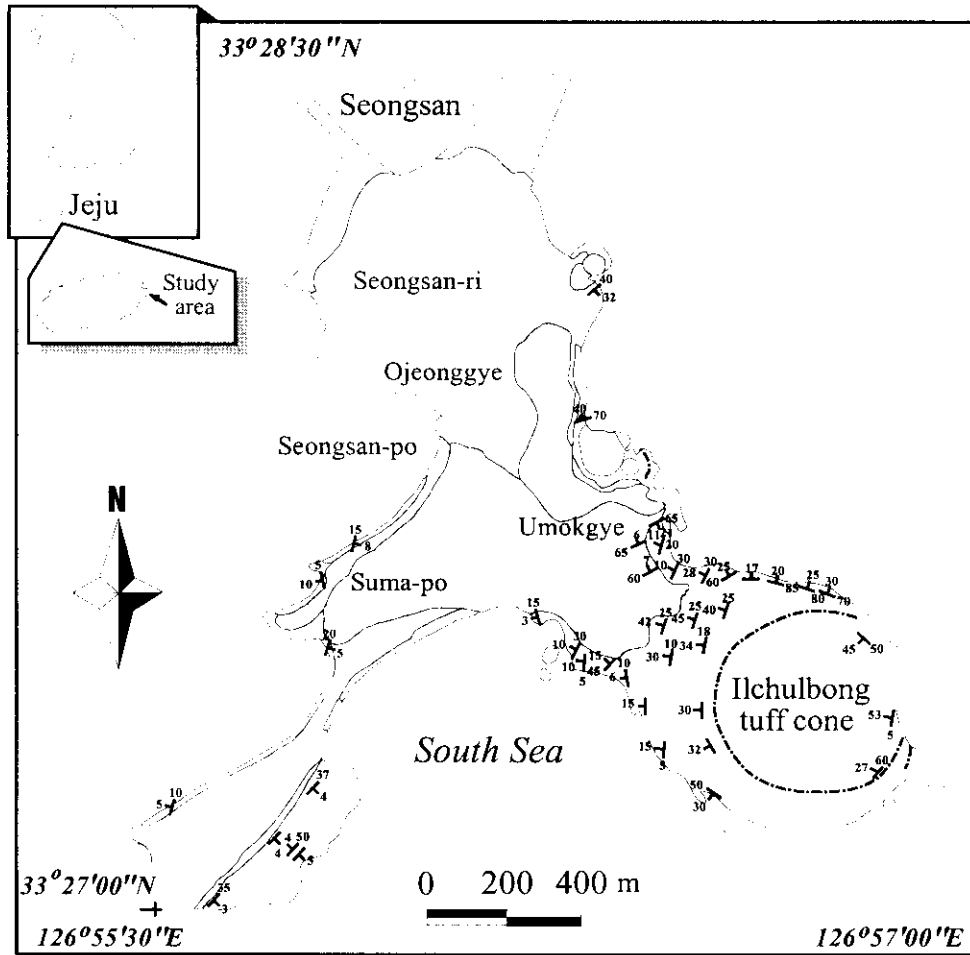


Fig. 2. Strikes and dips in the study area.

## 암 석 기 재

본 연구지역의 용암류는 성산 도폭에서 제주도 화산활동 단계 중 제 2단계의 표선리현무암과 제 3단계의 성산리현무암으로 크게 나눌 수 있으며(원종관 외, 1993), 육안상 반정광물의 종류 및 조직에 따라 크게 침상장석-감람석 현무암(FOB; feldspar olivine basalt)과 비현정질 현무암(APB; aphanitic basalt)으로 구분할 수 있다.

본 연구지역의 모우드 분석 결과는 Table 1과 같다.

### 1. 표선리현무암

성산 일출봉의 서북쪽 수마포 지역에 분포하는 표선리현무암은 침상장석-감람석 현무암으로 이루어져 있으며, 약간 어두운 회색을 띠고 다공질이며, 반정으로 감람석과 침상 사장석이 나타나는데, 이는 비현정질의 성산리현무암과는 암상에서 구별된다.

현미경하에서 반정은 감람석 반정과 소량의 사장석 반정 및 극소량의 단사휘석 반정이 나타난다. 석기는 사장석 래쓰(lath)와 감람석, 단사휘석, 불투명 광물로 구성되어 있다. 그리고 이것들이 조립의 침상 사장석과 감람석 사이를 충전하고 있는 입간(intergranular)조직을 보인다.

**감람석:** 결정형은 자형 내지 반자형이다. 반정 내에 불규칙한 열극이 존재하며 골격구조(skeletal texture)를 보인다.

**사장석:** 반정과 미반정들의 결정은 거의 대부분 자형 내지 반자형의 주상으로 나타나며, 알바이트-칼스바드 쌍정과 미약한 누대구조가 보인다.

Table 1. Modal compositions from the basaltic rocks in the study area.

Sample No.	Rock Type	ol		cpx		pl		gm	texture	Ref.
		ph	mph	ph	mph	ph	mph			
729-5	APB	2.8	2.1	-	-	-	-	95.0	intg.	TH
729-2	APB	1.0	3.6	-	-	-	-	95.3	intg., pilo., subo.	TH
B-3	APB	1.2	4.7	-	-	-	-	94.1	intg.	TH
B-2	APB	3.2	1.9	-	-	-	-	94.9	intg., pilo.	TH
B2-7	APB	4.5	2.5	-	0.1	-	-	92.8	intg., pilo., subo.	TH
B2-6	APB	5.3	3.5	0.7	0.2	-	-	90.2	intg., pilo., subo.	TH
B2-4	APB	3.0	2.2	-	0.1	-	-	94.6	intg., pilo., subo.	TH
B2-3	APB	3.6	3.3	-	-	-	-	93.0	intg.	TH
B2-1a	APB	4.2	2.9	-	-	-	-	92.8	intg.	TH
B-1	APB	0.3	5.4	-	-	-	-	93.8	ints., pilo.	AB, ±cpx, pl
729-4	APB	0.9	3.8	-	-	-	-	95.1	ints.	AB
729-1	APB	0.1	2.7	-	-	-	-	97.1	ints.	AB, ±bt
729-6	FOB	1.9	2.2	0.2	0.3	0.5	3.9	90.9	intg.	TH

Modes based on about 2000 counts per samples.

Phenocrysts(ph)>0.7mm: Microphenocrysts(mph)0.1-0.7mm; groundmass<0.1mm

ol, olivine; cpx, clinopyroxene; pl, plagioclase; bt, biotite; gm, groundmass

APB, aphanitic basalt; FOB, feldspar olivine basalt; AB, alkali basalt; TH, tholeiitic basalt;

ints, intersertal; intg, intergranular; pilo, pilotaxitic; subo, subophitic.



## 2. 성산리현무암

성산리현무암은 대부분이 비현정질 현무암으로 관찰되는데 대체로 다공질이  
며, 밝은 회색을 띤다. 성산리현무암은 성산 일출봉 북쪽 해안 저지대의 해안  
절벽에서 붉은 색의 괴상 라필리스톤층 및 고토양층(red paleosol)에 의해 크게  
두 층의 용암류 즉, 하부용암류와 상부용암류로 나누어진다(Photo. 1). 이 괴상  
라필리스톤층의 두께는 약 32cm이며 주로 입경 1~2cm 정도의 라필리로 구성  
된다. 이 층은 전체적인 두께와 입도(grain size)가 거의 같은 것을 미루어 볼  
때, 분비강하(airfall)에 의한 것으로 추정된다(Photo. 2). 이 라필리스톤층에 수반  
된 고토양층에 의해 하부용암류와 상부용암류의 생성에는 시간적 간격이 있었  
음을 추측할 수 있다. 상부용암류는 일출봉용회암에 의해 피복된다.

본 역에서는 용암류의 분화구가 발견되는데, 그 중 일출봉의 북동쪽 우묵계  
해안에는 3개 정도의 작은 분화구와 이것들을 포함하는 큰 분화구의 흔적이 나  
타난다. 작은 분화구 중의 하나는 내벽의 주향과 경사가 N35°W, 20~40°SW,  
N28°W, 45~60°SW, N10°W, 60°SW, N80°E, 40°NW으로 분포하며, 분화구 측벽  
의 상부의 경사는 20°와 27~28° 등으로 약간 낮게 나타났다. 이것으로부터 분  
화구의 중심으로부터 용암류가 분출했음을 짐작할 수 있다. 그리고 인접해 있  
는 다른 분화구는 내벽의 주향과 경사가 각각 N50°W, 40°SW와 N20°W, 60°SW  
와 N10°E, 60°NW와 N50°E, 45°NW와 N80°E, 50°NW로 나타났다. 이 분화구에서  
흘러나온 용암들 사이에서 화성쇄설 물질이 섞여 있는 집괴암상(agglomerate)들  
이 관찰된다(Photo. 3a). 분화구 주변에서는 대소규모의 화산탄들이 발견되는데  
(Photo. 3b), 큰 것의 크기는 136×80cm에 이른다. 위의 2개의 분화구를 둘러싸  
는 큰 분화구의 내벽의 주향과 경사는 각각 N30°W, 80°SW와 N20°W, 70°SW와  
N30°E, 80°NW이며, 분화구벽의 외벽에서의 용암류의 경사는 30°이다. 즉 분화  
구의 내벽의 경사는 약 80°로 매우 급경사이고 정상부는 10~30°정도로 완만하

며 외측에서는 약 30°의 경사를 가진다(Photo. 3c). 이것도 중심에서 분출한 용암류가 외벽을 타고 바깥쪽으로 흘러갔음을 지시한다. 시료 729-1 지역에는 동굴(cave)이 존재하며, 그 위를 집괴암상의 현무암이 뒤덮고 있다. 집괴암의 크기는 다양하며, 화산탄도 관찰된다. 성산리현무암의 하부용암류(시료 729-1, 729-4, B-1)는 이 분화구에서 유래된 용암류이다.

성산 일출봉 북쪽 오정계 동쪽 해안에는 황색의 기질에 검은 현무암 스크리아를 함유하는 스패터콘(spatter cone)이 해침에 의해 침식되어 노출되어 있다(Photo. 4). 절벽에서 스크리아층의 층리면의 주향은 N40°E, 32°SE이다. 스패터콘 내의 스크리아는 블록(block) 정도의 크기로 비교적 크고 굵으나, 중심에서 멀어질수록 라필리 정도로 그 크기가 점점 작아진다. 이 스패터콘으로부터 근접해 있는 지역에서는 상부용암류의 각 용암 사이에 여기에서 분출된 스크리아가 협재되어 있다(Photo. 5). 적색의 라필리스트론층과 상부용암류는 이 분화구에서 유래된 것으로 추측된다.

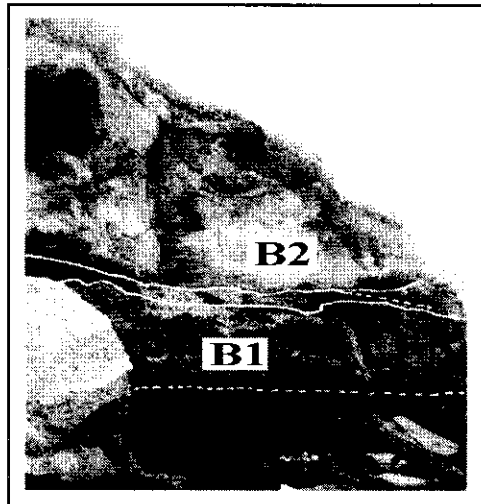


Photo 1. Outcrop of the Seongsan-ri basalt showing two flow units  
(B1 : lower lava and B2: upper lava).

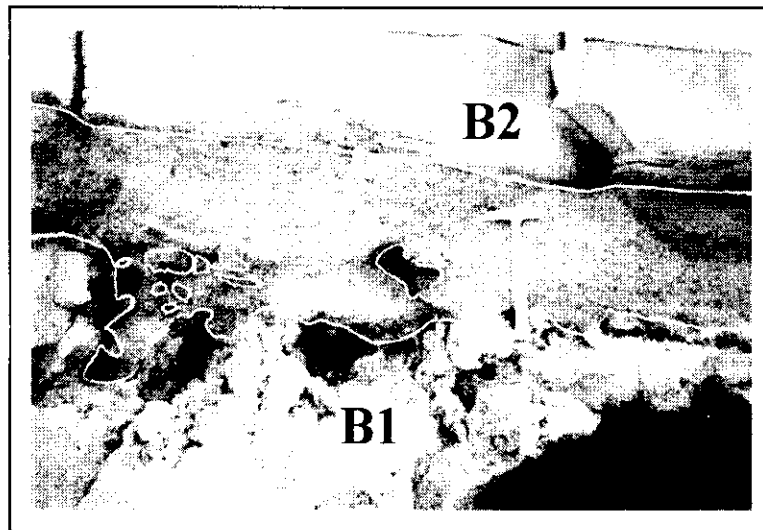


Photo 2. Outcrop of the Seongsan-ri basalt which intercalates  
yellowish lapillistone and paleosol(with thickness of 32cm).

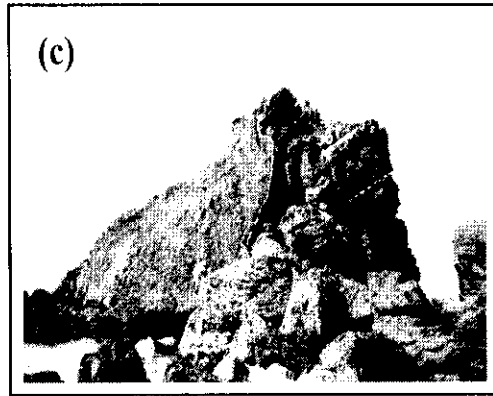
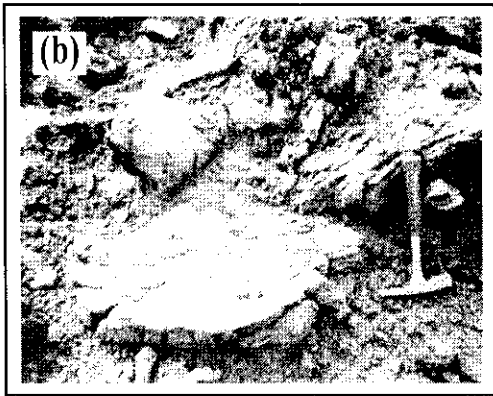
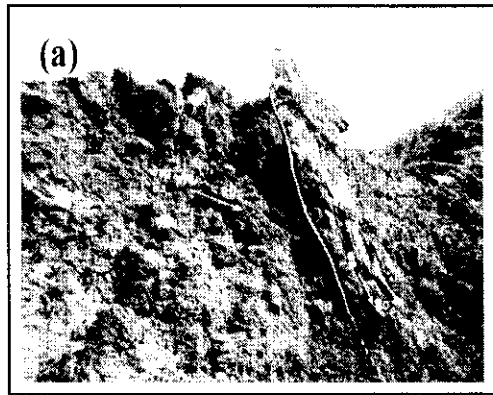


Photo 3. Outcrop of the volcanic center (small crater) which erupted B1 lavas.

- (a) Agglomerate deposits of low-angle inward dipping ( $20^{\circ}$ ) outside the crater wall. And lavas of the crater wall show high-angle inward dipping ( $80^{\circ}$ ).
- (b) Volcanic bombs in the agglomerate deposits.
- (c) Crater wall of high-angle inward dipping ( $80^{\circ}$ ) lava and low-angle ( $30^{\circ}$ ) lava flows outside the crater wall.

## 2 - 1. 하부용암류

성산리현무암의 하부용암류는 대체로 다공질이며 시료 B-1 지역에서 용암류의 두께는 약 240cm이며, 이는 다시 클링커(clinker)에 의해 하부가 약 120cm, 상부가 약 170cm의 두께를 가진 두 용암류로 분지되어 나타난다. 그리고 용암류의 상부에 작은 용암통로가 관찰된다. 이 용암류는 각각 클링커에 의해 여러 차례 분지되어 수개의 용암단위(flow unit)를 이루어 나타난다. 각 용암류의 두께는 약 10cm에서 수 십cm에 이르는 것으로 다양하며, 용암단위 B1-1a'의 상부표면에 로피구조(ropy structure)도 나타난다. 하부용암류에서 용암튜브(lava tube)도 관찰된다(Fig. 3: STOP 1 & 2). 우목계 북동 해안에서 하부용암류는 주향과 경사가 N70°E, 40°NW로 나타나는데(Fig. 2), 북쪽으로 감에 따라 지형이 낮아져서 해수면 아래로 들어가고, 상부용암류에 의해 피복된다.

현미경하에서 시료 B-1는 뚜렷한 유상구조를 보이지 않으며, 필로택시틱(pilotaxitic)조직과 인터서탈(intersertal)조직을 보이며, 감람석의 골격구조도 나타난다. 그리고 반정은 거의 보이지 않고 대부분이 감람석 미반정이며, 결정 내에 불규칙한 열극이 보인다. 그리고, 가장자리를 따라 거의 이딩사이트(iddingsite)로 변질되었으며, 용식형의 감람석 반정이 관찰된다. 석기에는 아주 미세한 사장석 래쓰만 구별된다.

시료 729-4는 현미경하에서 반정이 거의 보이지 않고 다수의 기공이 관찰되고, 소량의 용식 또는 이딩사이트로 변한 감람석 반정만 관찰되며, 그 밖의 반정은 확인되지 않는다. 대부분이 불투명 광물로 변질되어 있으며, 기질부는 유리질이다. 시료 729-1 역시 현미경하에서 반정이 거의 보이지 않으며 반자형 내지 타형의 감람석 미반정만 관찰되고 다수의 기공이 관찰된다. 그리고 특이하게 흑운모가 관찰되는데, 이는 기반암에서 유래된 외래 결정편으로 사료된다. 시료 729-1, 729-4은 현미경하에서 인터서탈조직을 보인다.

## 2 - 2. 상부용암류

성산리현무암의 상부용암류는 회색의 비현정질이며, 괴상(massive)이다. 시료 B-2 지점에서는 용암류의 상부와 하부에 수평 유동절리(flow joint)가 발달하며, 기공이 선상으로 배열되어 있음을 볼 수 있는데, 용암류의 상부에는 기공이 조금 불규칙하게 나타나고, 그보다 아래의 층의 중간에 나타나는 기공은 치밀한 구조를 보인다. 그리고 이 층의 최하부는 유리질로서 약간 검게 나타나는 것으로 보아 급냉된 것으로 보인다. 하부용암류 역시 클링커에 의해 수매의 용암단위로 분지되어 나타나는데 시료 B2-1a의 지역에서는 다각형의 절리가 나타나며 이 용암단위 위에는 수평절리를 볼 수 있다. 시료 B2-4 지역에서는 용암튜브가 관찰된다. 시료 B2-6 지역 주위에는 높이가 각각 120cm, 110cm, 125cm 정도 되는 용암단위가 존재한다. 시료 B-3 지역에서는 기공들이 수직방향으로 선상의 배열을 보이는 것이 관찰되는데, 이로써 용암이 수직으로 떨어진 것으로 사료된다(Fig. 3: Stop 2 & 3). 그리고 오정계 서쪽 해안의 729-5 지역에서는 용암류(lava flow)가 ridge를 형성하는데, 그 주향과 경사는 각각 N80°W, 20°N과 N80°W, 20°S이다.

현미경하에서의 관찰에 의하면, 시료 B-3 내의 감람석 반정은 골격구조를 보인다. 시료 B2-4, B2-6, B2-7에서는 소량의 단사휘석 반정이 관찰되며, 사장석 래쓰가 반정 주위를 둘러싸는 필로택시틱조직이 관찰된다. 시료 B2-4, B2-6, B2-7, 729-2에서는 서브오피틱(subophitic)조직이 관찰되며, 감람석 반정이 골격구조를 가진다. 그리고 시료 B2, B2-1a, B2-3, B2-4, B2-6, B3, B2-7, 729-2, 729-5는 현미경하에서 전체적으로 입간조직을 보인다.



Photo 4. Outcrop of black scoria deposit with tuff(dipping 32°) of the spatter cone which erupted B2 lavas.

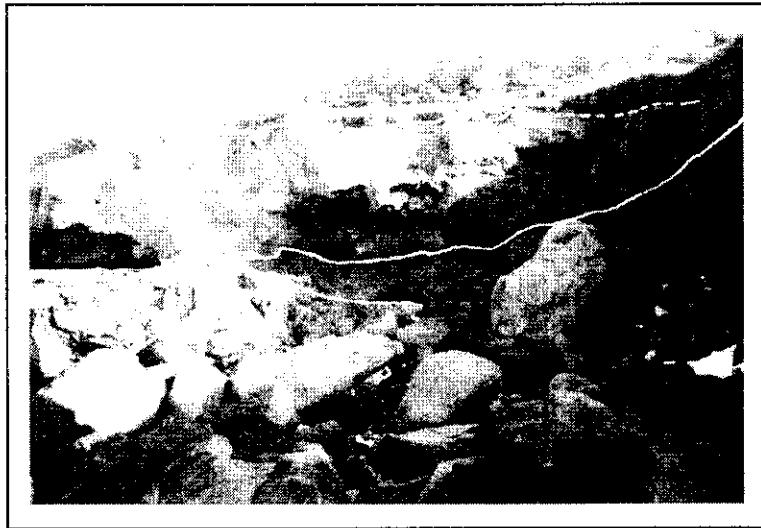


Photo 5. Outcrop of the spatter cone which is intercalated by upper lavas of the Seongsan-ri basalt.

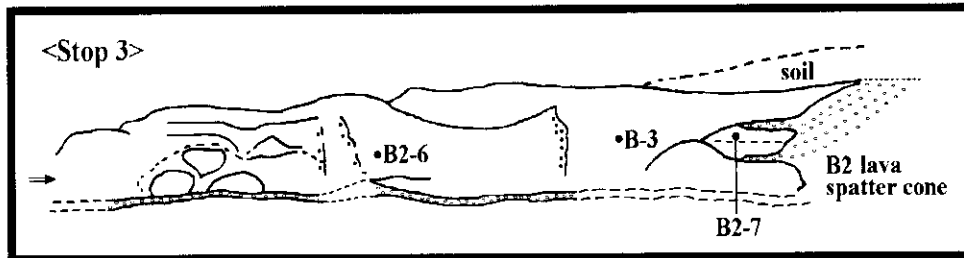
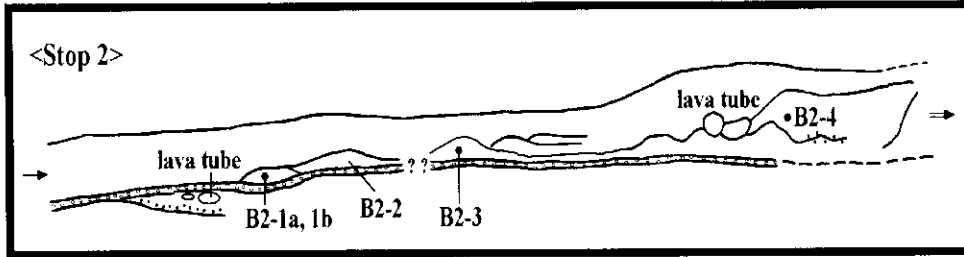
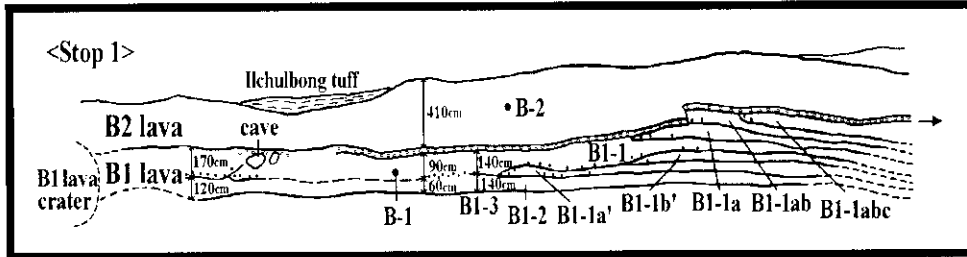


Fig. 3. Sketch section of lava flows in Stop 1, 2 and 3 of the study area (heavy dot with number shows sample locality and numbers represent separated lava flow unit). Stop 1, 2 and 3 are shown in Fig. 1.

[small open circle : lapillistone and scoria, small filled circle : clinker]



## 암석화학적 특징

### 주성분 원소

본 역의 화산암(용암류)의 주성분 원소 분석결과와 CIPW 노름값은 Table 2와 같다.

본 역의 용암류는 TAS성분도( $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 의 IUGS분류도(Le Bas *et al.*, 1986))에서 알칼리성분의 함량을 기준으로 하여 암석계열을 구분(Irvine and Baragar, 1971; Macdonald and Katsura, 1964)해 보면, 알칼리암 계열과 서브알칼리암 계열로 구분된다. 즉 성산리현무암의 하부용암류는 알칼리암 계열에, 상부용암류와 표선리현무암은 서브알칼리암 계열에 각각 도시된다(Fig. 4a).

성산리현무암의 상부용암류와 표선리현무암은 서브알칼리암 계열의 현무암을  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에 대한 알칼리 지수(alkali index)로 구분하는 성분도(Middlemost, 1975)에서 고알루미나질 현무암(또는 칼크-알칼리암질 현무암)에 비하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 함량이 낮은 쏘리아이트질 현무암(TH)의 영역에 도시된다(Fig. 4b). 그러므로 본 연구지역에는 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암이 함께 산출된다.

본 역의 용암류를  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  다이어그램에 도시한 결과는 Fig. 5와 같으며, 이는 Lee(1982)가 제주도의 알칼리암은 소덕 계열의 특징을 가지나, 전체적으로 전형적인 포타식 계열인 고프형(Gough trend)과 소덕 계열의 하와이형(Hawaiian trend)의 중간형인 전이적인 경향을 가진다고 보고한 것과 잘 부합된다.

본 역의 용암류는  $\text{SiO}_2$  함량이 전체적으로 47.4~50.8 wt.%의 범위를 나타낸다. 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암의  $\text{SiO}_2$  범위는 각각 47.4~48.4 wt.%, 48.9~52.3 wt.%이다. 또한, MgO 함량은 각각 9.8~8.3 wt.%, 8.6~6.4 wt.%의 범위를 나타낸다. 그리고 쏘리아이트 현무암은 동일한 MgO 함량에서 알칼리 현무암과 비교해 보면,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}^{\text{T}}$ , CaO 함량이 많고,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  함량이 적

Table 2. Major element abundances (wt.%) and CIPW norm of the basaltic rocks in the study area.

Sample No.	729-6	729-1	729-4	B-1	B2-1a	B2-1b	B2-3
Rock Type	TH(<math>\blacktriangleleft</math>)	AB(<math>\bullet</math>)	AB(<math>\bullet</math>)	AB(<math>\bullet</math>)	TH(<math>\circ</math>)	TH(<math>\circ</math>)	TH(<math>\circ</math>)
SiO <sub>2</sub>	52.25	48.37	48.06	47.36	49.35	49.16	50.18
TiO <sub>2</sub>	2.00	2.48	2.46	2.54	2.18	2.23	2.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.65	14.12	14.03	13.50	14.54	13.89	14.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	11.69	12.23	12.60	12.40	12.81	12.92	12.46
MnO	0.15	0.16	0.17	0.20	0.17	0.20	0.16
MgO	6.38	8.55	9.83	8.29	8.15	7.89	8.39
CaO	8.79	9.10	9.05	8.92	9.22	9.10	9.24
Na <sub>2</sub> O	3.40	3.42	2.55	2.68	3.05	2.60	3.18
K <sub>2</sub> O	1.00	1.66	1.24	1.66	0.53	0.56	0.68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.55	0.50	0.58	0.27	0.28	0.28
L.O.I	-0.18	-0.40	0.09	0.85	0.32	0.96	-0.29
Total	100.62	100.64	100.49	98.96	100.28	99.80	100.68
<b>CIPW norm</b>							
Q	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
Or	5.93	9.84	7.37	10.11	3.16	3.39	4.03
Ab	28.80	25.77	21.66	23.32	25.97	22.47	26.96
An	21.77	18.28	23.26	20.43	24.57	25.10	21.96
Ne	0.00	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di-wo	8.42	9.91	7.91	9.02	8.32	8.10	9.35
Di-en	5.34	6.79	5.11	5.62	5.03	4.83	5.74
Di-fs	2.54	2.32	2.25	2.85	2.84	2.84	3.06
Hy-en	10.64	0.00	6.50	3.62	9.28	15.34	8.56
Hy-fs	5.06	0.00	2.86	1.83	5.24	9.03	4.57
Ol-fo	0.00	10.24	9.16	8.47	4.36	0.00	4.72
Ol-fa	0.00	3.86	4.45	4.74	2.72	0.00	2.78
Mt	5.10	5.33	3.67	3.70	3.74	3.83	3.62
Il	3.81	4.72	4.70	4.97	4.17	4.33	4.04
Ap	0.66	1.20	1.10	1.30	0.59	0.63	0.61
A. I.	2.80	5.56	4.41	5.86	3.32	3.02	3.16
Mg#	40	46	46	42	41	40	42

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup> is recalculated as FeO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for CIPW norm.

(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO ratios for CIPW norm calculation recommended by Middlemost, 1989).

Mg#=[Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)]\*100; A.I.=(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/[(SiO<sub>2</sub>-43)\*0.17].

(to be continued - 2)

Sample No.	B2-4	B2-6	B2-7	B-2	B-3	729-2	729-5
Rock Type	TH(O)	TH(O)	TH(O)	TH(O)	TH(O)	TH(O)	TH(O)
SiO <sub>2</sub>	50.28	50.29	50.32	48.90	49.85	50.83	50.24
TiO <sub>2</sub>	2.10	2.12	2.09	2.14	2.14	2.09	1.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.82	14.00	13.83	14.51	14.15	13.95	14.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	12.29	12.37	12.23	13.05	12.72	12.13	12.13
MnO	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16
MgO	8.34	8.36	8.31	8.63	8.21	8.15	8.42
CaO	9.19	9.31	9.18	9.57	9.31	9.15	9.11
Na <sub>2</sub> O	3.14	3.19	3.21	3.19	3.28	3.31	3.23
K <sub>2</sub> O	0.75	0.71	0.75	0.43	0.67	0.80	0.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.26
L.O.I	-0.51	-0.38	-0.61	-0.07	-0.44	-0.57	-0.28
Total	100.36	100.80	100.34	100.86	100.77	100.87	100.63
<b>CIPW norm</b>							
Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Or	4.46	4.21	4.46	2.55	3.97	4.74	3.98
Ab	26.71	27.01	27.30	27.01	27.79	28.01	27.39
An	21.50	21.80	21.21	24.01	21.93	20.84	22.97
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Di-wo	9.49	9.54	9.59	9.15	9.47	9.57	8.71
Di-en	5.84	5.87	5.91	5.57	5.73	5.88	5.37
Di-fs	3.09	3.11	3.12	3.06	3.21	3.13	2.82
Hy-en	9.27	8.29	8.60	5.03	6.33	8.49	8.33
Hy-fs	4.90	4.40	4.54	2.76	3.54	4.52	4.37
Ol-fc	4.11	4.75	4.48	7.71	5.95	4.22	5.19
Ol-fa	2.40	2.79	2.61	4.67	3.68	2.48	3.00
Mt	3.59	3.59	3.57	3.79	3.69	3.53	3.56
Il	4.02	4.04	4.00	4.07	4.08	3.98	3.76
Ap	0.62	0.61	0.62	0.61	0.63	0.63	0.57
A. I.	3.14	3.15	3.18	3.61	3.39	3.09	3.17
Mg#	42	42	42	42	41	42	43

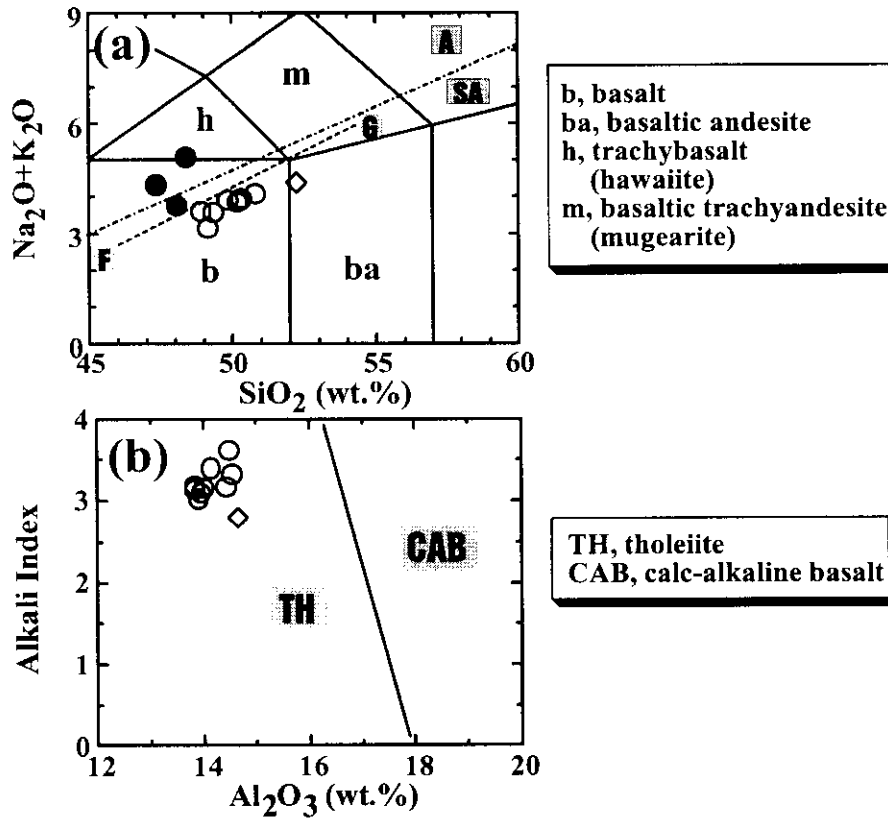


Fig. 4. (a) Total alkali vs. SiO<sub>2</sub> (wt.%) (Le Bas et al, 1986) plot of the basaltic rocks in the study area. The dividing line between alkali(A) and sub-alkalic(SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971). Line F-G is division for tholeiitic and alkaline rocks in Hawaii (Macdonald and 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). Symbols [○, tholeiitic basalt in Seongsan-ri lava; ●, alkalic basalt in Seongsan-ri lava; ◇, Pyoseon-ri lava]

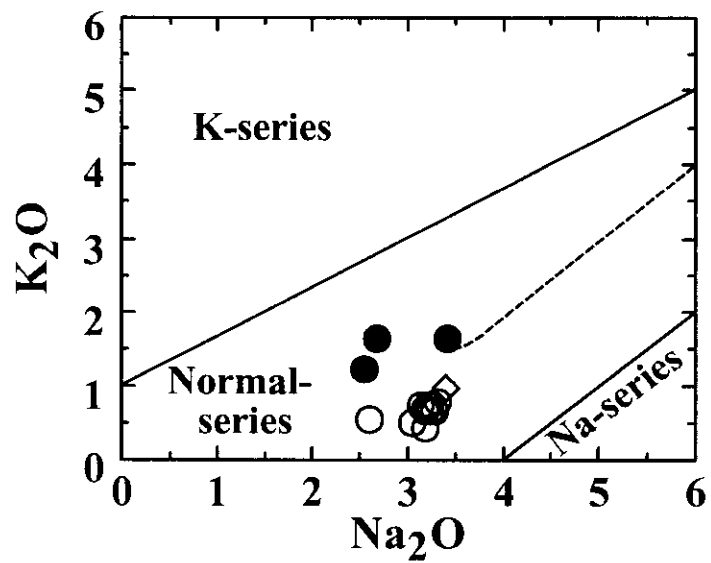


Fig. 5. K<sub>2</sub>O vs. Na<sub>2</sub>O (wt.%) plot diagram for the basaltic rocks in the study area (Heavy line is divided from Middlemost(1975) and dotted line is divided from Le Bas *et al.*(1986)). Symbols are the same as those in Fig. 4.

게 나타나며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 유사하다. 본 역의  $\text{SiO}_2$ 의 성분은  $\text{MgO}$  성분  
에 비하여 그 변화 범위가 비교적 좁게 나타나며,  $\text{MgO}$ 와  $\text{CaO}$ 가 감소함에 따  
라  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 증가하는 경향을 보이는데 이는 감람석과 단사휘석의 정출이 분화  
작용에 주된 영향을 미쳤음을 나타낸다.

본 역의 분석자료를 성산 일출봉 주변의 제주도 동부 지역의 분석자료(이정  
숙, 1998; 김석연, 2001)들과 함께 주성분 원소의 변화 경향을 도시한 결과(Fig.  
6)는  $\text{MgO}$ 가 감소함에 따라 즉, 분화가 진행됨에 따라  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  
 $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 증가하고,  $\text{FeO}^T$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ 는 감소하는 경향을 보인다. 분화가 진행됨에  
따라  $\text{CaO}$ 는 감소하고  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 점진적으로 증가하는 경향을 나타내는데,  
이는 사장석의 정출이 마그마의 분화에 크게 영향을 미치지 않았음을 의미한  
다. 즉, 사장석이 주된 정출광물이 아니었음을 지시한다.

주성분 원소의 노움 광물 조성을 살펴보면, 성산리현무암의 하부용암류인 시  
료 729-1은 노움 네펠린(Ne)을 함유하며, 상부용암류인 시료 B2-1b와 729-6은  
노움 석영(Q)을 함유한다(Table 2). 노움 광물 분석결과를 Thompson(1984)의 다  
이아그램에 도시한 결과(Fig. 7), 표선리현무암은 노움 석영(극소량)+하이퍼신+  
투휘석을 가지는 쏘리아이트 조성의 영역에 도시되어 이 현무암은 쏘리아이트  
암류로 분류되어 나타났다. 그리고 성산리현무암의 하부용암류는 노움 네펠린  
(극소량)+감람석+투휘석을 가지는 알칼리 현무암의 조성의 영역과 감람석+투휘  
석+하이퍼신을 가지는 감람석 쏘리아이트(변이대 현무암: transitional basalt)의  
조성의 영역에 도시되어 나타났다. 그리고 성산리현무암의 상부용암류는 거의  
대부분이 감람석+투휘석+하이퍼신 조성을 가지는 감람석 쏘리아이트의 조성  
을 가지는 영역에 도시되어, 감람석 쏘리아이트암으로 분류되어 나타났다.

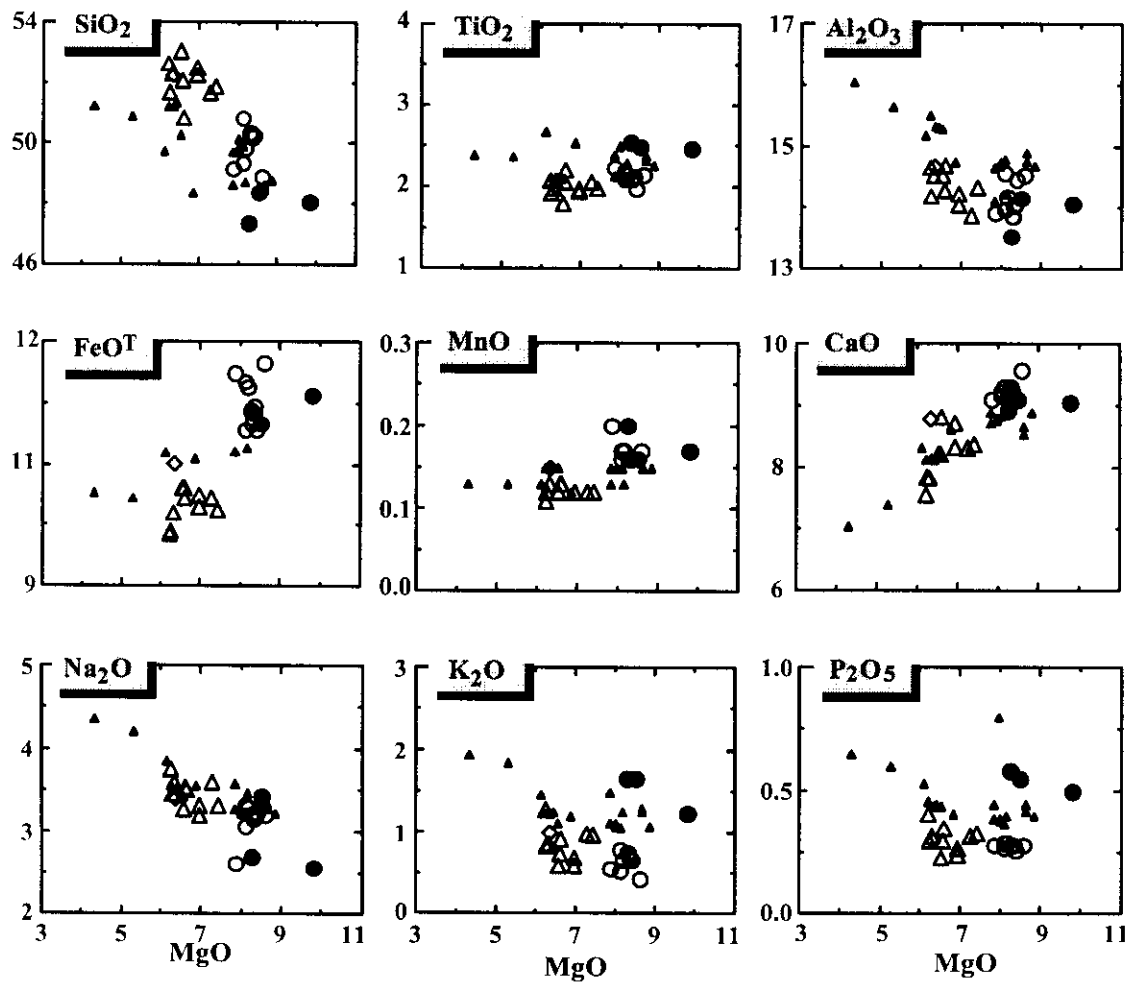


Fig. 6. Harker variation diagrams of major oxide (wt.%) vs. MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 4. and [ $\Delta$ , tholeiitic basalt from Lee(1998);  $\blacktriangle$ , alkalic basalt from Lee(1998) and Kim(2001)]

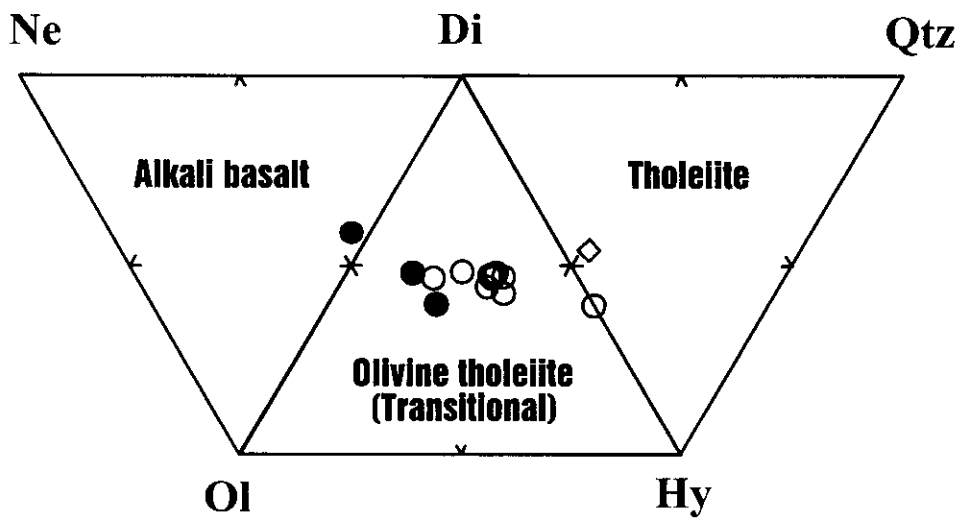


Fig. 7. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimensional diagram of normative components ne-ol-di-hy-qtz (Thompson, 1984). Symbols are the same as those in Fig. 4.



## 미량성분 원소

본 역의 용암류의 미량원소 분석결과는 Table 3과 같다.

### 1. 불호정성 미량원소

페리도타이트 맨틀과 현무암 용융물질(melt)의 마그마 생성계에서 희토류 원소를 포함한 Rb, Ba, Th, Ta, K, P, Zr, Hf, Ti 및 Y 등은 불호정성을 나타내는 원소이다.

Th은 Zr, Y과 같이 풍화나 변질작용에 크게 영향을 받지 않으므로 마그마의 분화척도로 사용하여 이 지역 용암류의 불호정성 미량원소에 대한 변화 경향을 성산 일출봉 주변의 제주도 동부 지역의 분석자료와 함께 도시해 본 결과, Fig. 8과 같았다. 즉, 쏘리아이트 현무암류는 알칼리 현무암류와 함께 전체적으로 Th가 감소함에 따라 Ba, Sr, Rb, Nb, La, Zr 등이 감소하여 정(+)의 상관관계를 보인다. 이것은 이들 원소들이 현무암질 마그마에서 정출된 염기성 광물들에 대해 불호정성이기 때문이다. 한편, 쏘리아이트 현무암류의 불호정성 원소 함량은 Ba, Rb, Nb이 각각 175~209 ppm, 4.5~23.2 ppm, 및 20.2~21.7 ppm으로 알칼리 현무암류의 381~512 ppm, 26.6~37.5 ppm, 및 39.6~45.6 ppm보다 현저하게 낮다. Th에 대한 이들 원소의 함량 변화 경향이 뚜렷한 정(+)의 상관을 나타내면서 쏘리아이트 현무암에서의 함량이 알칼리 현무암에 비하여 적은 것은, 이들 암석을 형성한 마그마가 성분적으로 균질한 근원 물질에서의 부분용융 정도의 차이에 기인되었을 가능성이 높다(Hanson, 1989). 그리고, 각각의 현무암의 Ba/Th, Rb/Th비가 거의 동일하며 Y 절편이 0에 가깝고 기울기가 유사하게 나타나는데, 이것 또한, 두 종류의 현무암의 모마그마가 동일기원이며, 동일기원 물질의 부분용융 정도의 차이에 의한 마그마의 분화로 해석된다(Zhi *et al.*, 1990).

Table 3. Trace element abundances (ppm) of the basaltic rocks in the study area.

Sample No.	729-6	729-1	729-4	B-1	B2-1a	B2-3
Rock Type	TH	AB	AB	AB	TH	TH
Sr	349	558	547	600	364	368
Ba	209	428	381	512	201	180
Li	7.18	5.14	1.32	7.22	4.31	3.78
P	1635	2512	2452	2386	1338	1406
S	760	653	745	516	730	729
Sc	20	18.2	20.9	18	21.1	21.1
V	167	197	194	186	176	176
Cr	175	237	280	213	215	226
Zn	114	106	131	118	113	112
Zr	141	193	195	220	128	128
Co	74	66	78	85	73	71
Ni	118	170	249	173	176	176
Cu	49	53	31	57	72	69
Rb	23.2	37.5	26.6	36	4.5	13.6
Y	18.5	19.2	19.7	22	20.3	19.2
Nb	21.7	45.6	44.5	39.6	20.9	20.2
Mo	1.43	2.1	2.05	1.9	0.92	1.03
Cd	0.14	0.16	0.13	0.08	0.15	0.15
Sn	1.56	1.86	1.63	1.41	1.29	1.55
Cs	0.29	0.43	0.1	0.1	0.03	0.17
Hf	3.71	4.83	4.77	5.36	3.52	3.41
Ta	1.65	3.08	2.98	2.79	1.37	1.35
Pb	4.42	3.29	3.15	3.2	1.85	1.8
Th	3	5.89	5.65	6.5	2.35	2.23
U	0.66	1.35	1.21	0.87	0.51	0.52

(to be continued - 2)

Sample No.	B2-4	B2-6	B2-7	B-2	B-3	729-2	729-5
Rock Type	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH
Sr	371	367	374	389	378	373	381
Ba	185	182	175	204	198	182	180
Li	3.42	4.56	4.15	3.44	3.6	4.91	5.69
P	1437	1573	1388	1382	2583	1489	1440
S	721	1109	730	708	636	726	775
Sc	21.3	23	20.4	20.5	21.1	21.1	21.2
V	180	202	177	173	178	176	177
Cr	206	242	245	225	228	231	254
Zn	111	121	107	111	111	111	109
Zr	129	145	124	130	130	132	126
Co	85	68	76	72	67	84	71
Ni	178	177	174	189	170	175	189
Cu	69	65	64	81	67	70	63
Rb	15.8	12.4	15.2	5.1	7.3	17.5	14.9
Y	18.9	18.5	18.9	19.3	20.2	19.1	21.3
Nb	20.8	20.6	20.7	21	21.4	21.3	20.9
Mo	1.24	1	1.11	0.74	0.87	1.14	1.15
Cd	0.11	0.13	0.15	0.15	0.16	0.1	0.12
Sn	1.5	1.53	1.65	1.52	1.52	1.56	1.69
Cs	0.21	0.15	0.17	0.08	0.05	0.15	0.23
Hf	3.47	3.49	3.5	3.41	3.54	3.47	3.36
Ta	1.38	1.36	1.38	1.41	1.39	1.37	1.38
Pb	2.05	1.89	1.88	1.91	2.04	1.97	2.19
Th	2.33	2.16	2.27	2.34	2.42	2.4	2.67
U	0.53	0.51	0.5	0.53	0.5	0.55	0.53

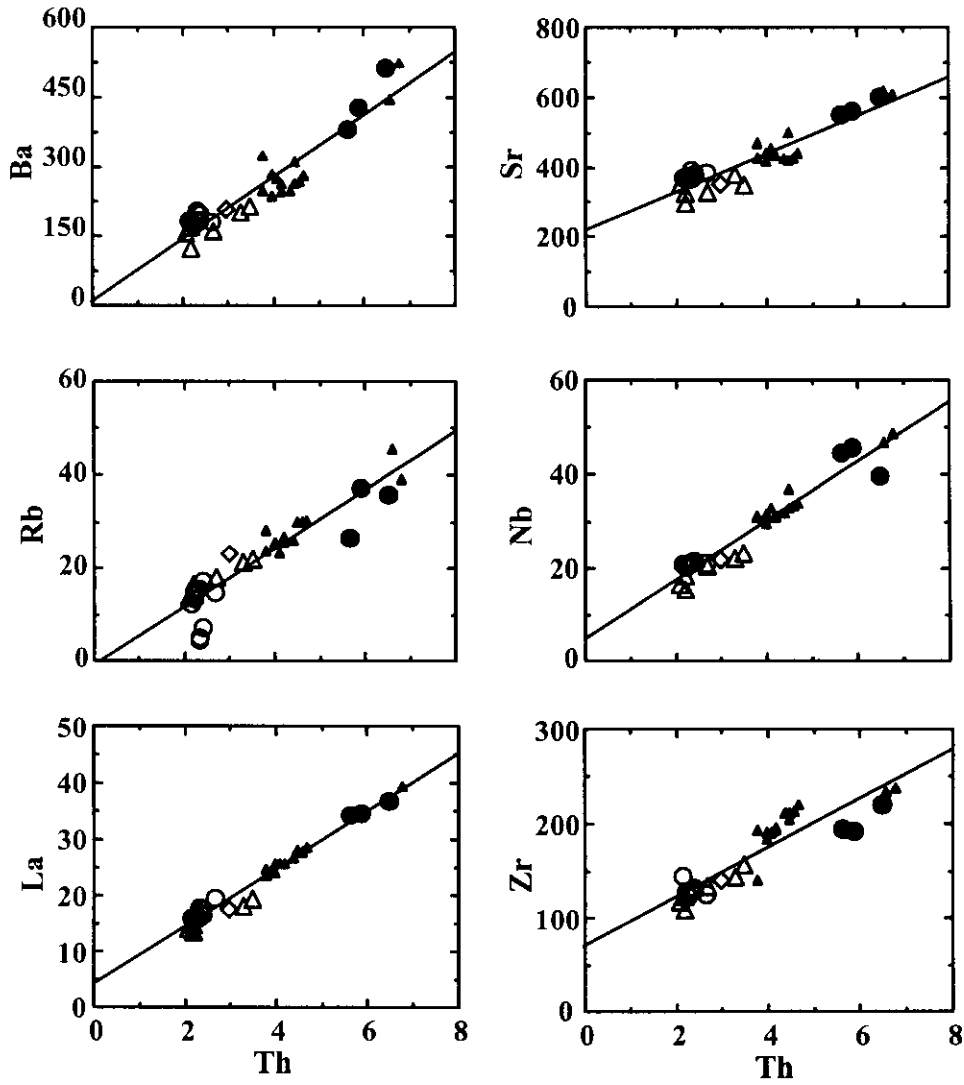


Fig. 8. Variation diagrams of incompatible elements against Th (ppm) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 6.

## 2. 호정성 미량원소

페리도타이트 맨틀-현무암 용융체의 계에서 Ni, Cr, Co, Sc, V 등은 염기성 광물에 호정성 원소이며, 페리도타이트 맨틀에서 부분용융이 발생하여 현무암 용융체가 생성될 때, 이러한 성분들은 잔류 맨틀 중에 부집된다.

MgO 성분은 조암광물 중 감람석, 단사휘석과 같은 유색광물의 정출정도에 따라 민감하게 변화하므로 MgO 변화도는 이들 광물들에 호정적인 미량원소의 변화를 잘 나타내 주며 또한, 쏘리아이트암과 알칼리암에 대한 암석 성분 변화에 따른 미량원소의 특징을 구분할 수 있다. 본 역을 포함한 성산 일출봉 주변의 제주도 동부 지역의 현무암류는 전체적으로 MgO 함량이 감소함에 따라 Ni와 Cr이 급격히 감소하는 정(+)의 상관관계를 나타내는데(Fig. 9), 이것은 감람석이나 단사휘석과 같은 광물이 초기 단계에서 정출하였음을 반영하고 있다. 동일한 MgO 함량에서의 쏘리아이트암류의 호정성 원소 함량은 불호정성 원소에서와는 달리 알칼리암류에 비하여 거의 같은 값을 가지며(원종관 외, 1998), Mg수의 변화에 따른 경향은 쏘리아이트암류는 40~43의 값을 가지는데 비하여 알칼리암류는 42~46으로 약간 높은 값을 가진다.

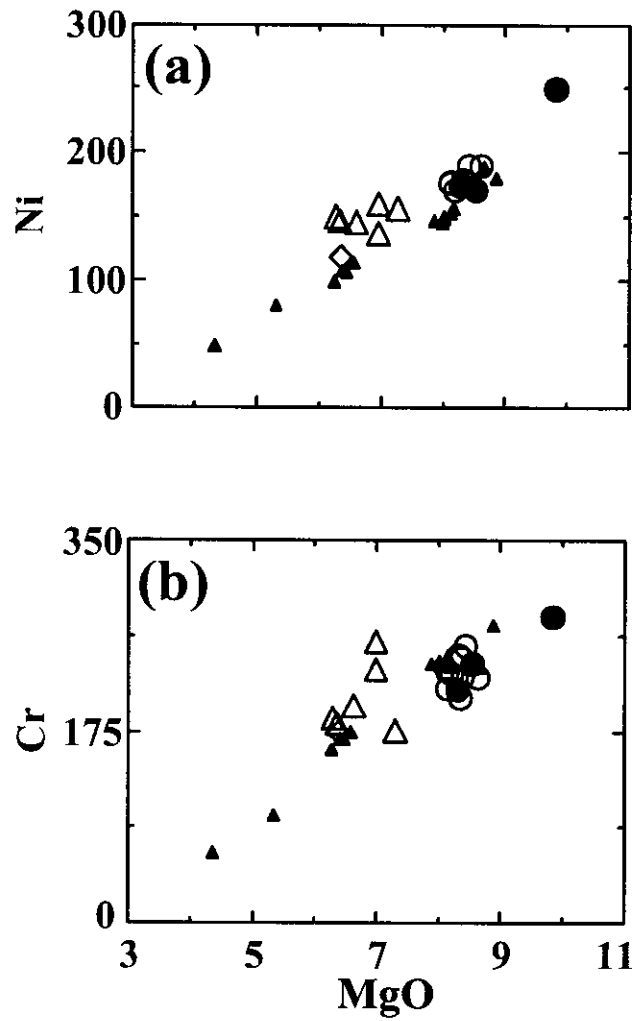


Fig. 9. Variation diagrams of compatible elements (ppm) against MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 6.

### 3. 희토류 원소

본 연구지역 현무암류의 희토류 원소 조성 분석결과는 Table 4와 같다. 콘드라이트 값(Taylor and McLennan, 1985)으로 표준화(normalization)한 희토류 원소의 함량 변화를 살펴보면, LREE가 HREE보다 더 부화된 패턴을 보인다(Fig. 10). 그리고, 쏘리아이트 현무암류와 알칼리 현무암류의 전체적인 변화 패턴은 대체로 유사하다. 즉, 대부분 시료들의 희토류 원소들이 별다른 이상값을 보이지 않고 거의 직선 형태의 모양을 갖는다. 전체적으로 Eu의 (-)이상이 현저하지 않은 것은 지표로 분출하기 이전에 마그마가 분화하는 과정에서 사장석의 분별 결정작용이나 집적작용이 심하지 않았음을 반영한다. 이러한 사실은 본 역의 용암류가 장석, 휘석 및 감람석의 반정이 거의 없는 비현정질 암석이라는 사실과도 잘 부합된다(이문원 외, 1994). 그리고, LREE는 쏘리아이트 현무암류에 비하여 알칼리 현무암류에서 그 함량이 높다. 즉, 알칼리암류가 쏘리아이트암보다 더 부화된 경향을 가지는 한편, HREE는 거의 유사한 값을 가진다. 이러한 특징은 동일기원 물질의 부분용융의 차이로 해석된다.

이 지역 미량성분 원소 조성의 특징을 원시맨틀(primordial mantle; Pearce, 1983)값으로 규정화한 거미 성분도(spider diagram)에서 고찰해 보면, Ba 및 Th와 같은 LIL 원소는 부화된 반면, 석류석에 호정적인 Y와 Yb으로 감에 따라 감소하여 감람석과 휘석류에 호정성이 있는 Cr과 Ni은 원시맨틀 성분에 비하여 조성이 매우 낮다(Fig. 11). 알칼리암과 쏘리아이트암은 그 함량의 차이는 약간 있으나, 거의 같은 변화 패턴을 보인다. 이러한 변화 패턴은 석류석-페리도타이트 맨틀이 부분용융되어 형성된 하와이섬의 알칼리암과 쏘리아이트와 유사하다(원종관 외, 1998).

Table 4. Rare earth element abundances (ppm) of the basaltic rocks in the study area.

Sample No.	729-6	729-1	729-4	B-1	B2-1a	B2-3
Rock Type	TH	AB	AB	AB	TH	TH
La	17.45	34.32	33.96	36.49	17.61	15.98
Ce	36.08	68.27	66.91	69.59	33.80	32.60
Pr	4.70	8.45	8.30	8.61	4.77	4.34
Nd	20.13	33.34	32.70	34.36	20.52	18.81
Sm	5.17	7.08	6.76	6.84	5.19	4.97
Eu	1.74	2.23	2.29	2.21	1.92	1.71
Gd	5.71	6.95	6.99	6.71	6.26	5.80
Tb	0.81	0.91	0.88	0.94	0.84	0.83
Dy	4.35	4.66	4.64	4.87	4.70	4.50
Ho	0.83	0.82	0.80	0.81	0.85	0.81
Er	2.09	2.19	2.10	2.17	2.34	2.17
Tm	0.29	0.27	0.28	0.25	0.30	0.28
Yb	1.45	1.38	1.49	1.55	1.68	1.60
Lu	0.26	0.21	0.21	0.22	0.24	0.23
$\Sigma$ REE	101.06	171.08	168.31	175.62	101.02	94.63
$\Sigma$ REE+Y	119.56	190.28	188.01	197.62	121.32	113.83
$(La/Yb)_N$	8.13	16.81	15.40	15.91	7.08	6.75



(to be continued - 2)

Sample No.	B2-4	B2-6	B2-7	B-2	B-3	729-2	729-5
Rock Type	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH
La	15.75	15.86	15.90	16.72	17.32	16.32	19.39
Ce	33.30	33.25	33.09	33.51	34.32	34.16	35.41
Pr	4.43	4.44	4.57	4.59	4.73	4.48	4.94
Nd	19.25	18.69	19.60	19.55	20.27	19.86	21.10
Sm	4.92	4.95	5.06	5.01	5.26	5.06	5.20
Eu	1.75	1.78	1.71	1.89	1.84	1.77	1.86
Gd	5.76	5.94	5.79	5.66	6.07	5.55	5.84
Tb	0.83	0.80	0.80	0.82	0.86	0.78	0.87
Dy	4.47	4.44	4.56	4.49	4.70	4.40	4.61
Ho	0.79	0.86	0.83	0.82	0.86	0.82	0.88
Er	2.14	2.12	2.12	2.10	2.16	2.11	2.26
Tm	0.26	0.26	0.28	0.27	0.28	0.27	0.29
Yb	1.64	1.57	1.74	1.52	1.65	1.54	1.79
Lu	0.24	0.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24
$\Sigma$ REE	95.53	95.18	96.28	97.18	100.55	97.36	104.68
$\Sigma$ REE+Y	114.43	113.68	115.18	116.48	100.55	116.46	125.98
(La/Yb) <sub>N</sub>	6.49	6.83	6.17	7.43	7.09	7.16	7.32

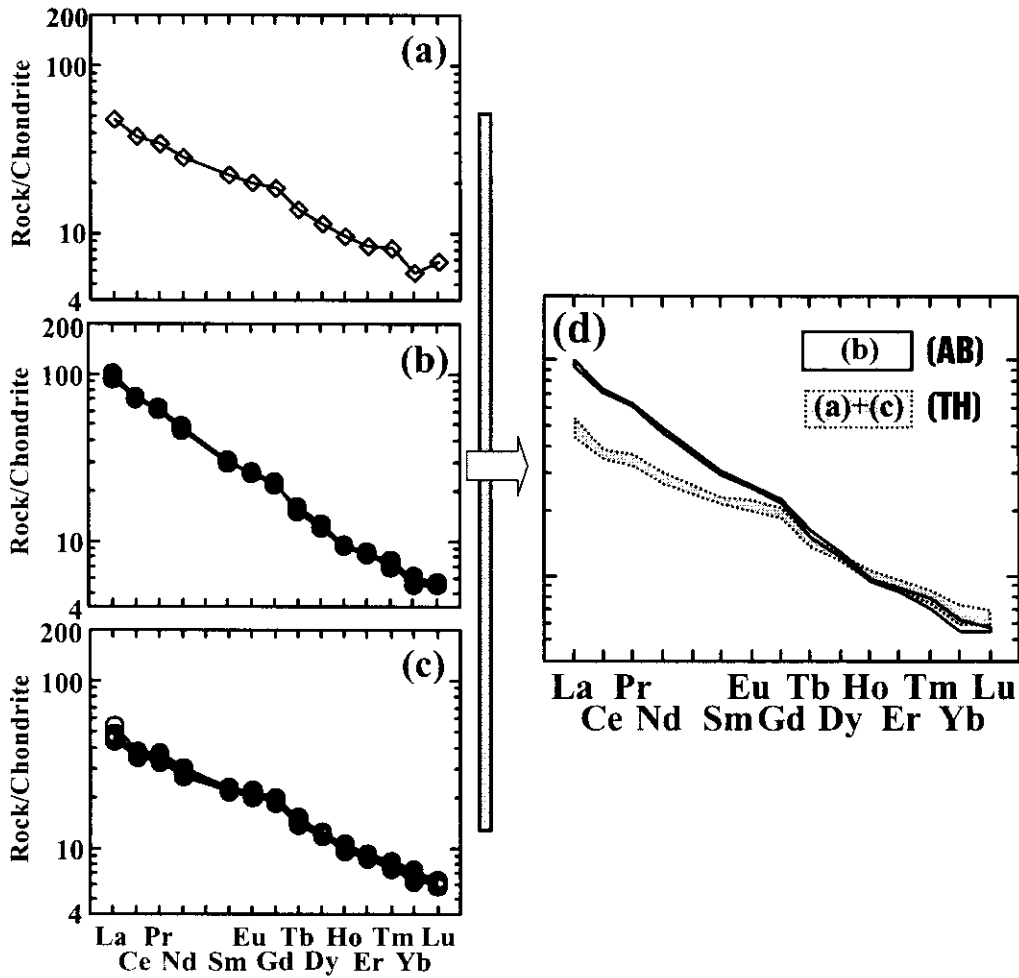


Fig. 10. Chondrite-normalized rare earth element patterns of the basaltic rocks in the study area (Taylor and McLennan, 1985). Symbols are the same as those in Fig. 4.

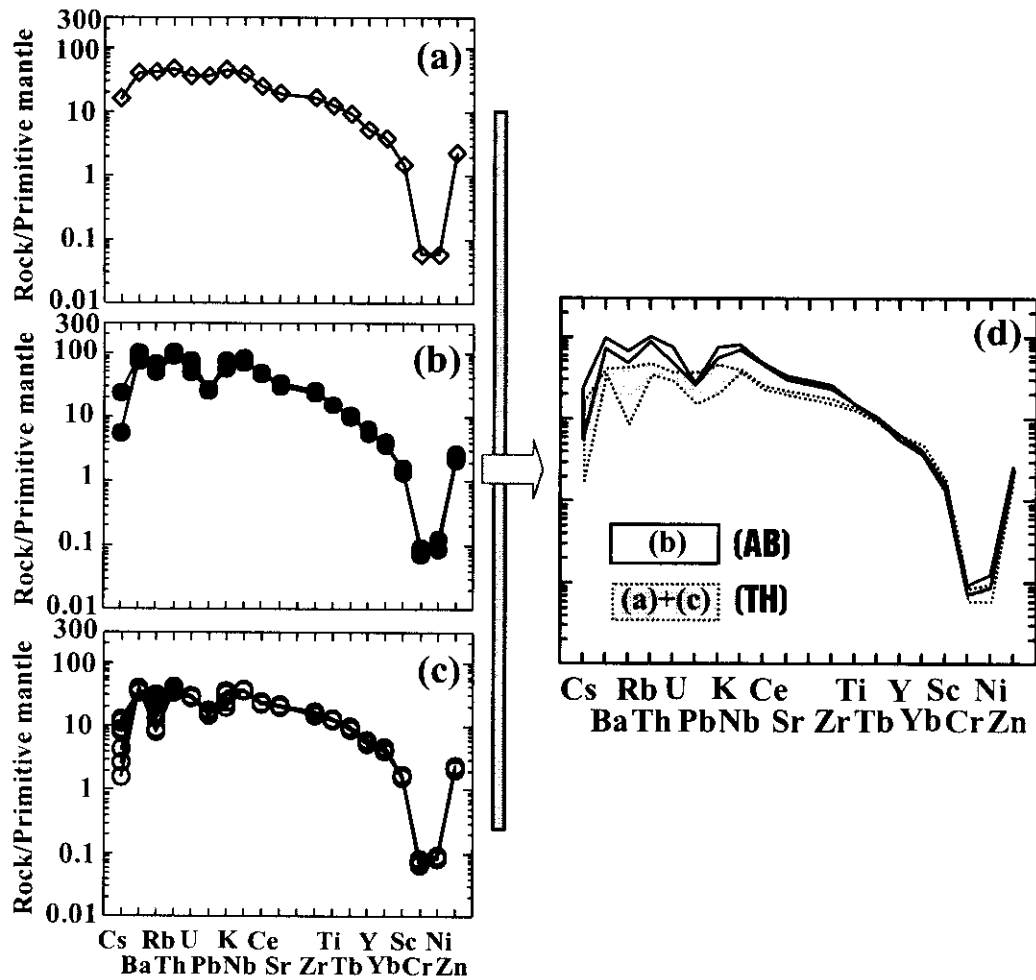


Fig. 11. Primitive mantle-normalized spider diagrams for the basaltic rocks in the study area (Pearce, 1983). Symbols are the same as those in Fig. 4.

## 조구적 위치 및 암석성인 고찰

### 1. 조구적 위치

여러 연구자들에 의해 지구조 환경의 판별을 위한 방법이 제안되어 왔다. 이 미 Lee(1982)는 제주도 알칼리 화산암류의 전암 화학성분이 하와이의 것과 유사함에 주목하여 판 내부 환경에서 열점에 의해 형성된 것으로 해석한 바 있다.

미량원소 중 Ti, Zr, Y 및 Nb는 변성작용이나 2차 변질작용 과정에서 비유동성을 보여, 지구조 환경의 분류에 이용되는데(Armstrong and Nixon, 1981), 본 역의 현무암 사료들은 Ti-Zr-Y 함량비에 의한 현무암류의 조구적 위치 판별도(Pearce and Cann, 1973)에서 D영역(지판 내부 현무암; WPB)에 도시된다(Fig. 12a).

Mullen(1983)에 의한 현무암류의 주성분 원소에 의한 조구적 위치 판별도인  $TiO_2$ -MnO- $P_2O_5$  성분도에서 살펴 보면, 본 역 현무암류 중 알칼리암류는 해양도 알칼리 현무암(OIA)의 영역에 도시되고, 쏘리아이트암류는 해양도 쏘리아이트 현무암(OIT) 영역에서 벗어난 해양도 알칼리 현무암(OIA) 영역의 경계에 도시되어 나타난다(Fig. 12b).

그리고, Hf-Th-Nb 성분비에 의한 현무암과 분화물들의 조구적 위치 판별도(Wood, 1980)에서 알칼리암류는 C영역(alkaline within plate basalt)에 도시되며, 쏘리아이트암류는 B(tholeiite within plate basalt)영역의 경계에 도시된다(Fig. 12c).

주성분 원소와 미량성분 원소의 조성 특성에 있어서 본 역 현무암류는 지판 내부의 조구적 환경에서 생성된 것임을 지시한다.

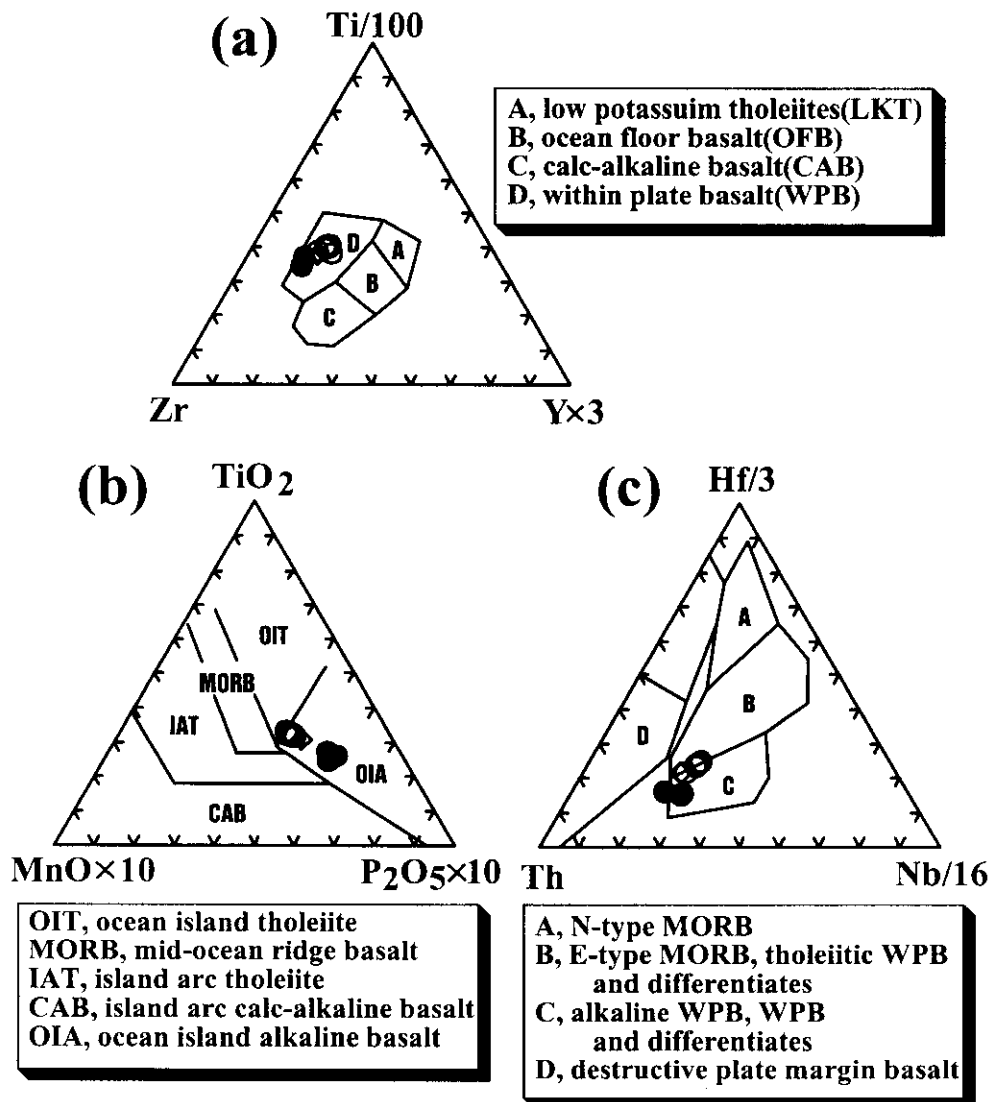


Fig. 12. Tectonic discrimination diagrams of the basaltic rocks in the study area. (a) Zr-Y-Ti diagram (Pearce and Cann, 1973), (b)  $TiO_2$ -MnO- $P_2O_5$  diagram (Mullen, E.D., 1983), and (c) Hf-Th-Nb diagram (Wood, 1980). Symbols are the same as those in Fig. 4.

## 2. 암석성인 고찰

전형적인 상부맨틀의 평형 상태에서 만들어진 초생마그마(primary magma)는 높은 Mg값(0.7이상), 높은 Ni(400~500 ppm이상) 및 Cr 함량(1000 ppm이상)과 낮은 SiO<sub>2</sub>(50 wt.%이하)의 조성을 갖는다. 본 역의 현무암류는 Mg값이 0.4 이하이고, Ni와 Cr의 함량이 각각 249 ppm, 280 ppm 이하의 낮은 함량을 가지므로 초생마그마는 아님을 나타내고, 그 성분 자체가 어느 정도 결정분화를 경험한 조성임을 지시한다.

각 현무암류의 Sr/Nd 비 값의 변화는 비교적 작으며(17.1~18.5), Ba와 Eu은 (-)이상을 보이지 않는다. 이는 시원마그마에서 장석의 분별결정작용이 현저하게 일어나지 않았음을 암시하며, 현무암질 마그마는 얕은 곳에서 심한 분별작용이 일어나지 않았다고 볼 수 있다.

La에 대한 Ba, Rb 및 Nb 비는 부분용융 정도에 대해서도 변화하지 않아 근원지의 동질성을 나타낸다. 본 연구지역의 시료를 성산 일출봉 주변의 제주도 동부 지역에 분포하는 기존의 다른 분석자료와 함께 도시해 본 결과, 알칼리암과 쏘리아이트암이 거의 일직선상의 정(+)의 상관성을 보이며, 직선상으로 그 비가 같게 나타난다(Fig. 13). 따라서 제주도 동부 일대의 쏘리아이트 현무암과 알칼리 현무암의 불호정 원소비는 이들을 형성시킨 근원물질이 동질기원임을 시사한다.

본 연구지역의 (La/Yb)<sub>N</sub> 값을 살펴보면, 쏘리아이트 현무암은 6.2~8.1으로, 알칼리 현무암이 15.4~16.8의 값을 가지는데 비하여 훨씬 낮은 값을 갖는다. 그리고 Nb에 대한 (La/Yb)<sub>N</sub> 비도 쏘리아이트 현무암은 알칼리 현무암보다 훨씬 낮은 값을 갖는다(Fig. 14a). 즉, 쏘리아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비해 LREE/HREE 비가 낮다. 이는 동일기원 물질에서 서로 다른 정도의 부분용융 정도라는 위에서 기술한 해석과 일치한다.

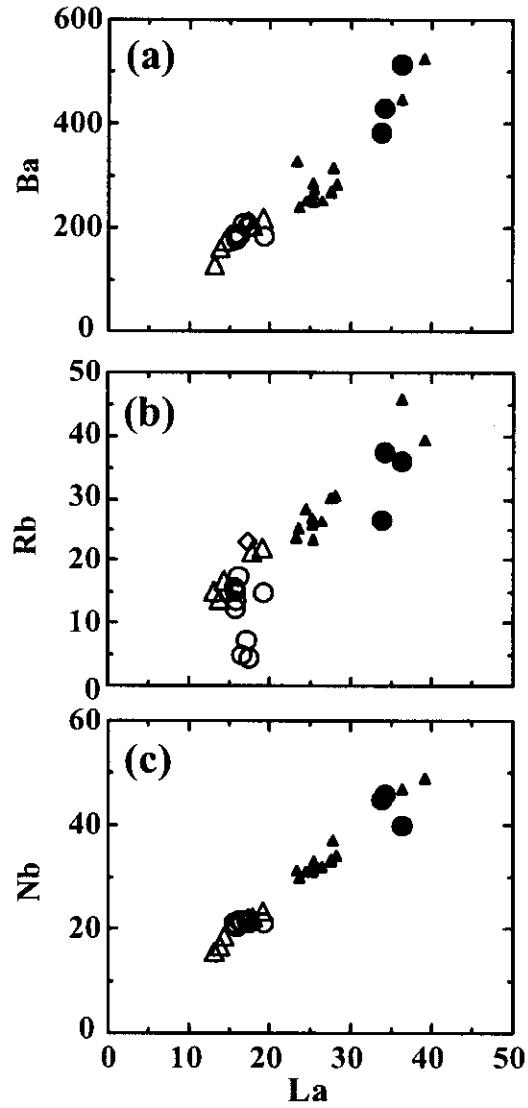


Fig. 13. Variation diagrams showing different degree of partial melting for the basaltic rocks in the study area. (a) La vs. Ba (ppm), (b) La vs. Rb (ppm), and (c) La vs. Nb (ppm). Symbols are the same as those in Fig. 6.

또한, K/Ba 비는 맨틀 근원물질의 불균질성(mantle heterogeneity)에 민감한 지시물로서, 일반적으로 OIB(~28)는 MORB(20~160)에 비하여 K/Ba 비가 낮다. 이 지역의 쏘리아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 그 함량은 낮으나, K/Ba 비는 알칼리 현무암과 거의 같다(Fig. 14b). 이러한 사실로도 본 역은 동질의 맨틀 근원물질에서 부분용융 정도의 차이로 형성되었음을 지시한다.

한편, 현무암질 마그마에서 정출되는 광물은 주로 감람석, 단사휘석, 사장석이고, P와 LIL원소 등은 불호정성 원소로 거동하므로 이들 간의 비는 맨틀 근원지의 특성 및 마그마의 동질성을 밝히는 데 유용하다(Weaver *et al.*, 1987). 본 연구지역에서 현무암류의 MgO에 대한 Y/Nb 비와 Y/Zr의 비는 근원지의 알칼리도를 반영(Winchester and Floyd, 1977)하며, 이러한 알칼리도는 근원지에서 석류석의 Y에 대한 친화성을 반영한다(Frey *et al.*, 1978). 즉, 석류석을 가지고 있는 맨틀 근원지에서 형성된 시원마그마는 부분용융의 정도가 작을수록 알칼리도가 증가한다. 본 지역의 현무암류의 MgO에 대한 Y/Nb 비와 Y/Zr의 비는 모두 쏘리아이트암이 알칼리암보다 그 값이 높게 나타나는데, 이러한 결과는 쏘리아이트암의 부분용융의 정도가 알칼리암보다 더 컸음을 지시한다(Fig. 15).

화산암류의 성인에 있어서 배취부분용융(batch partial melting)과 분별결정작용(fractional crystallization) 과정 중의 REE의 지구화학적인 거동은 La/Sm-La도에서 볼 때, 배취부분용융이 일어나는 과정은 La/Sm 값이 암석 중의 La 함량이 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 정(+)의 상관관계를 나타내며, 분별결정작용이 일어나는 과정은 La/Sm 값이 암석 중의 La 값이 변함에 따라 거의 일정한 값을 유지하는, 뚜렷한 선상의 관계를 보인다(Treuil and Joron, 1975). 본 역을 포함한 제주도 동부 일원의 화산암류에 대한 La/Sm 비 값을 도식해 본 결과(Fig. 16), 암석 중의 La 함량이 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 정(+)의 상관관계를 나타내므로, 이 지역 마그마는 기본적으로 배취부분용융작용으로 형성되었음을 보인다.



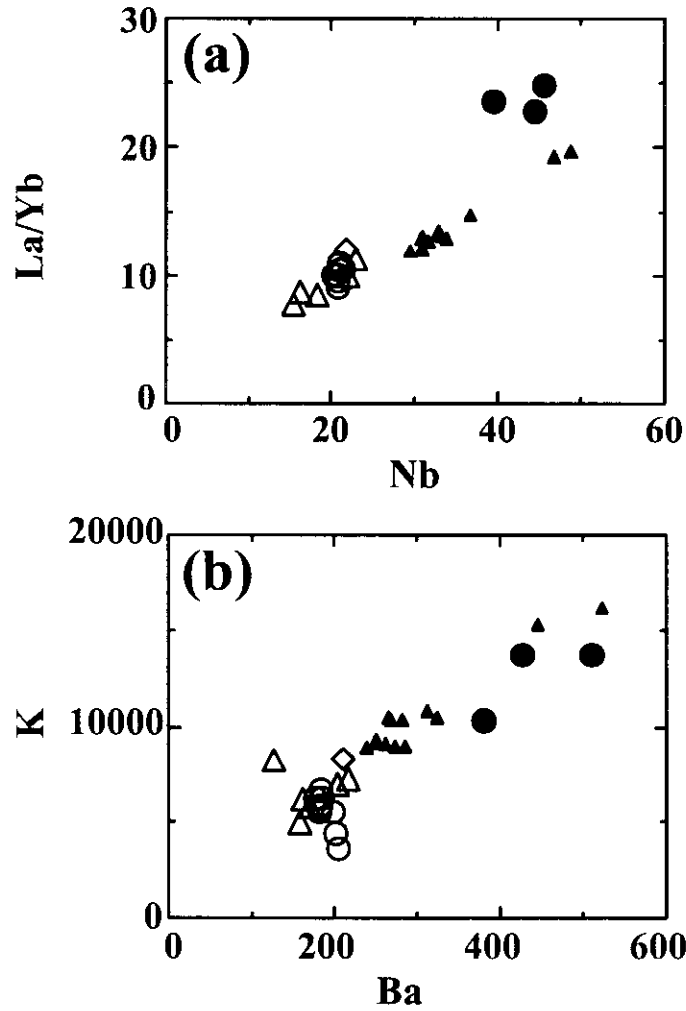


Fig. 14. (a) Nb vs.  $(La/Yb)_N$  and (b) Ba vs.  $K_2O$  (ppm) diagrams showing different degree of partial melting for the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 6

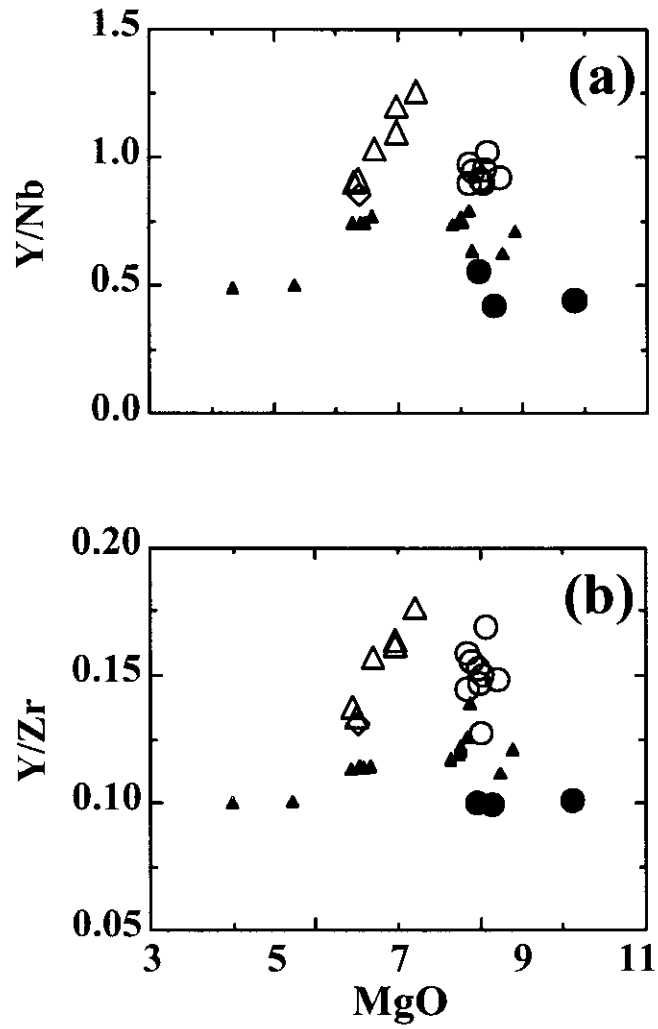


Fig. 15. MgO (wt.%) vs. (a) Y/Nb and (b) Zr/Nb diagrams for the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 6.

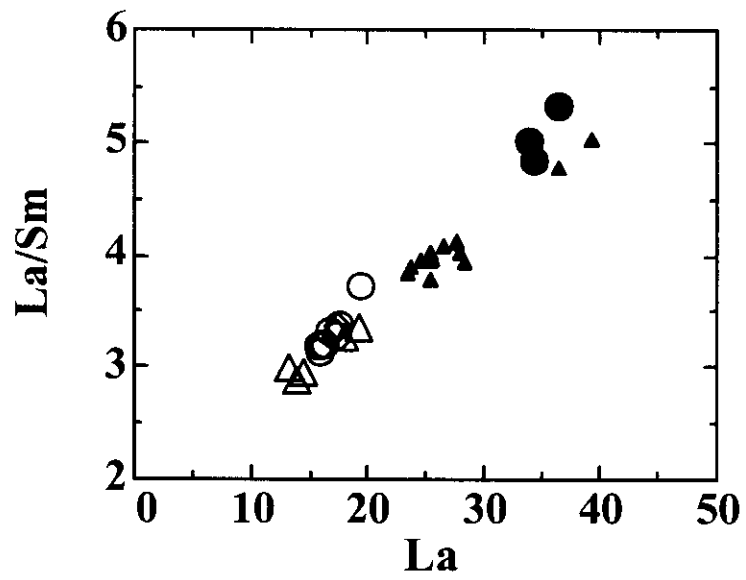


Fig. 16. La vs. La/Sm diagram for the basaltic rocks in the study area.

Symbols are the same as those in Fig. 6.

## 결 론

본 연구지역인 제주도 동부 성산 일출봉 일대 현무암류에 대한 암석기재, 암석화학적 특징 및 마그마 성인은 다음과 같이 요약된다.

1) 본 역에 분포하는 현무암류는 최하부에 표선리현무암이 놓이며, 그 위에 성산리현무암이 분포하며, 성산리현무암은 라필리스톤층 및 고토양층에 의해 하부용암류와 상부용암류로 구분된다.

2) 본 연구지역에서 산출되는 용암류는 반정광물의 종류 및 조직에 따라 크게 침상장석-감람석 현무암과 비현정질 현무암으로 구분할 수 있다.

3) 본 역의 화산암류는 TAS분류도에서 알칼리 계열 현무암과 서브알칼리 계열 현무암으로 분류되며, 서브알칼리 계열 현무암은 쏘리아이트암으로 분류된다.

4) 본 역의 현무암류는 Ti-Zr-Y 함량비에 의한 조구적 위치 판별도에서 지판 내부 현무암(WPB) 영역에 도시되므로, 본 역의 현무암류는 지판 내부의 조구적 환경에서 생성된 것임을 지시한다.

5) 본 역의 암석에 대한 암석화학적 고찰 결과는 본 역의 암석이 동질기원 마그마 물질의 부분용융 정도의 차이에 의해 생성되었음을 지시한다.

## 참 고 문 헌

- 김봉균, 1969, 제주도 신양리 및 고산리 지구의 신양리층에 대한 층서 및 고생물학적 연구. 지질학회지, 5, 2, 103-122.
- 김석연, 2001, 제주도 동부 섭지코지 일대 현무암의 암석학적 연구. 부산대학교 석사학위논문, 60p.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승렬, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱, 김유봉, 1998, 제주-애월도폭 지질조사. 제주도, 290p.
- 박준범, 1994, 제주도 화산암의 지화학적 진화. 연세대학교 박사학위논문, 305p.
- 박준범, 권성택, 1991, 제주도 화산암의 암석화학적 진화(II): 제주 동부 월라봉 부근 시추코아 연구. 대한지질학회 제 46차 정기총회 및 학술발표회(초록), 연세대학교, 지질학회지, 27, 531p.
- 박준범, 권성택, 1996, 제주도의 솔리아이트 화산활동. 암석학회지, 5, 66-83.
- 원종관, 1976, 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적인 연구. 지질학회지, 12, 207-226.
- 원종관, 길영우, 이문원, 1998, 제주도 동북사면에 분포하는 화산암류의 암석학적 연구. 한국지구과학회지, 19, 329-342.
- 원종관, 이문원, 윤성효, 고보균, 1998, 제주도 남동부 표선 지역 화산암류의 지구화학적 특징. 지질학회지, 34, 172-191.
- 원종관, 이문원, 윤성효, 이동영, 고보균, 1995, 표선도폭지질도설명서, 대한지질학회(건설교통부, 한국수자원공사). 59p.
- 원종관, 이문원, 이동영, 손영관, 1993, 성산도폭지질도설명서, 대한지질학회(건설부, 제주도, 한국수자원공사). 104p.
- 윤상규, 한대석, 이동영, 1986, 제주도 남부 지역의 제4기 지질 조사 연구. 동력자원연구소 지질보고서, KR-86-2-(B)-2, 223-278.
- 윤성효, 원종관, 이문원, 고정선, 이정숙, 1997, 제주도 동부지역의 솔레이아이트

- 용암류에 대한 암석학적 연구. 한국암석학회 발표요약문. 42p.
- 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1994, 제주도 남사면 화산암류의 화산  
층서 및 암석학적 연구. 지질학회지, 30, 521-541.
- 이동영, 윤상규, 김주용, 김윤종, 1987, 제주도 제 4기 지질조사연구. 한국동력자  
원연구소, 233-278.
- 이정숙, 1998, 제주도 동부 지역의 쏘레이아이트 용암류에 대한 암석학적 연구.  
부산대학교 석사학위논문, 82p.
- Armstrong , R. L., Nixon, G. T., 1981, Chemical and Sr isotopic composition of  
igneous rocks from DSDP LEGS 59 and 60, *in* Initial Reports of the Deep  
Sea Drill Project 59, 719-727.
- Frey, F.A., Green, D.H. and Roy, S.D., 1978, Integrated models of basalt  
petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilites from south  
eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data. *J.*  
*Petro.*, 19, 463-513.
- Hanson, G.N., 1989, An approach to trace element modeling using a simple  
igneous system as an example. *in* Lipin, B.R and McKay, G.A.(eds.)  
Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. *Rev. Min.*, 21, 79-97.
- 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.
- Kuno, H., 1966, Lateral variation of basalt magma across continental margins and  
island arcs. *Bull. Volcano.*, 29, 195-222.
- 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, J.S., 1989, Petrology and tectonic setting of Cretaceous to Cenozoic volcanics of South Korea; geodynamics implications on the East-Eurasian Margin. Thesis of Doctor Degree, Universite D'ORLEANS.
- 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.
- Miyashiro, A, 1978, Nature of alkalic volcanic rock series. Contrib. Mineral. Petrol., 66, 91-104.
- Mullen, E.D., 1983, MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. Earth Planet. Sci. Lett., 62, 53-62.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Sci. Lett., 19, 290-300.
- Pearce, J.A., 1983, Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. in Hawkeswoth, C.J. and Norry, M.J.(eds.) Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva Publishing Limited, 230-249.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312pp.
- Thompson, R.N., 1984, Dispatches from the basalt front. 1. Experiments, Proc. Geol. Ass., 95, 249-262.
- Treuil, M. and Joron, J. M., 1975, Utilisation des elements hygro-magmatophiles pour la simplification de la modelisation quantitative des processus

- magmatiques. *Societa' Italiana di mineralogia et petrologia*, 31, 125.
- Weaver, B.L., Wood, D.A., Tarney, J. and Joron, J.L., 1987, Geochemistry of ocean island basalts from the south Atlantic: Ascension, Bouvet, St. Helena, Gough and Tristan da Cunha. *in* Fitton J.G. and Upton B.G.J. (eds.), *Alkaline igneous rocks*, Geol. Soc. Special Publ., 30, 253-267.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20, 325-343.
- Wood, D.A., 1980, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, 11-30.
- Zhi, X., Song, Y., Frey, F.A., Reng, J. and Zhai, M., 1990, Geochemistry of Hannuoba basalts, eastern China; Constraints on the origin of continental alkali and tholeiitic basalt. *Chem. Geol.*, 88, 1-33.



## Explanation of plates

Plate 1. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, B2-7), showing the skeletal texture of olivine phenocryst (crossed polars).

Plate 2. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, B-2), showing the skeletal texture of olivine phenocrysts (plane-polarized light).

Plate 3. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, B2-6), showing the glomeroporphyritic texture of subhedral clinopyroxene phenocrysts (crossed polars).

Plate 4. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, B-3), showing the iddingsite of olivine phenocryst (plane-polarized light).

Plate 5. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, 729-6), showing the intergranular texture (plane-polarized light).

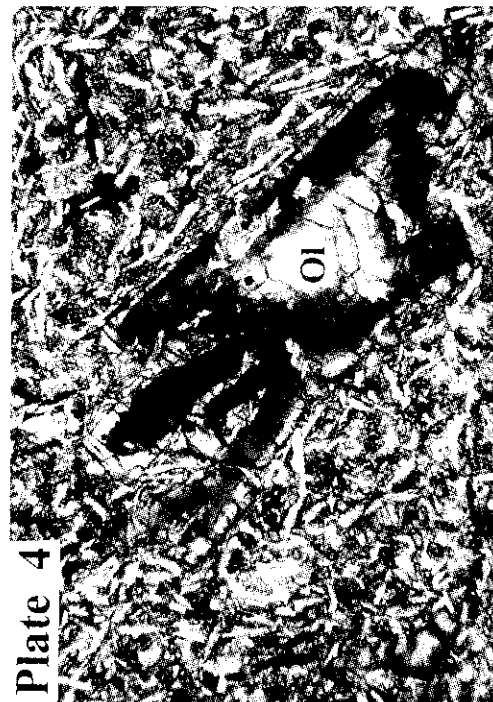
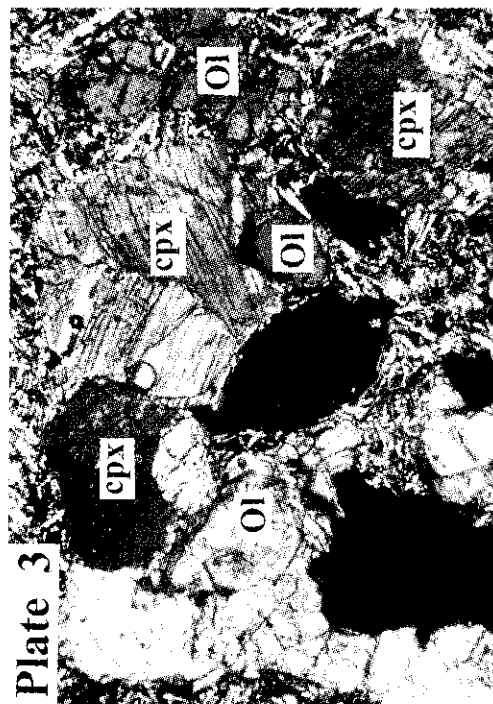
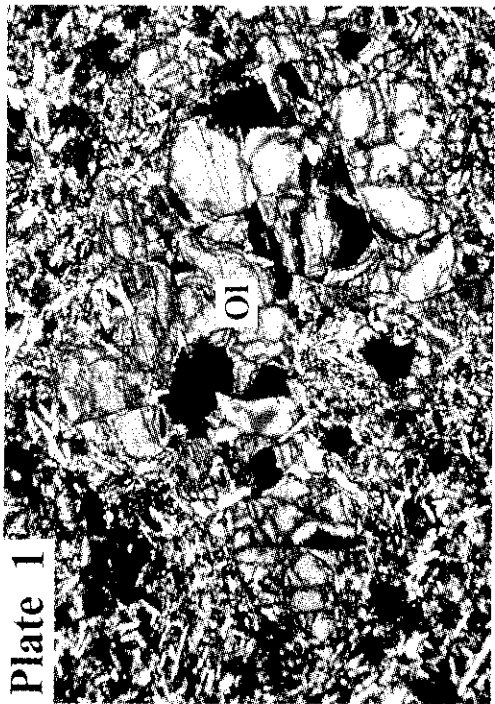
Plate 6. Photomicrograph of alkali basalt(sample, 729-1), showing the glassy groundmass resulted from rapid cooling (plane-polarized light).

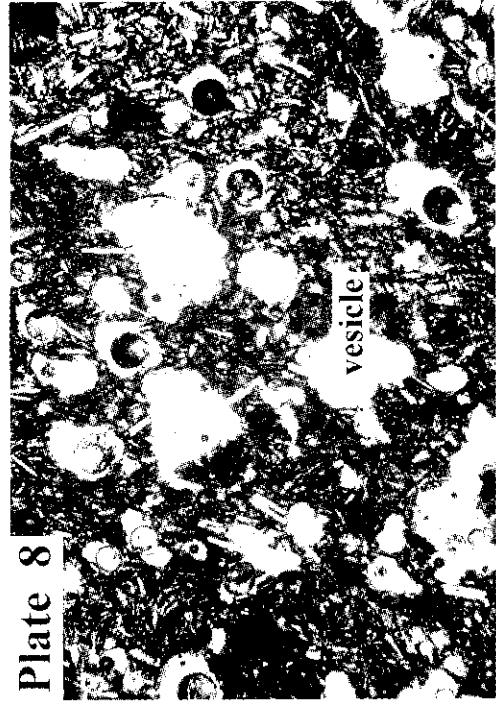
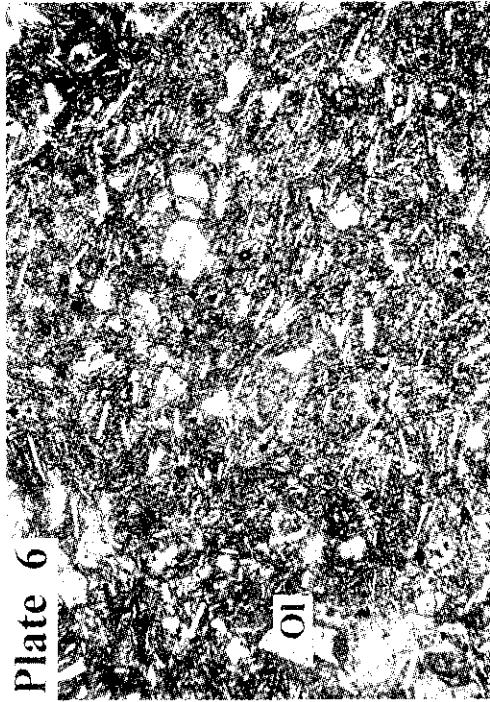
Plate 7. Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, B-2), showing the intergranular texture (plane-polarized light).

Plate 8. Photomicrograph of alkali basalt(sample, 729-4), showing the glassy groundmass with small vesicle (plane-polarized light).

Abbreviation: Ol=olivine, Cpx=clinopyroxene, and Pl=plagioclase.

(Width of photo is about 2mm)





# **Petrology of the Basalts in the Seongsan-Ilchulbong area of the eastern Jeju Island**

**Eun Ju Jeong**

Department of Earth Science, Graduate School  
Pusan National University

## **Abstract**

This study reports petrography and geochemical characteristics of the lava flows in Seongsan-Ilchulbong area, the eastern part of Jeju island. The lavas of the study area are classified into the Pyoseon-ri basalt and the Seongsan-ri basalt. The Pyoseon-ri basalt is dark-gray colored feldspar-olivine basalt with many vesicles, and consists mainly of olivine, feldspar and rarely of clinopyroxene as phenocrysts. The Seongsan-ri basalt is largely bright-gray colored aphanitic basalt and divided into two lava-flow unit, that is, lower lava flow(B1) and upper lava flow(B2) by the intercalated yellowish lapillistone and paleosol. On the TAS diagram, the lavas plotted into sub-alkali rock series and alkali-rock series. And sub-alkali rock series basalts belong to tholeiitic basalts in the diagram of alkali index against to  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents. Tholeiitic lavas have characteristically higher  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}^{\text{T}}$  and  $\text{CaO}$  contents, but lower  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  and other incompatible elements contents compared with alkali basalts. Also tholeiitic lavas have higher  $\text{SiO}_2$

to same MgO contents than alkalic lavas. The contents of Ni and Cr to those of MgO show a strong positive correlation of the lavas. Incompatible elements contents against Th content show a strong positive correlation. Chondrite-normalized REE patterns of tholeiitic rocks are subparallel to those of the alkalic rocks. And LREEs contents of tholeiitic rocks are lower than those of alkalic rocks, but HREEs contents are similar to those of alkalic rocks. Both tholeiitic and alkalic rocks are similar in their K/Ba ratios. In the primitive-mantle normalized spider diagram, the contents of Ba and Th of all basaltic magma are enriched, but those of Ni and Cr are depleted. The alkalic and tholeiitic basalts might be originated from the different degree of partial melting of the same mantle material source, and the degree of partial melting in tholeiitic basalts is higher than that of alkalic rocks.

## 감사의 글

한 편의 논문을 쓰기 위해서는 얼마나 많은 땀이, 도움이 필요한지를 깨닫게 되는 소중한 경험이었습니다. 열심히 잘 하자고 다짐한 출발이었으나 논문을 끝맺은 지금, 더 노력했어야 했는데, 더 잘할 걸 하는 자책이 가슴을 채웁니다.

저의 모자람에도 불구하고 이런 영광이 있을 수 있었던 것은 많은 분들의 고마움이 있었기에 가능했던 것이 아닌가 생각합니다.

먼저, 언제나 따뜻하고 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 윤성호 교수님께 고개 숙여 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 애정 어린 마음으로 수정과 보완을 해 주심으로써 더 좋은 논문이 될 수 있도록 도움을 주신 이준동 교수님과 이상원 교수님께 정말 감사드립니다. 또한 학부 때부터 많은 가르침을 주시고, 이 논문을 쓰는 데 있어 여러 모로 도움을 주신 지구과학교육과의 황수진 교수님, 김상달 교수님, 최광선 교수님, 안홍배 교수님, 그리고 강해성 교수님께도 감사드립니다.

지금 이 글을 쓰고 있자니 여러 고마우신 분들의 얼굴이 스쳐 지나갑니다. 논문 쓰는 줄곧 지켜보며 도움을 아끼지 않았던 고정선 박사님, 못난 선배 덕에 어려움을 옆에서 같이 해결해 주며 고생했던 이정현 후배님, 힘들어할 때 찾아와 용기와 격려를 주었던 박정미 선생님, 야와 조사 동안 함께 고생해 주셨던 김석연 선생님, 항상 웃음으로 맞아주었던 김향수 후배님, 그리고 박기호·이영애 선생님, 김영라 선생님, 전중욱 선생님을 비롯한 연구실의 모든 분들에게도 감사를 표합니다. 같이 논문을 쓰면서 서로 독려받았던 서석근 선생님과도 같이 기쁨을 나누고 싶습니다. 그리고 저에게 격려를 아끼지 않았던 오원창 교장 선생님, 방준수 교감 선생님을 비롯한 경남여중의 여러 선생님들께도 감사드립니다.

마지막으로 밤늦도록 애들 봐주신다고 애쓰신 친정아버지, 어머니, 멀리서나마 며느리의 학업을 위해 마음 써 주신 시부모님께 감사의 마음을 전합니다. 그리고 매일같이 엄마 얼굴 못 보는 걸 투정하면서도 그 동안 잘 견뎌주었던 사랑스런 나의 딸 연희와 연수에게, 특히 묵묵히 엄마의 빈자리를 잘 메워주었던 나의 영원한 동반자에게 너무 고맙고 사랑한다고 전하고 싶습니다.

하나의 열매를 맺기 위해서는 겪어야 했던 힘겨움과, 특히 주위의 도움과 고마움들을 살아가면서 마음 속 깊이 잊지 않을 것이며, 오늘 이 열매의 달콤함을 모두와 함께 하고 싶습니다. 감사합니다.