

제주도 남동부 태흥리 용암에 대한 암석학적 연구

윤성효* · 고정선 · 박정미

부산대학교 지구과학과

Petrology of the Taehung-ri Lava in Southeastern Jeju Island

Yun Sung Hyo*, Jeong Seon Koh and Jeong Mee Park

Department of Earth Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

요약: 제주도 남동부 태흥리 용암류에 대한 암석학적, 지구화학적 특징에 대해 고찰하였다. 본 역의 용암류는 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암으로 구분된다. 하층부에는 4매 이상의 쏘리아이트 현무암이 나타나고, 그 위를 2매의 알칼리 현무암이 덮고 있다. 쏘리아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비해, 동일한 MgO 조성에서 K_2O , P_2O_5 , Ba와 Ta은 낮은 값을 가지고, SiO_2 와 CaO는 높은 값을 가진다. 미량원소의 조성 특징을 원시맨틀 값으로 규정화한 거미 성분도에서 모든 현무암질 마그마의 Ba와 Rb은 원시맨틀에 비하여 부화되어 있고, Ni와 Cr은 결핍되어 있다. 희토류 원소를 콘드라이트 값으로 표준화했을 때 LREE가 HREE에 비해 더 부화된 패턴을 가진다. 변화 패턴은 나란한 변화를 보이며, 알칼리 현무암이 쏘리아이트 현무암보다 더 부화된 경향을 보인다. 조구적 위치 판별도에서 본 역의 용암류는 지판 내부 현무암 영역에 도시된다. 쏘리아이트 현무암의 Zr/Nb, Y/Nb, Al_2O_3/P_2O_5 비는 알칼리 현무암에 비해 크며, K/Ba비는 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암간에 거의 차이가 없이 일정한 값을 나타낸다. 본 연구지역의 화산암류에 대한 일련의 지화학적 특징은 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암의 모마그마가 동질의 맨틀 근원암으로부터 부분용융 정도의 차이에 의해 생성되었음을 지지하며, 쏘리아이트 현무암이 알칼리 현무암보다 더 큰 정도의 부분용융으로 형성되었음을 의미한다.

핵심어: 태흥리 용암, 쏘리아이트 현무암, 알칼리 현무암, 부분용융의 차이, 지판 내부 현무암

Abstract: This study has been designed to elucidate the petrography and geochemical characteristics of the Taehung-ri lava in southeastern Jeju Island. The lava is divided into the alkaline basalt and tholeiitic basalt. More than 4 layers of tholeiitic basalt are overlain by layers of alkaline basalt. Compared with alkaline basalt, tholeiitic basalt has lower contents of K_2O , P_2O_5 , Ba and Ta, but slight higher contents of SiO_2 and CaO. The contents of Ba and Rb of all basalts are enriched, but those of Ni and Cr are depleted compared with primitive mantle compositions. All basalts show inclined chondrite-normalized REE patterns with LREE enriched more than HREE and alkaline basalt has relatively higher. The basalts of this study area are plotted in the field of within plate basalt on the tectonomagmatic discrimination diagram. Tholeiitic basalt has higher ratios of Zr/Nb, Y/Nb, and Al_2O_3/P_2O_5 than alkaline basalt. Both tholeiitic and alkaline basalt are similar in their K/Ba ratios. The geochemical data suggest that the parental magma of both basalts might be produced by different degrees of partial melting of similar source mantle. The tholeiitic basalt formed by higher degree of partial melting than the alkaline basalt.

Key words: Taehung-ri Lava, tholeiitic basalt, alkaline basalt, degree of partial melting, within plate basalt

서론

제주도는 북동동-남서서 방향의 장축(74 km)과 북북서-남남동 방향의 단축(32 km)을 갖는 타원형의 순상 화산체로, 화산암의 분포 면적은 약 1,825 km²이다. 지

금까지의 연구(원종관, 1976; Lee, 1982; 박준범과 권성택, 1991, 1993; 원종관 외, 1993, 1995, 1998; 박준범 외, 1999)에 의하면, 제주도를 구성하고 있는 화산암은 주로 현무암질 용암류로 구성되어 있고, 암석학적으로 알칼리 현무암에서 조면암류까지 다양한 알

*Corresponding author: Tel. 82-51-510-3457, E-mail. yunsh@pusan.ac.kr

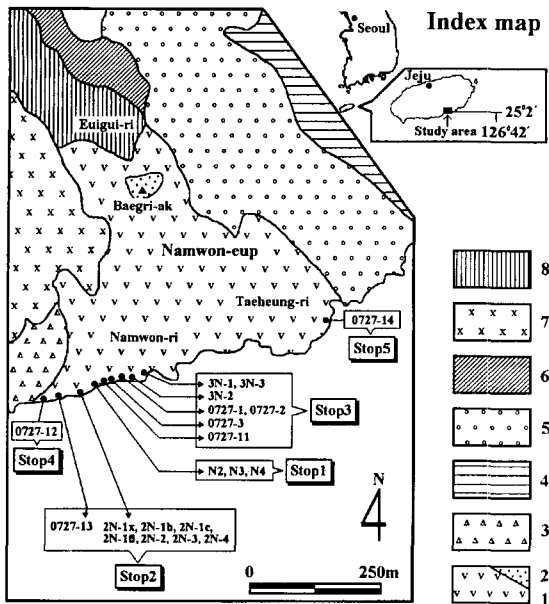


Fig. 1. Geological map of the study area (Won et al., 1995). [1, Taeheung-ri lava; 2, Baegri-ak cinder cone deposits; 3, Secheon-dong lava; 4, Yeojeol-ak lava; 5, Suyoung-san lava; 6, Min-ak lava; 7, Saryeoni debris avalanche; 8, Seongneol-oreum lava]

칼리암 계열의 용암류가 대부분이며, 최근 연구에서는 알칼리암류 이외에도 솔리아이트 현무암류도 분포하고 있음이 보고되었다(Lee, 1989; 박준범과 권성택, 1996; 원종관 외, 1993, 1995; 윤성효 외, 1997; Yun et al., 1997; 박준범 외, 1999).

제주도 남동부 지역의 태흥리 용암(원종관 외, 1995)이 지질도에 기재된 후 현재까지 층서 구분 이외의 암석학적 연구가 수행되어 있지 않다. 그러므로, 본 연구의 목적은 태흥리 용암을 주 대상으로 제주도 남부 남원읍 일대의 화산 층서를 확립하는 데 있으며, 각 용암류의 조성분, 미량성분 및 희토류 원소의 함량 조성 등의 특성을 파악하고자 한다.

본 연구에서는 태흥리 용암의 각 용암층에서 대표적인 시료 34개를 채취하였으며, 채취한 시료의 위치는 Fig. 1에 나타내었다. 그리고, 용암류의 조성분, 미량성분 및 희토류 원소의 함량은 한국기초과학연구원원 서울분소에서 XRF 및 ICP-MS, ICP-AES로 분석하였다.

화산층서

태흥리 용암의 노두를 잘 관찰할 수 있는 남원읍 큰영해안 절벽에서, 서로 접해 있는 두 화산분출물의 상

하관계는 용암류의 암질 차이, 접촉 관계, 계단상 지형의 추적, 특히 두 용암 단위 사이에서 관찰되는 고토양, 클링커 등을 종합하여 판정하였으며, 이를 추적하여 분포상태를 확인하였다.

해안 절벽지역을 5개의 지역(Stop 1, 2, 3, 4 및 5)으로 나누어 용암류의 상호 관계를 연구하였다(Fig. 2). 용암류는 조직과 반정광물의 종류에 따라 크게 침상장석감람석 현무암(FOB: acicular feldspar olivine basalt)와 비현정질 현무암(APB: aphanitic basalt)로 구분된다. Stop 4에서 다공질의 침상장석감람석 현무암 위를 회색의 치밀한 비현정질 현무암(용암류 V)이 덮고 있다. 여기서 동쪽으로 가면(Stop 2) 비현정질 현무암(용암류 V)은 없어지고 침상장석감람석 현무암(용암류 IV)은 수메의 얇은 층으로 분지되어 나타난다(Fig. 2a). 남원읍 큰영 체육공원 해안 절벽(Stop 1)에서는 전체적으로 5매 이상의 침상장석감람석 현무암(용암류 II, III_a, III_b, IV_a, IV_b)를 식별할 수 있다(Fig. 2b). 그리고, 여기서 동쪽으로 더 나아가 영화 박물관 남측 해안(Stop 3)에서 총 5매의 용암류(I, II, III(III_a와 III_b), IV(IV_a, IV_b) 및 V)가 식별되는데, 이는 Stop 1과 2에서 관찰된 것이 연장되어 나타난다(Fig. 2c). 각 용암류의 사이에는 클링커가 발달하며 특히, 용암류 I과 II 사이와, III과 IV 사이(두께 약 13 cm)에는 고토양이 협재된다. 해안을 따라 동쪽으로 감에 따라(Stop 3-1), 침상장석감람석 현무암을 피복하는 비현정질 현무암(용암류 V_b)은 용암류 V_a의 용암터널 내부를 동진하는 얇은 용암류로서 더 동쪽으로 가면, 용암류 V와 동일층군 또는 그 상위로 판단되는 얇은 용암류(VI)가 존재하는데, 두께는 얇은 것 15 cm부터 두꺼운 것 150 cm까지 총 13매의 얇은 용암류가 나타난다(Fig. 2d).

남원읍 큰영 해안일대의 용암류는 크게 4매 이상의 침상장석감람석 현무암 위를 2매의 비현정질 현무암이 덮고 있다.

암석기재

침상장석감람석 현무암

본 연구지역의 용암류의 모드분석 결과는 Table 1과 같다. 침상장석감람석 현무암은 약간 어두운 회색을 띠며 전체적으로 다공질이며 기공의 크기가 구상 또는 길게 늘어진 것이 특징이다. 반정(0.7 mm 이상)으로 사장석과 감람석이 소량 나타난다. 미반정(0.1~0.7 mm)으로 사장석이 24.3~41.2% 함유되어 있으며, 감람석은 6.9~13.3%로 관찰된다. 감람석의 반정, 미반정은 대부분 반자형 또는 타원형으로 관찰되며, 골격 구조(skeletal

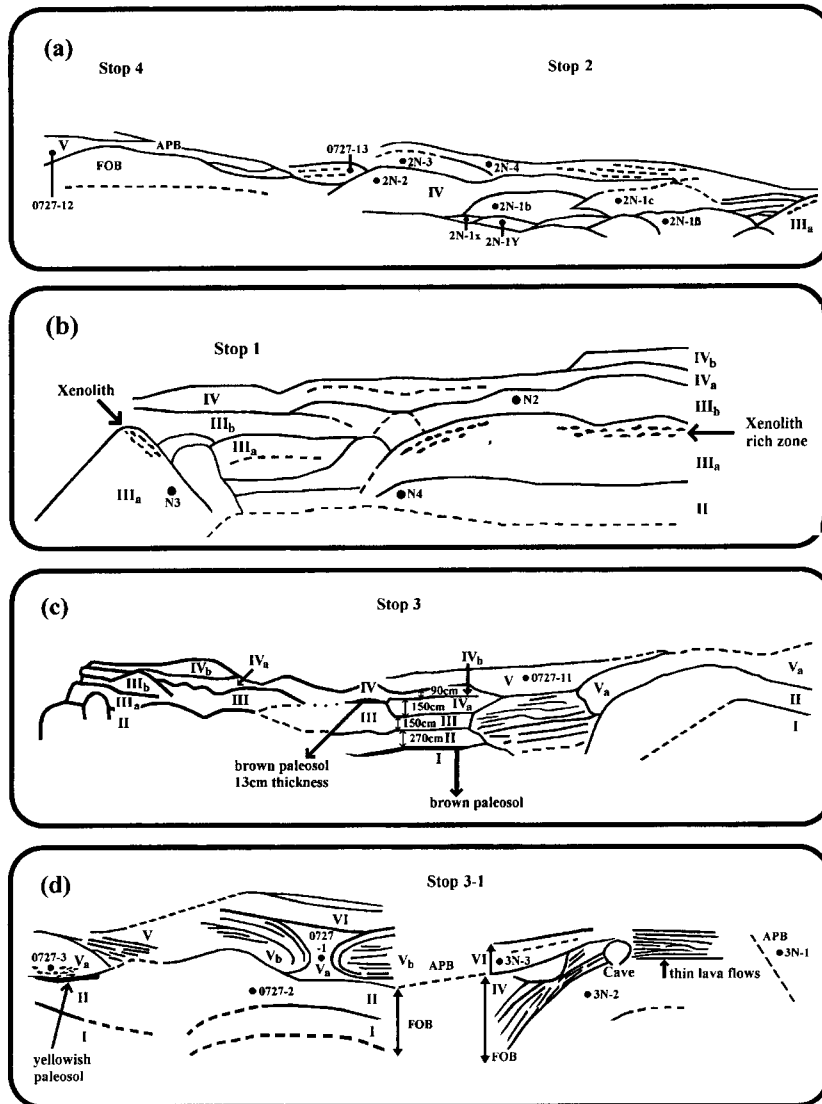


Fig. 2. Sketch section of lava flows (dot and number show sample locality), (a) Stop 4 and Stop 2, (b) Stop 1, (c) Stop 3, and (d) Stop 3-1.

texture)를 나타낸다(Fig. 3a). 신선한 경우도 있지만 부분적인 균열과 결정 주변부를 따라 미약하게 이딩사이트(iddingsite)화된 감람석도 관찰된다. 현미경 하에서는 조립의 침상 사장석 사이를 감람석과 소량의 불투명 광물이 충전하고 있는 입간(intergranular) 조적을 보인다(Fig. 3b).

Stop 1의 침상장석감람석 현무암 용암단위 III_a의 상단부에는 모양과 크기가 다양한 회백색의 지각물질 포획체(xenolith)가 다량 함유되어 나타나는 데, 크기는

15 cm×10 cm, 14 cm×6 cm, 10 cm×8 cm 등이며, 포획체의 종류로는 반상변정편마암(5 cm×7 cm), 규암(2 cm×5 cm), 화강편마암(11 cm×15 cm), 회장암 및 반려암으로 구성된다.

비현정질 현무암

비현정질 현무암은 육안 관찰에서 전체적으로 밝은 회색을 띠며 치밀하다. 현미경 하에서 감람석 반정은 1% 미만으로 침상장석감람석 현무암보다는 적은 함량

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

Sample	Lava unit	Rock Type		ol		cpx		pl		gm	Texture
				ph	mph	ph	mph	ph	mph		
N4	II	FOB	TH	2.4	10.9	-	-	1.2	36.5	48.9	Intg
0727-2	II	FOB	TH	4.7	9.0	-	-	0.2	38.5	47.5	Intg
N3	IIIa	FOB	TH	2.6	9.7	-	-	0.9	32.1	54.5	Intg
N2	IIIb	FOB	TH	5.1	6.9	-	-	0.0	24.3	63.6	Intg
2N-1x	IV	FOB	TH	2.3	7.8	-	-	0.8	29.4	59.6	Intg
2N-1b	IV	FOB	TH	3.8	13.3	-	-	0.6	41.2	41.0	Intg
2N-1c	IV	FOB	TH	6.0	11.7	-	-	0.1	41.2	40.9	Intg
2N-2	IV	FOB	TH	5.6	10.7	-	-	0.7	36.5	46.3	Intg
2N-3	IV	FOB	TH	4.2	10.0	-	-	0.2	31.0	54.5	Intg
2N-4	IV	FOB	TH	4.4	9.0	-	-	0.1	28.3	58.2	Intg
3N-2	IV	FOB	TH	4.9	11.0	-	-	0.3	30.2	53.5	Intg
0727-13	IV	FOB	TH	4.2	7.8	-	-	0.2	31.7	56.0	Intg
0727-12	V	APB	AB	-	0.7	0.1	0.1	1.2	1.3	96.4	Hyalo
0727-1	Va	APB	AB	1.0	2.9	0.1	0.2	1.3	5.5	88.8	Ints
0727-7	Va	APB	AB	0.8	7.5	0.6	0.8	-	6.3	83.6	Ints
0727-9B	V	APB	AB	0.9	7.2	1.1	0.9	-	2.1	87.7	Ints
3N-1	VI	APB	AB	0.7	9.9	0.3	0.6	1.3	3.8	83.3	Ints
3N-3	VI	APB	AB	0.7	7.4	1.5	1.1	0.1	4.5	84.7	Pilo

Modes based on 2000 counts per one sample.

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

ol, olivine; cpx, clinopyroxene; pl, plagioclase; FOB, acicular feldspar olivine basalt; APB, aphanitic basalt; TH, tholeiitic basalt; AB, alkali basalt; Intg, intergranular; Hyalo, hyalopilitic; Ints, intersertal; Pilo, pilotaxitic.

을 가지며, 사장석 반영은 1.3% 미만 정도 나타난다. 특징적으로 침상장석감람석 현무암에서 반영이나 미만 정도로 관찰되지 않는 단사휘석이 소량(1.1% 미만) 관찰된다. 감람석의 결정은 대부분 갈색의 반자형에서 타형으로 열극을 따라 이딩사이트로 변질된 것이 나타나며, 사장석과 단사휘석의 결정의 외곽부에 멜트와의 반응에 의한 것으로 보이는 체(sieve) 조직이 나타나기도 한다. 석기는 주로 목편(lath)상의 사장석으로 구성되어 있으며 0.1 mm 이하의 감람석과 휘석, 그리고 불투명 광물로 구성되어 있다. 석기를 이루고 있는 목편상의 사장석은 인터서탈(intersertal) 조직을 보인다(Fig. 3c). 시료 0727-12에서 하이알로필리틱(hyalopilitic) 조직도 관찰된다(Fig. 3d).

또한, 알칼리 현무암 내에서 맨틀 포획체(mantle xenolith)가 발견된다. 용암단위 V와 V_a의 하단부에 나타나는 맨틀 포획체로는 감람석 개브로노라이트(olivine gabbroonorite), 우백질 감람석 개브로노라이트(leucolivine gabbroonorite), 단사휘석암(clinopyroxenite), 웰라이트(wehrlite), 레졸라이트(lherzolite)의 포획체가 나타나고 드물게 화강암 포획체를 함유하기도 한다(Fig. 2d).

주성분원소

이 지역 용암류의 주성분원소 조성은 Table 2와 같으며, 용암류는 TAS분류도(Le Bas *et al.*, 1986)에서 알칼리 계열인 현무암과 서브알칼리 계열인 현무암으로 구분된다(Fig. 4a). 용암류 내의 Al₂O₃에 대한 알칼리 지수에 의한 서브알칼리 현무암의 구분도(Middlemost, 1975)에서 본 역의 서브알칼리 현무암은 쏘리아이트 현무암(TH)의 영역에 도시된다(Fig. 4b). 그러므로, 태흥리 용암의 침상장석감람석 현무암은 쏘리아이트 현무암에, 반면 비현정질 현무암은 알칼리 현무암으로 구분된다.

쏘리아이트 현무암은 SiO₂ 성분이 49.1~51.4 wt.%의 범위를 나타내며 암석 조성의 분화 경향을 알아보기 위하여 분화지수로서 MgO 성분을 이용하여 주성분 원소의 변화 특징을 살펴본 결과(Fig. 5), 쏘리아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 동일한 MgO에서 SiO₂, CaO는 높은 값을 가지고, TiO₂, FeO^T, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅는 낮은 값을 가진다. 또한 MgO가 7.5~8.5 wt.%에 밀집 도시되므로 특징적인 증감의 경향은 뚜렷하지 않다.

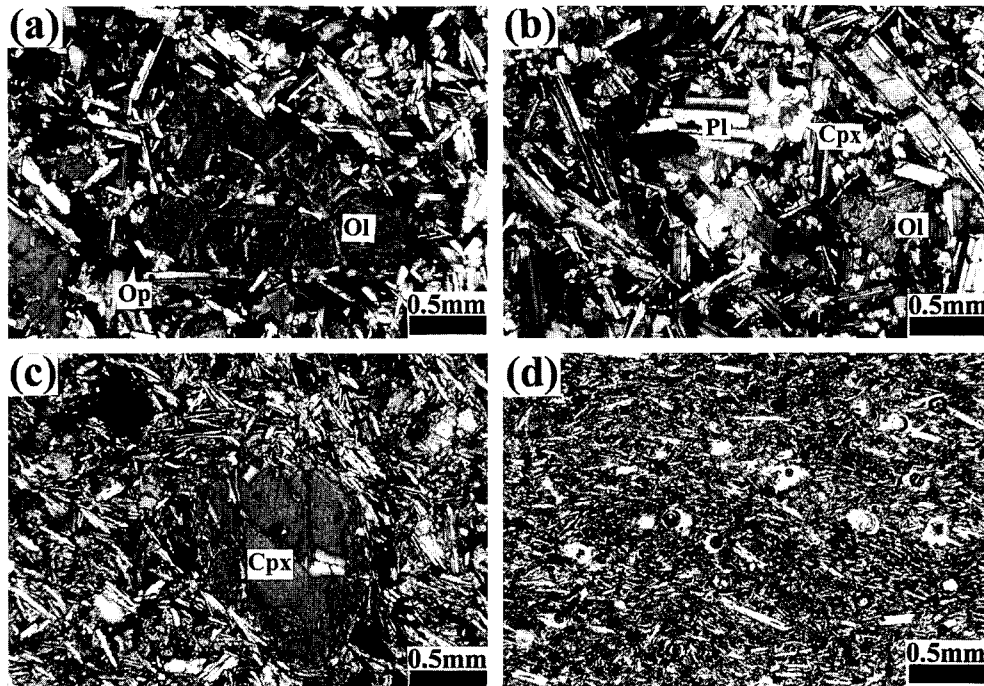


Fig. 3. (a) Photomicrograph of tholeiitic basalt(sample, 2N-1x) with the phenocryst of olivine showing the skeletal texture (crossed), (b) Photomicrograph of tholeiitic basalt (sample, 2N-1x) showing the intergranular texture in which olivine and clinopyroxene occurs in the interstices between plagioclase laths (crossed), (c) Photomicrograph of alkali basalt (sample, 3N-3) with the phenocryst of subhedral clinopyroxene surrounded by plagioclase lath (crossed), and (d) Photomicrograph of alkali basalt (sample, 0727-12), showing hyalopilitic texture (open). Abbreviation [Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Op, opaque mineral]

알칼리 현무암은 SiO₂ 성분이 48.4-49.1 wt.%의 범위를 나타내며 MgO가 9.4 wt.%에서 6.0 wt.%로 감소함에 따라 즉, 분화가 진행됨에 따라 TiO₂, Al₂O₃, FeO^T, Na₂O는 증가하는 경향이고, K₂O와 P₂O₅는 MgO가 9.4-8.3 wt.% 내의 범위에서는 증가하다가 MgO가 6.0 wt.% 정도에서는 감소하는 값을 나타낸다. 그러나, CaO는 MgO가 8.2 wt.%까지 감소하다가 이후 증가한다(Fig. 5). 본 연구지역에서 산출되는 알칼리 현무암의 분화 초기에는 MgO가 감소함에 따라 CaO는 감소하고, Al₂O₃, Na₂O는 증가하는 경향을 나타내는데 이는 사장석의 정출이 마그마 분화에 크게 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 또, SiO₂ 변화의 범위가 비교적 좁은 것에 비하여 MgO 성분 변화가 큰 것은 감람석과 단사회석의 분별정출이 분화작용에 주된 영향을 미쳤음을 나타낸다. 이러한 결과는 모우드 분석 결과(Table 1)에서 침상장석감람석 현무암에서는 나타나지 않는 단사회석의 반정 내지 미반정 결정이 소량이라도 나타남의 결과로부터 일치함을 나타내고 있다. K₂O와 P₂O₅가 증가하는 경향을 보이는 것은 이들 원소가 일반적으로

현무암에서 정출되는 감람석, 단사회석, 사장석 및 Fe-Ti 산화광물과는 무관한 불호정성 원소임을 나타낸다.

노움 계산 결과(Table 2)를 Thompson(1984)의 도형에 도시해 보면(Fig. 6), 알칼리 현무암은 극소량의 노움 네펠린 + 감람석 + 투회석, 또는 소량의 노움 하이퍼신 + 감람석 + 투회석을 가지면서 알칼리현무암쪽으로 치우쳐 도시되나, 반면에 쉐리아이트 현무암은 소량의 노움 감람석+투회석+하이퍼신을 가지면서 쉐리아이트 암 쪽으로 치우쳐 도시되어 두 암상이 서로 잘 구분된다. 본 연구지역의 현무암들은 전반적으로 감람석-쉐리아이트(전이대: transitional) 영역에 도시된다.

미량원소

호정성 미량원소

이 지역 용암류의 미량원소 조성은 Table 3과 같다. MgO 성분은 조암광물 중 감람석, 단사회석과 같은 유색광물의 정출 정도에 따라 민감하게 변화하므로, MgO 변화도는 이들 광물들에 호정적인 미량원소의 변화를

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

Sample	TH												AB											
	N4	0727-2	N3	N2	2N-1x	2N-1b	2N-1β	2N-1c	2N-2	2N-3	2N-4	3N-2	0727-13	0727-12	0727-1	0727-3	0727-11	3N-3	IV	3N-1				
Lava unit	II	II	IIIa	IIIb	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	V	Va	Va	V	IV	IV	IV				
Rock Type																								
SiO ₂	49.75	51.18	50.81	50.10	49.14	51.41	50.97	51.27	50.74	49.15	49.56	50.99	50.60	48.81	48.43	48.95	49.03	49.13	48.94					
TiO ₂	2.08	2.09	2.04	2.04	2.19	2.14	2.05	2.11	2.02	2.13	2.12	2.03	2.06	2.69	2.20	2.29	2.24	2.33	2.14					
Al ₂ O ₃	14.86	14.33	15.13	15.27	15.19	14.65	14.52	14.73	14.54	15.57	15.64	14.82	14.47	15.51	13.97	14.41	14.46	14.93	14.90					
Fe ₂ O ₃ ^T	11.25	11.88	11.21	11.54	12.13	11.45	11.54	11.54	11.54	12.01	11.80	11.35	12.09	13.48	12.63	12.50	12.19	11.88	11.65					
MnO	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15					
MgO	7.10	7.30	7.49	7.57	7.93	7.37	8.25	7.31	8.50	7.60	7.36	7.89	7.76	5.95	9.44	8.25	8.26	8.35	8.73					
CaO	9.14	9.37	9.27	9.34	9.24	8.73	8.82	8.95	8.92	9.51	9.30	9.15	9.33	8.95	9.21	8.74	8.73	8.69	8.85					
Na ₂ O	3.14	3.38	3.15	3.22	3.12	3.21	3.16	3.22	3.09	3.10	3.12	3.16	3.30	3.65	3.03	3.48	3.45	3.29	3.24					
K ₂ O	0.59	0.69	0.66	0.48	0.39	0.75	0.72	0.69	0.68	0.28	0.36	0.66	0.56	0.77	1.23	1.43	1.43	1.42	1.30					
P ₂ O ₅	0.28	0.26	0.28	0.27	0.30	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.38	0.39	0.47	0.45	0.48	0.44					
L.O.I.	-0.17	-0.34	-0.19	0.00	0.22	-0.16	-0.46	-0.24	-0.45	0.22	0.32	-0.46	-0.11	-0.08	0.18	-0.58	-0.61	-0.65	-0.34					
Total	98.15	100.63	100.00	102.29	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.57	100.36	100.69	100.69	100.42	100.00	100.00					
CIPW norm																								
Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Or	3.58	4.09	3.93	2.87	2.33	4.47	4.28	4.11	4.04	1.68	2.16	3.92	3.32	4.59	7.30	8.49	8.51	8.42	7.73					
Ab	27.24	28.66	26.82	27.48	26.69	27.34	26.83	27.40	26.24	26.51	26.71	26.83	28.00	31.08	25.69	28.06	28.44	27.89	27.55					
An	25.33	21.93	25.34	26.01	26.57	23.50	23.38	23.83	23.87	28.04	27.92	24.38	23.07	23.80	20.92	19.50	19.83	21.81	22.37					
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.48	0.00	0.00					
DiWo	8.16	9.68	8.08	8.01	7.54	7.68	7.88	8.01	7.91	7.54	7.19	8.20	9.13	7.81	9.45	8.87	8.81	7.78	8.02					
DiEn	4.96	5.81	4.98	4.90	4.62	4.70	4.94	4.86	5.00	4.56	4.34	5.11	5.53	4.26	5.98	5.45	5.45	4.90	5.11					
DiFs	2.74	3.35	2.62	2.65	2.48	2.53	2.45	2.69	2.41	2.56	2.46	2.59	3.09	3.27	2.86	2.90	2.82	2.38	2.39					
HyEn	11.77	9.58	12.14	10.24	9.70	13.87	12.72	13.53	12.56	9.99	11.27	12.35	9.46	2.97	0.43	0.00	0.00	1.52	1.22					
HyFs	6.51	5.53	6.38	5.53	5.22	7.47	6.29	7.49	6.06	5.59	6.38	6.27	5.29	2.28	0.21	0.00	0.00	0.74	0.57					
OlFo	1.05	2.05	1.22	2.78	4.03	0.00	2.14	0.00	2.66	3.27	2.12	1.65	3.14	5.43	12.08	10.67	10.72	10.17	10.94					
OlFa	0.64	1.31	0.71	1.66	2.39	0.00	1.17	0.00	1.42	2.02	1.33	0.92	1.94	4.60	6.37	6.26	6.12	5.45	5.65					
Mt	3.35	3.46	3.27	3.38	3.57	3.36	3.36	3.37	3.37	3.52	3.47	3.31	3.52	3.94	3.68	3.64	3.56	3.46	3.40					
Il	4.06	3.98	3.90	3.91	4.21	4.10	3.91	4.04	3.86	4.10	4.08	3.87	3.93	5.15	4.19	4.36	4.28	4.44	4.09					
Ap	0.63	0.57	0.62	0.60	0.66	0.66	0.64	0.64	0.61	0.62	0.60	0.59	0.57	0.84	0.85	1.03	0.99	1.05	0.97					
Mg#	0.39	0.38	0.40	0.40	0.40	0.39	0.42	0.39	0.42	0.39	0.38	0.41	0.39	0.31	0.43	0.40	0.40	0.41	0.43					
A.I.	3.25	2.93	2.87	3.07	3.36	2.77	2.86	2.78	2.87	3.23	3.12	2.81	2.99	4.48	4.61	4.85	4.76	4.52	4.50					

Fe₂O₃^T is recalculated as FeO and Fe₂O₃ for CIPW norm.
 (Fe₂O₃/FeO ratios for CIPW norm. calculation recommended by Middlemost, 1989).
 $Mg\# = Mg/(Mg+Fe^{2+})$; $A.I. = (Na_2O+K_2O)/(SiO_2-43) \times 0.171$.

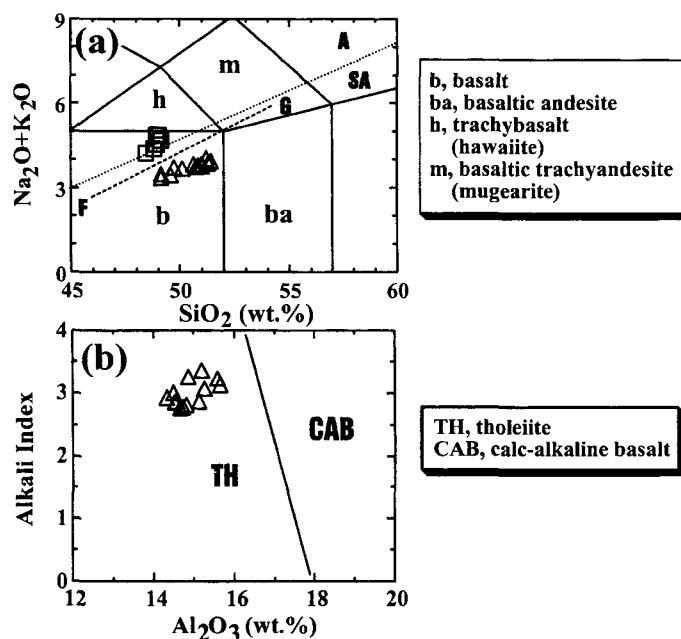


Fig. 4. (a) Total alkali vs. SiO_2 (wt.%) (Le Bas *et al.*, 1986) plot of the basaltic rocks in the study area. The dividing line between alkali(A) and sub-alkalic(SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971). Line F-G is division for tholeiitic and alkaline rocks in Hawaii (Macdonald and Katsura, 1964) and (b) Alkali Index (A.I.) vs. Al_2O_3 (wt.%) for the classification of tholeiitic(TH) and calc-alkaline basalts(CAB) (Middlemost, 1975). Symbols [□, aphanitic basalt; △, acicular feldspar olivine basalt]

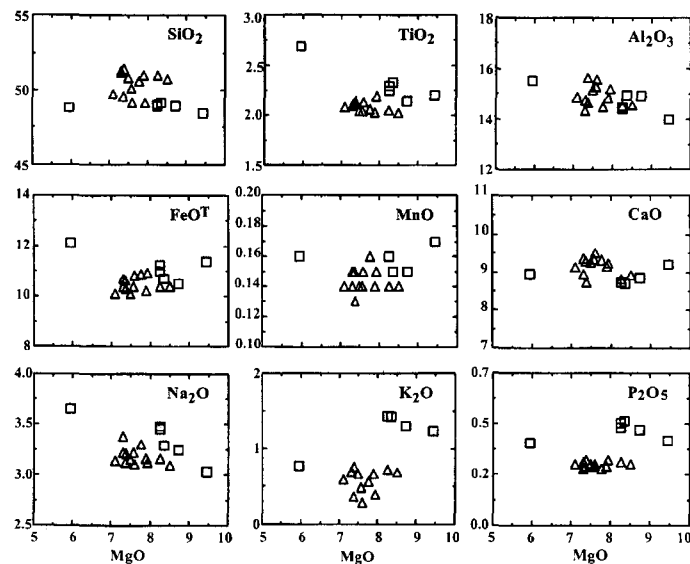


Fig. 5. Harker variation diagrams of major oxide (wt.%) vs. MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 4.

잘 나타내준다.

썬리사이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 동일

한 MgO 에서 Co 는 낮게, 그리고 Cr 은 높게 나타나는 경향을 보인다. 또한, 썬리사이트 현무암의 호정성 원

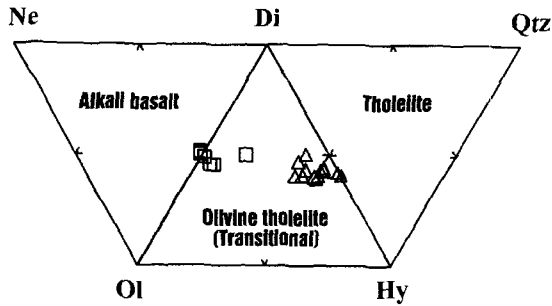


Fig. 6. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimension diagram of normative components ne-ol-di-hy-qtz (Thompson, 1984). Symbols are the same as those in Fig. 4.

소 함량은 알칼리 현무암에 비하여 MgO 함량의 차이는 있으나 호정성 원소 Ni, Cr의 변화는 정(+)의 상관성을 가진다(Fig. 7).

알칼리 현무암은 MgO 함량이 9.5~5.5 wt.%로 감소함에 따라 Ni와 Cr은 감소하는데 이것은 감람석이나 단사회석과 같은 광물이 초기 단계에서 정출 하였음을 반영하고 있다(Fig. 7).

불호정성 미량원소

솔리아이트 현무암의 불호정성 원소의 함량은 Ba는 122~173 ppm, Rb는 2.3~18.4 ppm, La는 15.1~17.6 ppm으로 나타나고, 알칼리 현무암에서는 Ba는 222~378 ppm, Rb는 6.4~35.4 ppm, La는 19.2~31.1 ppm으로 나타난다. 솔리아이트 현무암의 불호정성 원소의 함량이 알칼리 현무암의 것보다 낮은 값을 나타낸다.

페리도타이트-현무암 멜트계에서 불호정성 원소이며, 풍화나 변질작용에도 크게 영향을 받지 않는 비유동성 (immobile) 원소인 Nb는 마그마의 분화 척도로 사용하기에 적합하다(Pearce and Norry, 1979). 본 역의 화산암류의 Nb에 대한 불호정성 미량원소에 대한 변화 경향을 보면(Fig. 8), 솔리아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비해 Nb이 17.4~20.2 ppm에 밀집되어 도시되므로 특징적인 증감의 경향은 뚜렷하지 않은 반면, 알칼리 현무암은 Nb이 27.5~41.9 ppm 범위 내에서 선상의 증가를 보이는 정(+)의 상관성을 보인다. 솔리아이트 현무암과 알칼리 현무암의 두 암석군이 모두 거의 일직선상에서 Nb과 정(+)의 불호정적인 변화를 보이는 데, 이는 연구지역의 두 암석군이 동원마그마로부터 기원되었음을 시사한다(Hanson, 1989).

희토류 원소

본 연구지역 용암류의 희토류 원소 조성은 Table 4

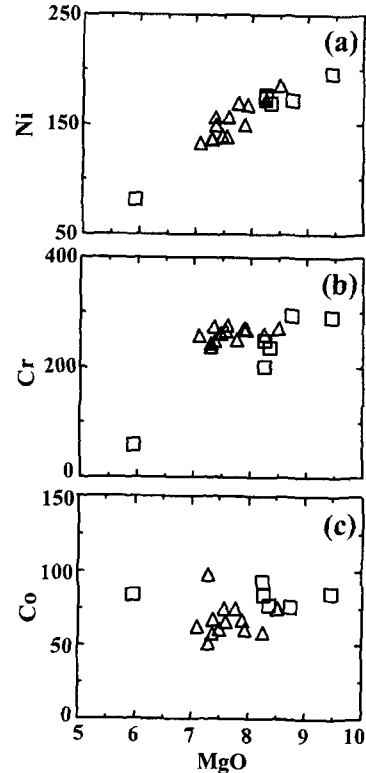


Fig. 7. Harker variation diagrams of compatible elements (ppm) vs. MgO (wt.%) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 4.

와 같다. 희토류 원소를 콘드라이트 값(Nakamura, 1974)으로 표준화했을 때, 희토류 원소의 총량은 89~158 ppm으로 전체적으로 콘드라이트에 비해서 5~100배 정도 부화되어 있다. 본 역의 현무암류는 LREE가 HREE에 비해 더 부화된 패턴을 가진다. LREE가 HREE에 비하여 상대적으로 더 부화되는 것은 단사회석, 감람석 등의 분별정출작용의 결과이다. 또한, 전체적으로 Eu의 (-)이상이 거의 없는 것은 사장석의 분별정출작용이 심하지 않았음을 반영한다. 특히, 알칼리 현무암의 LREE는 솔리아이트 현무암보다 훨씬 더 부화되어 있고, HREE는 솔리아이트 현무암과 겹치는 경향을 나타낸다(Fig. 9). 그리고, HREE 중 Lu의 함량이 알칼리 현무암이 0.23~0.30 ppm, 솔리아이트 현무암이 0.20~0.30 ppm으로 거의 같은 값을 가지며, $(Yb)_N$ 값이 6~9로 10이하의 비를 나타낸다.

암석들의 미량원소의 조성 특징을 원시맨틀 값(Sun, 1982)으로 규정화한 거미 성분도(spider diagram)에서 고찰해 보면(Fig. 10), Ba 및 Rb과 같은 LIL 원소는

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

Sample	TH										AB													
	N4	0727-2	N3	N2	2N-1a	2N-1b	2N-1β	2N-1c	2N-2	2N-3	2N-4	3N-2	0727-13	0727-12	0727-1	Va	V	0727-3	0727-11	3N-3	VI	VI	3N-1	
Lava unit	II	II	IIIa	IIIb	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	Va	V	Va	V	Va	V	VI	VI	VI	3N-1
Rock Type																								
Sr	423.00	404.00	440.00	421.00	415.00	402.00	406.00	405.00	395.00	411.00	418.00	401.00	408.00	441.00	421.00	495.00	491.00	491.00	421.00	495.00	492.00	492.00	492.00	467.00
Ba	144.00	173.00	146.00	167.00	160.00	162.00	170.00	151.00	149.00	141.00	141.00	144.00	162.00	222.00	305.00	378.00	370.00	370.00	305.00	378.00	370.00	370.00	370.00	307.00
Li	6.20	3.96	6.00	6.90	7.80	4.80	5.30	4.80	5.50	6.10	5.90	5.40	5.77	8.18	5.56	5.85	5.96	5.85	5.56	5.85	6.50	6.50	6.50	8.50
P	1310.00	1321.00	1298.00	1283.00	1385.00	1334.00	1252.00	1317.00	1259.00	1264.00	1273.00	1217.00	1364.00	1854.00	1874.00	2082.00	2218.00	2099.00	1874.00	2082.00	2218.00	2099.00	2099.00	1924.00
Sc	20.10	20.70	19.50	19.90	20.40	19.40	18.50	19.50	19.00	19.30	20.20	19.60	21.10	18.90	21.80	19.40	19.70	19.50	21.80	19.40	19.70	19.50	19.50	20.40
V	174.00	171.00	168.00	170.00	178.00	169.00	160.00	168.00	162.00	173.00	173.00	168.00	174.00	188.00	193.00	187.00	191.00	192.00	193.00	187.00	191.00	192.00	192.00	191.00
Cr	258.00	238.00	262.00	267.00	270.00	249.00	261.00	244.00	272.00	276.00	275.00	271.00	251.00	59.00	292.00	202.00	249.00	237.00	292.00	202.00	249.00	237.00	237.00	296.00
Zn	106.00	110.00	103.00	106.00	112.00	106.00	103.00	106.00	106.00	111.00	110.00	104.00	113.00	128.00	108.00	112.00	113.00	108.00	108.00	112.00	113.00	108.00	108.00	109.00
Zr	162.00	129.00	159.00	157.00	170.00	164.00	160.00	163.00	155.00	160.00	160.00	154.00	130.00	153.00	155.00	179.00	178.00	221.00	155.00	179.00	178.00	221.00	221.00	207.00
Co	62.50	98.00	60.80	75.00	60.30	67.20	58.50	51.30	74.90	65.60	57.40	66.70	75.00	84.00	85.00	93.00	84.00	77.10	85.00	93.00	84.00	77.10	77.10	75.80
Ni	133.00	137.00	139.40	138.90	167.70	149.40	172.60	137.80	186.10	156.60	156.60	149.80	170.00	82.00	197.00	175.00	177.00	169.40	197.00	175.00	177.00	169.40	169.40	172.60
Cu	52.40	69.00	47.70	54.30	52.20	42.80	53.70	54.00	64.20	52.00	59.20	50.00	64.00	64.00	67.00	60.00	61.00	49.60	67.00	60.00	61.00	49.60	49.60	51.30
Rb	10.80	14.20	14.50	4.00	4.80	16.80	18.40	13.20	14.20	2.30	2.40	13.20	10.80	6.40	25.40	35.40	34.50	33.50	25.40	35.40	34.50	33.50	33.50	25.20
Y	20.50	18.20	21.00	20.10	20.90	20.90	20.90	20.90	20.30	20.80	22.00	19.50	18.10	21.20	19.20	20.70	20.50	22.70	19.20	20.70	20.50	22.70	22.70	21.50
Nb	18.80	18.20	18.60	17.50	18.90	19.10	18.50	18.20	18.20	18.00	18.20	17.40	17.70	27.50	32.70	41.90	38.90	41.10	32.70	41.90	38.90	41.10	41.10	34.50
Cs	0.26	0.15	0.31	0.05	0.20	0.36	0.31	0.14	0.17	0.04	0.05	0.24	0.15	0.01	0.08	0.17	0.11	0.35	0.01	0.08	0.17	0.11	0.35	0.02
Hf	4.47	3.62	4.70	4.15	4.60	4.52	4.54	4.59	4.24	4.38	4.48	4.29	3.43	3.96	4.01	5.52	4.59	5.72	4.01	5.52	4.59	5.72	5.72	5.23
Ta	1.39	1.24	1.36	1.25	1.35	1.33	1.43	1.30	1.25	1.25	1.26	1.39	1.22	1.83	2.21	3.64	2.58	2.71	2.21	3.64	2.58	2.71	2.71	2.50
Pb	1.80	2.27	1.90	1.80	1.90	1.80	1.90	1.80	2.50	2.00	1.70	2.20	1.78	2.15	2.17	2.37	3.85	2.30	2.15	2.37	3.85	2.30	2.30	2.20
Th	2.30	1.96	2.30	2.20	2.40	2.30	2.20	2.20	2.10	2.20	2.20	2.10	1.94	2.55	3.56	5.05	4.60	5.00	3.56	5.05	4.60	5.00	5.00	4.30
U	0.42	0.49	0.45	0.38	0.46	0.49	0.47	0.52	0.38	0.38	0.38	0.39	0.43	0.58	0.85	0.88	0.87	1.06	0.85	0.88	0.87	1.06	1.06	0.60
Y/Nb	1.09	1.00	1.13	1.15	1.11	1.09	1.13	1.15	1.12	1.16	1.21	1.12	1.02	0.77	0.59	0.49	0.53	0.55	0.59	0.49	0.53	0.55	0.55	0.62

Primitive mantle values used in normalizing trace elements are from Sun (1982).

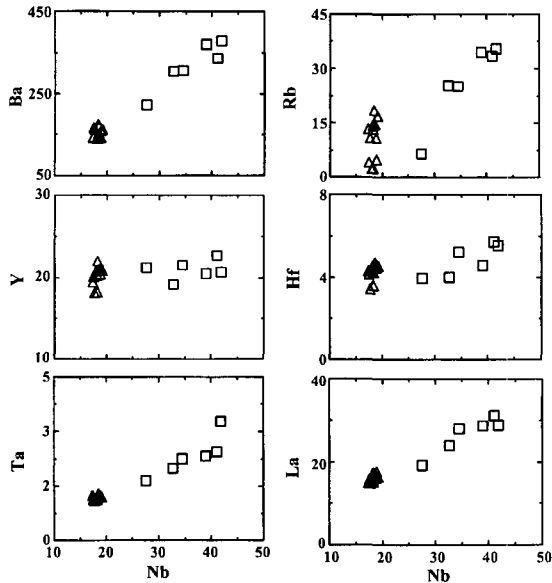


Fig. 8. Variation diagrams of incompatible elements (ppm) against Nb (ppm) of the basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 4.

부화된 반면, 석류석에 호정적인 Y이 감소하며 감람석과 휘석에 호정성이 있는 Ni과 Cr은 원시맨틀 성분에 비하여 조성이 매우 낮다. 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암은 그 함량의 차이는 약간 있으나, 변화 경향은 서로 나란한 변화 패턴을 보인다. 이러한 변화 패턴은 동일한 기원물질로부터 서로 다른 부분용융에 의해 생성된 것으로 생각된다.

토 의

본 역의 화산암류에서 MgO에 대한 Zr/Nb 비는 알칼리 현무암은 4.3~6.0의 값을 가지며, 쏘리아이트 현무암은 7.1~9.0의 값을 가진다. 즉, 두 현무암류는 MgO에 대한 Zr/Nb 비가 차이를 나타낸다(Fig. 11a). 이는 동일한 석류석-페리도타이트의 부분용융의 정도가 달랐음을 의미한다(Le Roex *et al.*, 1981; Weaver *et al.*, 1987). Zr이 Nb에 비해 석류석과 단사휘석에 대해 친화적이어서 맨틀에서의 부분용융 정도가 커짐에 따라 형성되는 마그마에서의 Zr/Nb 비는 증가한다. 그리고, 현무암류의 Y/Nb 비는 근원지의 알칼리도를 나타내는데(Winchester and Floyd, 1977), 이러한 알칼리도는 근원지에서 석류석의 Y에 대한 친화성을 반영한다(Lambert and Holland, 1974; Frey *et al.*, 1978). 이는 석류석을 가지고 있는 맨틀 근원으로부터 형성된 마그마

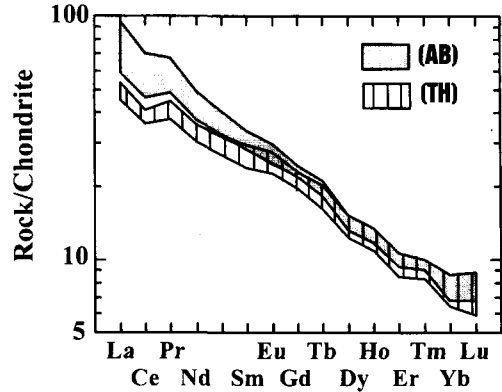


Fig. 9. Chondrite-normalized rare earth element patterns of the basaltic rocks in the study area (Nakamura, 1974).

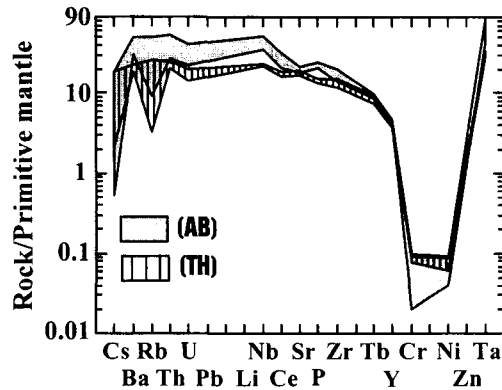


Fig. 10. Primitive mantle-normalized spider diagram for basaltic rocks in the study area (Sun, 1982).

는 부분용융 정도가 작을수록 알칼리도가 증가함을 의미한다. MgO에 대한 Y/Nb를 보면(Fig. 11b), 알칼리 현무암이 0.5~0.75, 쏘리아이트 현무암은 0.75~1.25의 값을 가지며, 알칼리 현무암이 쏘리아이트 현무암보다 낮은 값을 나타낸다.

본 연구지역의 현무암은 호정성 원소의 농도 변화가 크고, 현무암의 Ni 함량이 맨틀암과 원시마그마의 Ni 함량(Hart and Allegre, 1980)보다 낮은 것으로 보아(Fig. 10), 본 역의 현무암은 초생 마그마를 대표한다고 할 수 없다. 전형적인 상부 맨틀의 평형 상태에서 만들어진 초생 마그마(primary magma)의 조성은 높은 Mg#값(0.7 이상), 높은 Ni(400~500 ppm 이상) 및 Cr 함량(1000 ppm)과 낮은 SiO₂(50% 이하)의 특징을 가진다. 본 연구지역의 현무암류는 Mg#값이 0.43 이하이고, Ni함량이 82~187 ppm, Cr의 함량이 59~296 ppm의 낮

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

Sample Lava unit Rock Type	TH										AB									
	N4 II	0727-2 II	N3 IIIa	N2 IIIb	2N-1x IV	2N-1b IV	2N-1β IV	2N-1c IV	2N-2 IV	2N-3 IV	2N-4 IV	3N-2 IV	0727-13 IV	0727-12 V	0727-1 Va	0727-3 Va	0727-11 V	3N-3 VI	3N-1 VI	
La	16.40	15.40	17.20	15.70	17.60	16.50	16.80	16.60	15.90	16.40	17.30	15.10	14.87	19.20	23.89	28.81	28.70	31.10	27.90	
Ce	33.20	32.35	34.80	31.60	35.30	33.30	33.40	32.70	33.00	33.40	32.70	31.20	31.31	39.71	48.32	57.01	56.60	60.60	54.00	
Pr	4.50	4.39	4.70	4.30	5.00	4.60	4.70	4.50	4.40	4.60	4.60	4.30	4.22	5.37	6.05	7.26	7.08	7.50	6.90	
Nd	20.80	19.21	21.40	19.70	22.50	20.50	20.60	20.40	20.10	20.90	20.90	19.50	19.15	23.55	25.29	28.77	28.32	30.60	28.40	
Sm	5.60	5.02	5.90	5.50	5.90	5.50	5.60	5.60	5.10	5.50	5.90	5.20	4.83	6.12	5.72	6.39	6.34	6.90	6.40	
Eu	1.90	1.83	2.00	2.00	2.10	1.90	1.90	1.90	1.90	2.00	2.00	1.80	1.74	2.18	1.90	2.12	2.12	2.30	2.10	
Gd	5.70	5.73	6.20	5.80	6.30	5.90	5.90	5.90	5.40	5.80	6.10	5.40	5.58	6.50	6.33	6.69	6.71	6.50	6.00	
Tb	0.88	0.81	0.91	0.87	0.95	0.89	0.90	0.89	0.84	0.86	0.91	0.80	0.76	0.95	0.85	0.91	0.89	0.99	0.90	
Dy	5.00	4.50	5.10	4.80	5.20	4.70	5.00	5.10	4.70	5.00	5.10	4.50	4.17	5.02	4.50	4.73	4.72	5.30	5.20	
Ho	0.91	0.79	0.94	0.88	0.92	0.87	0.89	0.92	0.85	0.90	0.91	0.83	0.76	0.92	0.82	0.86	0.85	0.96	0.92	
Er	2.30	2.08	2.40	2.20	2.20	2.30	2.30	2.40	2.00	2.20	2.30	2.20	1.90	2.31	2.10	2.24	2.19	2.40	2.30	
Tm	0.30	0.26	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.29	0.27	0.30	0.28	0.30	0.30	
Yb	1.80	1.41	1.70	1.60	1.90	1.70	1.80	1.80	1.80	1.80	1.90	1.70	1.41	1.74	1.49	1.59	1.62	1.90	1.80	
Lu	0.30	0.22	0.30	0.20	0.30	0.20	0.20	0.30	0.20	0.20	0.30	0.20	0.21	0.25	0.23	0.23	0.24	0.30	0.30	
ΣREE	99.59	94.00	103.85	95.45	106.47	99.16	100.29	99.31	96.49	99.86	101.22	93.03	91.16	114.11	127.76	147.91	146.66	157.65	143.42	
(La/Yb)N	6.16	7.38	6.84	6.63	6.26	6.56	6.31	6.23	5.97	6.16	6.15	6.00	7.13	7.46	10.83	12.24	11.97	11.06	10.47	

Chondrite values used in normalizing are from Nakamura (1974).

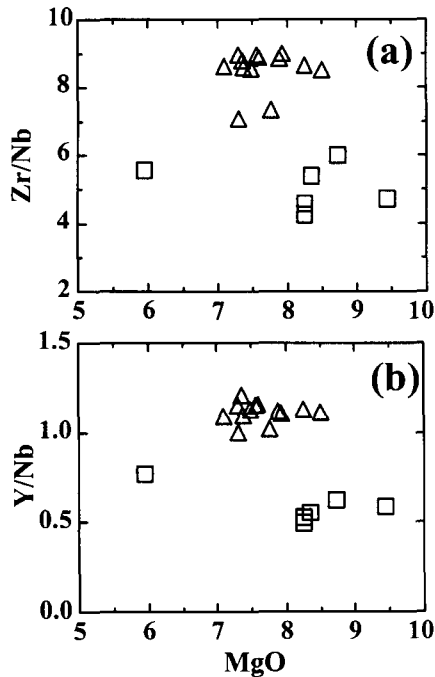


Fig. 11. (a) MgO (wt.%) vs. Zr/Nb diagram and (b) MgO (wt.%) vs. Y/Nb diagram for basaltic rocks in the study area. Symbols are the same as those in Fig. 4.

은 함량을 가지므로, 그 성분 자체가 초생 마그마는 아니며, 어느 정도 결정분화작용을 경험한 조성임을 지시한다.

K/Ba 비는 맨틀 근원물질의 불균질성(mantle heterogeneity)에 민감한 지시물로서, 일반적으로 해양도 현무암(OIB)은 28보다 작은 값을 나타내며, 중앙해령 현무암(MORB)이 20~160의 값을 가진다. 본 역의 쏘라이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 K_2O 및 Ba의 함량은 낮으나, K/Ba 비는 알칼리 현무암과 거의 같다(Fig. 12a). 이러한 사실은 이들의 모마그마가 동질의 맨틀 근원물질에서 부분용융 정도의 차이로 형성되었음을 시사한다.

또한, 이 지역 용암류의 P_2O_5 와 Al_2O_3 값은 좋은 상관성을 보이며(Fig. 12b), 쏘라이트 현무암류는 Al_2O_3/P_2O_5 비가 48.8~57.9, 알칼리 현무암류는 31.1~40.8을 보인다. 쏘라이트의 비가 알칼리 현무암류보다 높은 것은 쏘라이트의 부분용융 정도가 더 컸음을 의미한다. 이는 박준범과 권성택(1996)에 의한, 제주도 지역의 화산암류 중 알칼리암류와 쏘라이트암류는 동질의 석류석-페리도타이트 맨틀 근원암에서 부분용융의 차이 즉, 알칼리암류는 2~3%, 쏘라이트암류는 약 8%

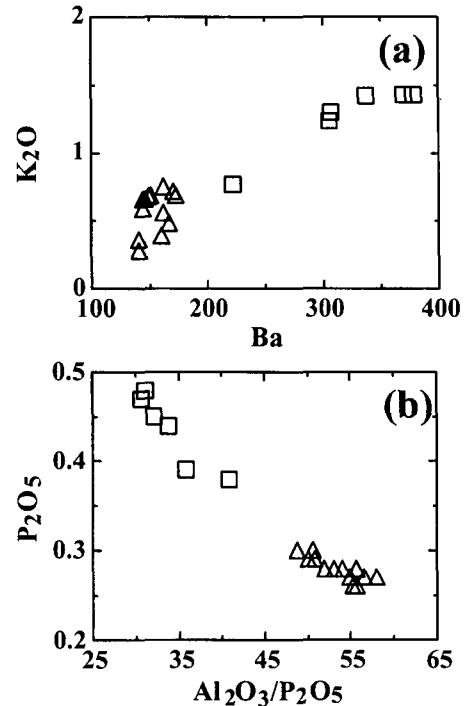


Fig. 12. Variation diagrams showing different degree of partial melting for the basaltic rocks. (a) Ba vs. K_2O (wt.%) and (b) Al_2O_3/P_2O_5 vs. P_2O_5 (wt.%). Symbols are the same as those in Fig. 4.

의 부분용융으로 모마그마가 형성되었다는 연구 결과와 일치한다.

결론

1. 태흥리 용암은 반정 광물의 종류 및 조직에 따라 크게 침상장석감람석 현무암과 비현정질 현무암으로 구분할 수 있으며, 총서는 4매 이상의 침상장석감람석 현무암 위에 2매 이상의 비현정질 현무암층이 덮고 있다.
2. 침상장석감람석 현무암은 입간 조직을 가지며, 현미경 하에서 목편상의 사장석의 사이에 감람석과 사장석의 반정과 미반정을 가진다. 비현정질 현무암은 대체로 인터서탈 조직이 나타나며, 경하에서는 반정과 미반정의 사장석과 감람석이 함유되어 있으며, 단사휘석이 극소량 관찰된다.
3. TAS분류도에서 비현정질 현무암은 알칼리 계열의 현무암 영역에, 침상장석감람석 현무암은 서브알칼리 계열인 현무암 영역에 도시되어 구분되며, 서브알칼리 현무암은 쏘라이트 현무암의 영역에 해당된다.

4. 태흥리 용암중 하위의 침상장석감람석현무암은 다양한 크기의 지각물질 포획체를, 상위의 비현정질 현무암은 맨틀 포획체를 가지고 있다.

5. 알칼리 현무암과 쏘리아이트 현무암은 미량원소 및 희토류원소의 함량의 차이는 약간 있으나, 변화 경향은 서로 나란한 변화 패턴을 보이는 데, 이는 동일 기원물질로부터 서로 다른 부분용융에 의해 생성된 것임을 시사한다.

참고문헌

박준범, 권성택, 1991, 제주도 화산암의 암석화학적 진(II): 제주 동부 월라봉부근 시추코아 연구. 대한 지질학회 제 46차 정기총회 및 학술발표회(초록), 연세대학교, 지질학회지, 27, 531p.

박준범, 권성택, 1993, 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주 북부 지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석화학적 특징. 지질학회지, 29, 39-60.

박준범, 권성택, 1996, 제주도의 쏘리아이트 화산활동, 암석학회지, 5, 66-83.

박준범, 박기화, 조동룡, 고기원, 1999, 제주도 제4기 화산암류의 암석화학적 분류, 지질학회지, 35, 253-264

원종관, 1976, 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적 연구. 지질학회지, 12, 207-226.

원종관, 이문원, 이동명, 손영관, 1993, 성산도폭(1:50,000) 지질도설명서. 건설부, 제주도, 수자원공사, 104p.

원종관, 이문원, 윤성효, 이동영, 고보균, 1995, 표선도폭(1:50,000) 지질도설명서. 건설부, 제주도, 수자원공사, 59p.

원종관, 이문원, 윤성효, 고보균, 1998, 제주도 남동부 표선 지역 화산암류의 지구화학적 특징. 지질학회지, 34, 172-191.

윤성효, 원종관, 이문원, 고정선, 이정숙, 1997, 제주도 동부지역의 쏘리아이트 용암류에 대한 암석학적 연구, 한국암석학회 발표요약문, 14p.

이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1993, 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구. 지질학회지, 30, 521-541.

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. Petrol., 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.

Hart, S.R., and Allegre, C.J., 1980, Trace element constraints on magma genesis. In: Hargraves, R.B. (ed.) Physics of magmatic Processes, Princeton University Press. 121-160.

Lambert, R.S.J., and Holland, J.G., 1974, Yttrium geochem-

istry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. Geochim. Cosmochim. Acta., 38, 1393-1414.

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 University. Series 3, 15, 177-256.

Le Roex, A.P., Erlank, A.J., and Needleham, H.D., 1981, Geochemical and mineralogical evidence for the occurrence of at least three distinct magma types in the 'Famous' region. Contrib. Mineral. Petrol., 77, 24-37.

Macdonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian lava. J. Petrol., 5, 82-133.

Middlemost, E.A.K., 1989, Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. Chem. Geol., 77, 19-26.

Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta., 38, 757-775.

Pearce, J.A., and Norry, M.J., 1979, Petrogenesis implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., 69, 33-47.

Sun, S.S., 1982, Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle. Geochim. Cosmochim. Acta., 46, 179-192.

Thompson, R.N., 1984, Dispatches from the basalt front. 1. Experiments. Proc. Geol. Ass., 95, 249-262.

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.

Yun, S.H., Won, C.K., Lee, M.W., Koh, J.S., and Lee, J.S., 1997, Chemistry and petrogenesis of alkaline and tholeiitic basalts in eastern Cheju island, Korea, The 4th Korea-China Joint Geol. Sym. on crustal evolution in northeast Asia, 37-43. (The Research Institute for Development of Earth Resources).

(2001년 7월 16일 접수, 2002년 2월 25일 채택)