

청송 주왕산지역 대전사 현무암의 암석화학적 연구

윤성효 · 이문원¹ · 고정선 · 김영라 · 안지영

부산대학교 대학원 지구과학과, 부산광역시 금정구 장전동 산30
¹강원대학교 사범대학 과학교육과, 강원도 춘천시 효자2동 192-1

요약: 주왕산 화산암체의 최하부층에 해당하는 대전사 현무암층은 전체적으로 12개의 용암과 9개의 페페라이트가 교호하며, 각 용암과 페페라이트의 암층의 두께는 다양하다. 현무암류는 육안으로 반정이 관찰되지 않으며 기공이 없는 치밀한 현무암이지만, 한 단위의 용암층 내에서 상부에는 다공질의 현무암이 발견되기도 한다. 경화에서의 현무암류는 주된 반정 광물로 가상의 감람석을 가지며, 사장석과 단사회석의 반정도 보인다. 석기는 주로 서브오피틱 조직을 보인다. 대전사 현무암류는 MgO 함량이 4.8~7.6 wt.%, Al₂O₃ 함량은 16~18 wt.%, CaO 함량은 9.1~10.9 wt.%, 그리고 FeO^T 함량은 7.4~8.7 wt.%의 조성을 보인다. TAS 성분도와 SiO₂에 대한 K₂O의 성분도 그리고, 알칼리지수에 대한 Al₂O₃의 관계도에서는 칼크-알칼리 현무암에 도시된다. MgO를 분화 지수로한 각 산화물의 변화 경향은 MgO가 감소함에 따라서 Al₂O₃과 CaO는 증가하며, FeO^T 함량은 감소하고, 호정성 원소는 감소한다. 불호정성 원소 중에서 HFS 원소는 MORB값과 비슷한 반면에, LIL 원소는 부화되어 있다. 특히 Ce, P, 및 Sm이 약간 부화되어 있으며, Nb는 뚜렷한 부이상을 보인다. 희토류 원소는 전체적으로 부화되어 있으며, HREE에 비해서 LREE가 부화되어 있다. 조구조 판별도에서는, 지판이 침강 섭입하는 지판경계부 영역의 칼크-알칼리 계열 현무암에 도시되고, 특히 Th/Yb에 대한 La/Yb의 상관도에서는 본 현무암류가 대륙변호 칼크-알칼리 화산대 환경에서 생성되었음을 알 수 있다. 대전사 현무암류의 초생 마그마는 섭입에 따른 유체의 공급으로 췌기형 상부맨틀을 구성하는 석류석 감람암이 약 15% 부분용융되어 생성된 현무암질 마그마에서 유래되었다. 이들 마그마는 분출되기 직전에 주로 감람석의 분별 정출작용과 지각 물질이 동화되면서 진화된 후, 분출하였다.

핵심어: 대전사 현무암, 페페라이트, 칼크-알칼리현무암

서 언

경상분지 발달 초기, 즉 백악기 초에 쿨라판(Kula plate)의 북서 부분인 이자나기판(Izanagi plate)은 북서쪽으로 이동하여, 경상분지를 포함하는 유라시아 대륙의 동변부를 따라서 발달된 북북동-남남서 방향의 해구에서 대륙판 아래로 일본열도 동남쪽에 연하여 섭입되었다. 그리고, 90-80 Ma 경에는 쿨라/태평양 해령이 동 해구에 도달하여 섭입되었다 (Uyeda & Miyashiro, 1974, Hilde *et al.*, 1977). 경상분지는 분지 발달의 전기-중기(110-85 Ma) 동안에 이자나기판이 해구에서 사각 섭입(oblique subduction)된 후, 85 Ma(쿨라/태평양 해령의 해구 도달)에서 백악기 말까지 태평양판은 해구에 직각으로 섭입되어 형성되었다(Otsuki, 1992). 이 섭입 작용으로, 백악기 후기 경상분지에서는 여러 번의 화산작용이 일어났다. 이들 화산작용에 따른 화산암류는 유천층군(김상욱과 이영길, 1981)으로 대표되며 뒤따라 불국사 판입암류가 수반되고, 화산 중심

지가 밀집됨에 따라서 지역적으로 분리되어 여러 개의 화산암 분포지를 형성하고 있다.

영양소분지 동남부에 해당하는 청송군, 영덕군, 영일군이 맞닿는 지역에도 화산암류가 넓게 분포하여 한 덩어리의 화산암 분포지를 이루고 있다. 이 지역에서 대표적인 주왕산 화산암체를 구성하는 화산암류는 크게 4개의 화산암층, 최하부층인 현무암질 안산암 용암, 그 위에 얇은 두께의 라필리 응회암층, 이를 피복하는 두꺼운 용결 회류응회암층, 그리고 최상부의 라필리응회암층으로 기재되어 있다(윤성효, 1996). 이후, 황상구(1998)는 주왕산 일대의 암층 분류 작업을 토대로 주왕산 화산암체를 6개의 화산암층-최하부 대전사 현무암, 입봉 안산암, 지품 화산층, 주왕산 응회암, 너구동층, 무포산 응회암-으로 분류하였다.

본 연구에서는 주왕산 화산암체 중에서 최하부 염기성 화산암류인 대전사 현무암을 주 연구 대상으로 다루고자 한다. 이에 관한 선행 연구는 단지 안동도폭과 1998년 대한 지질학회 춘계 학술답사

자료집(황상구, 1998), 주왕산응회암의 화산학적 연구(황상구 외, 1998)에 암상 기재만이 되어 있으며, 암석 화학적 특징은 안동도폭 내의 많은 화산암체들에 대한 개괄적인 특징만이 나열(윤성호, 1996)되어 있을 뿐이다. 이처럼, 본 연구 지역의 염기성 화산암류에 대한 산출 상태 및 암상에 따른 암석학적 연구는 현재까지 미비한 상태이다.

이에, 본 연구에서는 야외지질 조사를 통하여 대전사 현무암의 산출 상태 및 분포 양상을 검토하고, 현무암질 용암의 암석 화학적 특징과 그에 따른 암석 성인 및 구조적 위치를 알아보고자 한다.

지질개설

본 연구의 대상인 대전사 현무암이 분포하는 청송 주왕산 일대는 경상북도 청송군 동부와 영덕군 서부에 위치하며, 1974년도에 국립 공원으로 지정된 곳이다. 이 일대는 백악기 유천층군의 여러 암층과 관입암이 분포하고 있으며, 동부에서 남북 방향으로 지나가는 양산단층이 접하고 있다. 주왕산 일대의 일반화된 지질도는 Fig. 1과 같다. 영양소분지 남부 주왕산 일대는 화산암류가 넓게 분포하는 하나의 큰 화산암체를 이루고 있으며, 화산암체의 기반을 이루고 있는 퇴적암층은 경사가 주왕산체를 향해 경사진 분지상의 구조를 나타내며, 화산암층에 의해 피복된다. 주왕산 화산암체는 하부에 현무암질과 안산암질 용암과 응회암으로 구성되어 있으며, 중부와 상부는 대부분 유문암질과 테사이트질 화쇄류에 의한 큰 용적의 응회암들로 구성된다. 그러나, 중부와 상부에서 이 응회암들 사이에는 안산암질 용암층과 퇴적암층이 협재되어 있다. 그리고, 이 화산암류들은 여러 곳의 분출 중심에서 유래되었으며 염기성 화산암류는 측방 분포가 제한적이어서 국지적인 분출 중심지에서 나왔음을 지시하고, 산성 화산암류는 일반적으로 측방으로 넓게 퍼져 있고 큰 용적으로 두꺼우며 여러 개의 분출 중심지에서 나왔음을 알 수 있다.

이처럼, 주왕산 화산암체를 이루고 있는 화산암들은 암질 차이와 화산 중심지에 따라서 분류가 되며, 이들의 층서적인 관계는 Fig. 1과 같다. 하부로 부터 대전사 현무암, 입봉 안산암, 지품 화산층, 내연산 응회암, 주왕산 응회암, 너구동층, 무포산 응회암 순으로 놓이고, 안산암 관입체와 유문암 관입체, 석영 몬조니암과 규장암이 여러 곳에 관입되어 있다 (황상구, 1998).

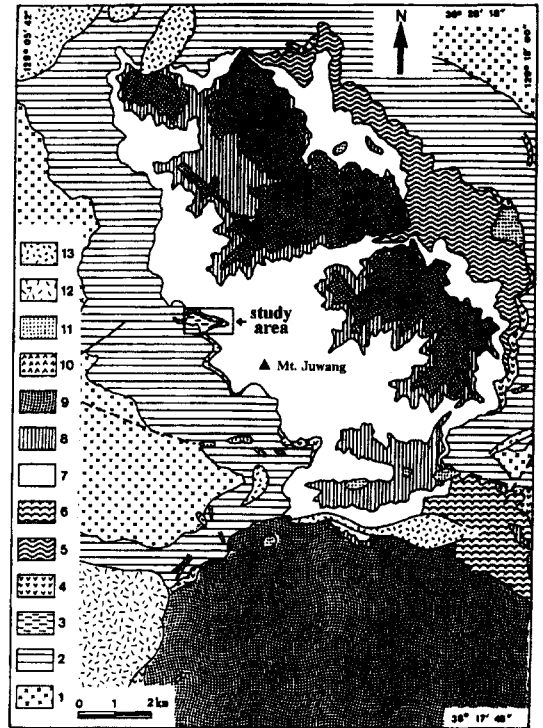


Fig. 1. Generalized geologic map of Mt. Juwang area(Hwang, 1989). 1, Jurassic granitic rocks; 2, Cretaceous sedimentary rocks; 3, Daejeonsa Basalt; 4, Ipbong Andesite; 5, Jipum Volcanic Formation; 6, Naeyeonsan Tuff; 7, Juwangsan Tuff; 8, Neogudong Formation; 9, Muposan Tuff; 10, andesite intrusion; 11, rhyolite intrusion; 12, granite; 13, felsite.

암석기재

주왕산 화산암류 중에서 최하부 염기성 화산암층으로 분류되는 대전사 현무암은 주왕산 국립공원 입구에 자리하는 대전사에서 동쪽으로 800 m까지 연속되고 측방으로 북서쪽으로 새질재까지, 그리고 남동쪽으로 부일리 능선까지 길게 연장되어 있다 (Fig. 2).

대전사 현무암은 크게 현무암질 용암과, 이들 용암에 세일이 혼합되어 있는 페페라이트(peperite)로 구성된다. 대전사 현무암층의 용암과 용암사이에 페페라이트가 존재한다는 사실은 기존의 연구와 다른 점으로써, 본 역에서는 전체적으로 12매의 용암과 9매의 페페라이트가 관찰된다. 이 지역에 산출되는 페페라이트는 대부분 그 상부 현무암 사이의 접촉부가 점이적이나 하부의 현무암과 날카로운 접촉관계를 보이기 때문에, 용암이 고화되지 않고 젖은 세

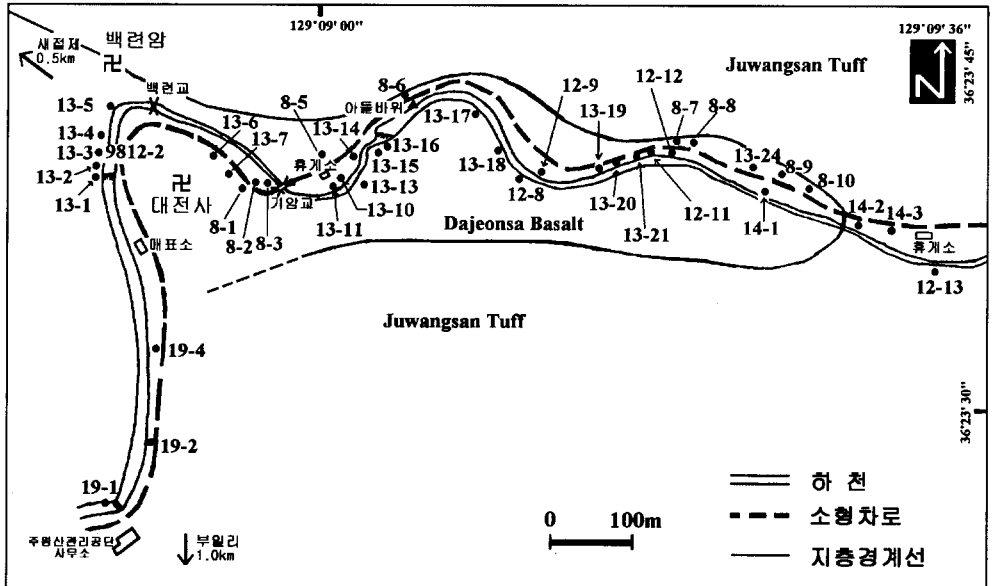


Fig. 2. Map showing sampling sites of study area.

일층 위를 흘러서 용암의 하단 접촉부에서 페페라이트가 형성되었다(Busby-Spera and White, 1987)고 추정된다. 그러나 일부에서는 상부 현무암과의 접촉부가 날카로운 경계를 보이는 경우도 있다. 이러한 경우 대부분의 페페라이트는 현무암의 쇄설과 세일의 쇄설로 구성된다. 이러한 사실은 용암이 세일의 상부를 흘렀으나, 그 용암의 체적이 적어서 퇴적물과 완전하게 혼합이 되었음을 암시한다 (Schmincke, 1967).

대전사 현무암층을 이루고 있는 12개의 현무암들은 노두에서 뚜렷한 차이가 없으며, 현미경하에서도 뚜렷한 차이가 없다. 그러나, 일부 암석에서는 사장석과 단사휘석의 반정이 많이 관찰되기도 한다. 이 지역의 한 단위 용암류의 상층에서는 다공질의 현무암이 발견되기도 하지만 전체적으로 기공이 존재하지 않는 치밀한 현무암이다. 석기는 래스상 사장석과 미립의 휘석, 그리고 불투명 광물로 되어 있으며, 그 외에 이차적인 광물인 석영이나, 방해석들이 간혹 관찰된다. 석기는 인터그래놀라 조직을 보이며, 부분적으로 래스상 사장석 사이를 휘석이 채우고 있는 서브오피틱(subophitic) 조직을 보여 주기도 한다. 현미경하에서 반정(>0.7 mm)과 미반정(0.1-0.7 mm)은 전체 3~10% 정도를 차지하며, 이 중 대부분의 반정 광물은 변질을 받아서 가상으로 존재하는 감람석이다. 감람석은 대부분 적갈색의 이당사이트로 변질되어 있다. 이 외의 반정 광

물로는 사장석, 단사휘석, 그리고 불투명 광물들이 있으며 대부분이 2% 이하이다. 불투명광물은 사장석, 감람석, 단사휘석 내에서 반정으로 존재하기도 하며 주로 미립의 석기를 구성한다. 또한, 변질의 정도가 심할수록 불투명 광물이 석기를 차지하는 비가 크게 나타난다. 사장석 반정, 미반정, 석기는 $An_{44.3-74.5}$ 로 대부분은 라브라도라이트로 분류되나, 일부는 안테신과 바이토우나이트에 해당한다. 단사휘석 미반정과 석기의 평균조성은 $Wo_{41.6}En_{45.1}Fs_{13.3}$ 로서 보통휘석(augite)에 해당한다. 불투명 광물들은 TiO_2 를 3.6~10.3 wt.% 함유하는 티탄자철석(titanomagnetite)과 Ti와 Fe의 함량이 1:1인 티탄철석(ilmenite)으로 구성되어 있다.

암석화학

대전사 현무암의 암석 화학적 특성과 조구조 위치, 및 성인을 밝히기 위해서 채취한 시료중 8개를 선택하여 분석하였다. 시료를 채취한 위치는 Fig. 2에 표시하였다. 이 시료들의 주성분 원소 분석을 위해서, 4개의 시료(12-2a, -9, -11, -12)는 일본 Shimane University의 Rigaku RIX 2000 X-선 형광분석기(XRF)를 이용하여 분석하였으며, 나머지 4개의 시료(13-3a, -19, -20, -24)는 기초과학지연연구소 부산분소의 Philips PW 2400 X-선 형광분광 분석기를 이용하여 분석하였다. FeO 와 Fe_2O_3 로 분리하기

Table 1. Major element abundances (wt.%) and CIPW norm of the basalts in the study area.

Sample	12-2a	12-9	12-11	12-12	13-3a	13-19	13-20	13-24
SiO ₂	50.46	50.28	50.87	51.24	50.54	51.44	48.28	52.68
TiO ₂	1.13	1.15	1.16	1.17	1.19	1.12	1.10	1.15
Al ₂ O ₃	16.62	16.56	16.81	17.11	17.90	17.06	16.08	17.60
Fe ₂ O ₃	4.96	5.62	4.18	5.26	4.07	3.78	3.93	5.45
FeO	3.71	3.41	4.23	3.30	3.74	5.16	4.60	3.35
MnO	0.16	0.14	0.13	0.12	0.13	0.16	0.14	0.12
MgO	7.62	6.18	5.92	5.65	5.48	6.92	6.30	4.82
CaO	9.13	9.76	10.35	9.53	10.86	9.41	9.32	9.98
Na ₂ O	2.92	2.86	2.63	2.57	2.82	3.74	2.81	2.91
K ₂ O	1.13	0.94	0.46	0.70	1.11	0.94	0.92	0.62
P ₂ O ₅	0.35	0.38	0.40	0.40	0.40	0.40	0.38	0.43
LOI	1.96	2.92	4.41	4.41	2.95	1.20	5.32	1.18
Tatal	100.15	100.20	101.55	101.46	101.19	101.33	99.18	100.29
CIPW norm								
Q	1.69	4.58	6.31	8.58	2.71	0.00	1.79	8.97
Or	6.81	5.72	2.80	4.27	6.68	5.55	5.80	3.70
Ab	25.13	24.85	22.88	22.38	24.26	31.57	25.30	24.82
An	29.39	30.36	33.62	34.04	33.45	26.91	30.37	33.38
Diwo	6.12	7.16	7.03	5.13	7.94	7.26	6.90	5.87
Dien	5.05	6.17	5.34	4.42	6.24	5.17	5.07	5.06
Difs	0.30	0.00	0.95	0.00	0.81	1.43	1.17	0.00
Hyen	14.35	9.71	9.89	10.14	7.71	7.08	11.71	7.10
Hyfs	0.86	-	1.76	-	1.00	1.96	2.70	-
Olfo	-	-	-	-	-	3.52	-	-
Olfa	-	-	-	-	-	1.07	-	-
Mt	7.32	8.34	6.24	7.86	6.01	5.47	6.07	7.92
He	-	0.03	-	-	-	-	-	0.04
Il	2.19	2.25	2.27	2.29	2.30	2.13	2.23	2.20
Ap	0.78	0.85	0.90	0.90	0.89	0.87	0.88	0.95
Mg#	67.26	64.44	58.33	63.13	59.44	57.28	57.80	59.00
A.I.	3.19	3.07	2.31	2.33	3.07	3.26	4.16	2.15

A.I.: Alkali index = ((Na₂O+K₂O)/(SiO₂-43) × 0.17)

위해서 습식 분석을 하였다. 미량성분과 희토류원소는 기초과학연구원 연구소 대전본소의 PQ3(VG Elemental, U.K) 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)로 분석하였다. 단, 미량성분 원소중 Sr, Ba, Li, P, Sc, V, Cr, Zn, 그리고 Zr은 ICPS-1000III (Shimadzu, Japan) 유도결합플라즈마 방출분광기(ICP-AES)로 분석하였다.

주성분 원소

연구 지역 현무암류의 주성분 원소 분석 결과와 CIPW 노름-광물은 Table 1과 같다.

야외에서의 암상과 현미경하에서의 광물 구성으로 보아서 현무암으로 분류되는 화산암을 화학적으로 분류, 명명하기 위해서 SiO₂에 대한 Na₂O+K₂O 도(Le Maitre *et al.*, 1989)에 도시해 보았다. 한 시료(13-24)만 현무암질 안산암 영역에 도시되며, 나머지 모든 시료는 현무암 영역에 도시된다(Fig. 3). 그리고, 본 역의 현무암류는 비알칼리 계열의 현무

암류로 분류된다. 비알칼리 계열의 현무암은 고 알루미나질(또는 칼크-알칼리 계열)과 저-K 쉐레이아이트 계열로 나눌 수 있다. 대전사 현무암층에서 화산암류의 SiO₂ 범위가 넓게 나타나면, 이들 계열을 AFM도에 도시하여 쉽게 분류할 수가 있다. 그러나 이 지역에서는 각 암석 계열의 단종(end-member)인 현무암류만이 산출되기 때문에, 이 AFM도를 사용하여 세분하기 어렵다. Wilson(1989)은 쉐레이아이트 계열과 칼크-알칼리 계열의 염기성 단종(basic end-member)에 있어서 가장 중요한 화학적 차이는 Al₂O₃ 함량 차이이며, 칼크-알칼리 현무암과 안산암은 Al₂O₃가 16~20%인 반면에, 쉐레이아이트는 12~16%이라고 언급하고 있다. 이 지역의 현무암류는 Al₂O₃ 함량의 범위에서는 칼크-알칼리 계열로 분류되나, 이를 분명히 하기 위해서, SiO₂에 대한 K₂O 성분도에 도시해 보았다(Fig. 4). 이 성분도는 도호(島弧) 화산암체의 마그마 계열을 저-K(쉐레이아이트), 칼크-알칼리, 그리고 고-K(칼크-알칼리)의 세가지 비알칼리 계열과 알칼리(쇼소나이트, shoshonite)

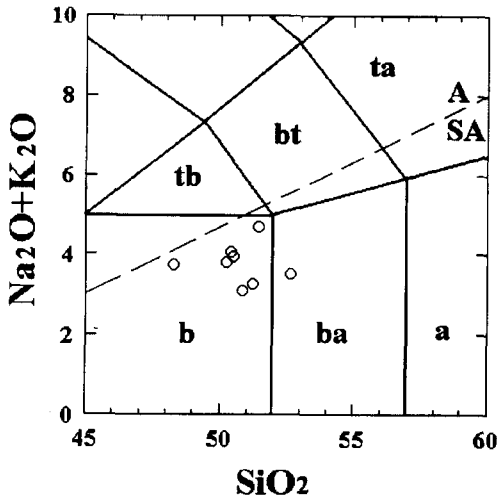


Fig. 3. Total alkalis vs. SiO₂ (wt.%) plot of the basaltic rocks in the study area. [b, basalt; ba, basaltic andesite; a, andesite; tb, trachybasalt; bt, basaltic trachyandesite; ta, trachyandesite] (Le Maitre *et al.*, 1989) The dividing line between alkali (A) and sub-alkalic (SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971).

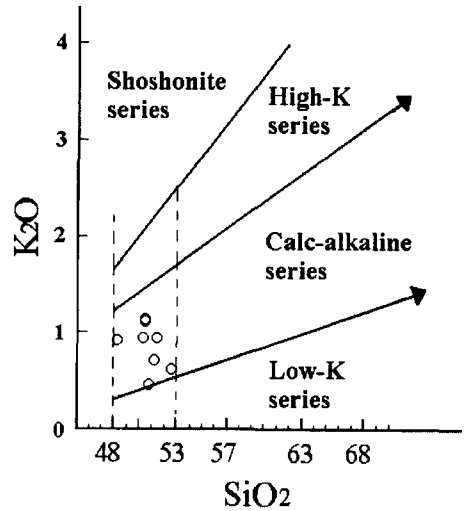


Fig. 4. The subdivision of subalkalic rocks using the K₂O (wt.%) vs. SiO₂ (wt.%) plot of the basaltic rocks in the study. This diagram shows the subdivisions of Le Maitre *et al.*(1989) (the dividing line) and of Rickwood(1989) (nomenclature).

계열로 세분하는데, 이 지역의 현무암류는 칼크-알칼리 계열의 현무암으로 분류된다.

또한, Middlemost(1975)의 Al₂O₃에 대한 Alkali index¹⁾의 성분도에서 이 지역의 현무암류는 몇몇의 시료가 두 현무암 사이의 경계에 도시되지만, 모두 칼크-알칼리 현무암 영역에 도시된다(Fig. 5). 특히 이 현무암류는 노움-광물로써 대부분의 시료가 노움-석영을 함유하며, 13-19 시료만이 노움-감람석을 함유한다(Table 1).

연구 지역 현무암류는 대체로 좁은 지역에 분포를 하고 있지만, 산화물 MgO 함량이 7.6 wt.%에서 4.8 wt.%으로 다소 넓은 성분 범위를 보인다. 주성분 원소의 변화 경향을 알아보기 위해서, 분화 지수로써 MgO를 사용하여 각 산화물에 대한 변화 경향을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 2에는 MgO에 대한 각 산화물들 사이에 경향성 관계 정도를 나타내기 위한 상관 계수(correlation coefficient: r)²⁾와 분산되어 있는 데이터들을 통과하는 가장 잘 맞는 직선(best-fit line)의 기울기와 절편을 계산하여 나타내었다. 이 직선을 계산하

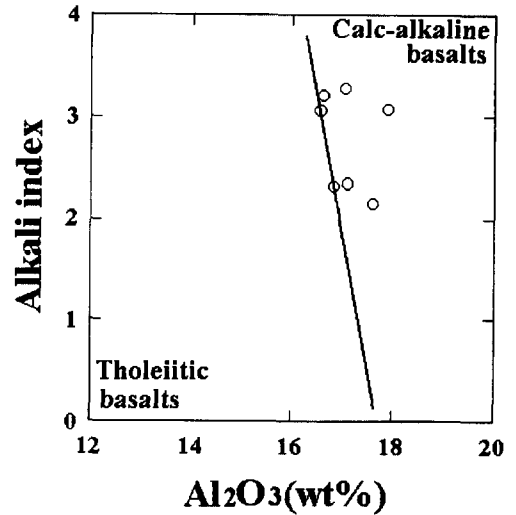


Fig. 5. Classification of tholeiitic and calc-alkaline basalts using the Alkali index(A.I.) vs. Al₂O₃ (wt.%) plot of the basaltic rocks in the study (Middlemost, 1975).

는때 RMA(the Reduced Major Axis technique)³⁾ 방법을 사용한 이유는 Fig. 6의 하커 성분도에 사용된 X와 Y축의 변수 모두 화학적 성분으로써 어느 하나의 변수를 독립 변수로 정하는 데에서 발생할

1) $A.I. = \frac{(Na_2O + K_2O)}{(SiO_2 - 43) \times 0.17}$

2) $r = C / (S_X S_Y)$

C: 공분산 (covariance), S_X: X 변수의 표준편차, S_Y: Y 변수의 표준편차

3) $m_{RMA} = S_Y / S_X$, $b_{RMA} = Y_a - m_{RMA} X_a$
Y_a: Y 변수의 평균, X_a: X 변수의 평균

Table 2. Correlation coefficient and the best-fit line for the diagrams of major oxides (wt.%) vs. SiO₂ (wt.%) of basalt in the study area(Fig. 6).

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
r	-0.4	-0.6	-0.6	0.8	0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.8
mRMA	1.44	0.03	0.67	1.51	0.02	0.67	0.41	0.27	0.03
bRMA	41.95	0.94	12.85	-8.56	0.02	5.71	0.38	-0.82	0.23

r: correlation coefficient. $Y = mR_{MAX} + b_{RMA}$ where mRMA is the slope and bRMA is the intercept of the best-fit line. : the formular for the best-fit line using the reduced major axis technique(RMA).

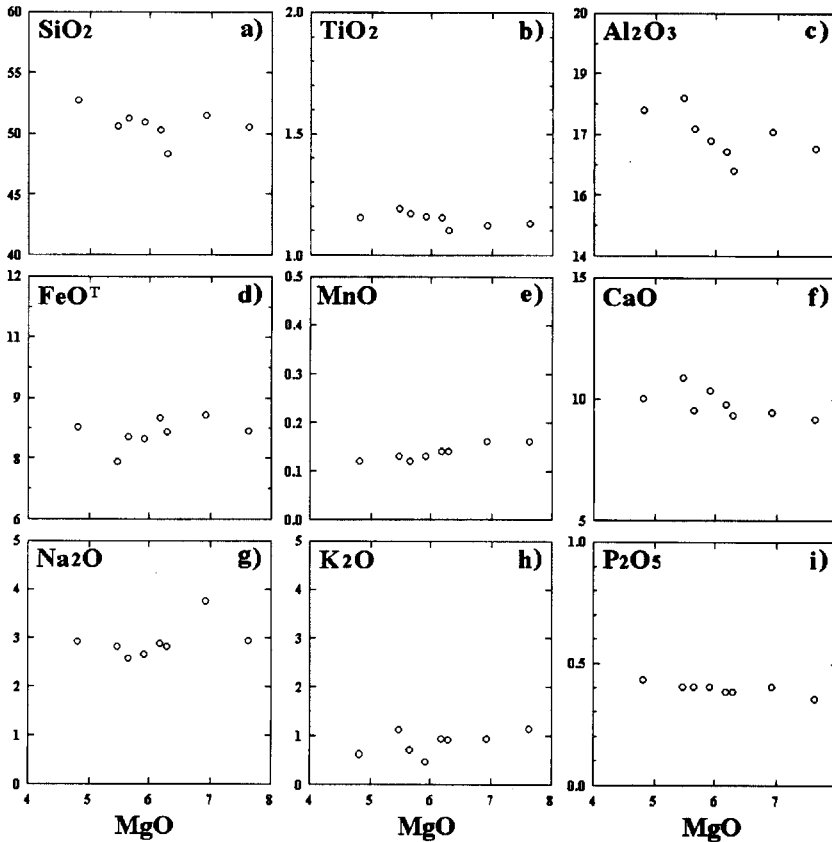


Fig. 6. Harker variation diagrams of major oxides (wt.%) vs. MgO (wt.%) of the basalt in the study area.

수 있는 문제를 해결하기 위해서이다. 그리고, 이 계산에서 얻어진 직선의 기울기를 해석할 때, 한가지 주의할 점은 본 계산을 통해서 얻어진 기울기가 항상 양의 상관 관계를 나타낸다는 것이다. 따라서 기울기를 해석할 때, 상관 계수가 양수이면 기울기가 양수이고, 상관 계수가 음수이면 기울기가 음수라는 것을 생각해야 한다.

MgO의 함량이 7.6 wt.%에서 4.8 wt.%로 감소함에 따라서, FeO^T, MnO, Na₂O, 그리고 K₂O 함량은 양의 상관 관계(positive correlation)를 보이는 반면에, 그 외의 산화물들은 음의 상관 관계(negative

correlation)를 보인다. r의 값은 1에 가까울수록 '두 변수 사이의 관계성이 크다', 즉 '데이터들이 분산되어 있지 않다'고 할 수 있는데, MgO에 대한 SiO₂와 Na₂O의 하커 성분도(Harker diagram)는 r의 값이 0.5이하인 것으로 보아서, 데이터들이 분산되어 있고, 두 산화물 사이의 관계성이 낮다고 해석할 수가 있다. 이와 반대로, FeO^T, MnO, 및 P₂O₅ 함량은 r의 값이 1에 가까운 것으로 보아서 데이터들이 분산되어 있지 않고, 두 산화물 사이의 관계성이 높다고 해석할 수 있다. 이상의 사실을 바탕으로, MgO 함량이 감소함에 따른 주성분 원소의 변화 경향은

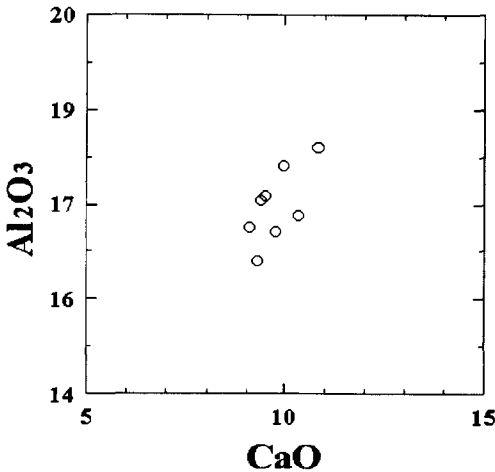


Fig. 7. Harker variation diagram of Al_2O_3 vs. CaO . [r : 0.7, mRMA: 1.1, bRMA: 6.6]

Al_2O_3 (16~18 wt.%)와 CaO (9.1~10.9 wt.%) 함량은 증가하고, MnO (0.12~0.16 wt.%) 함량은 감소함을 알 수가 있다. 이러한 경향성은 주된 정출 광물이 사장석이 아니라, 감람석을 나타내며, FeO^T (7.4~8.7 wt.%) 함량이 감소하는 것은 자철석의 분별 정출이 있었음을 의미한다. 이러한 사실은 Fig. 14의 Al_2O_3 에 대한 CaO 의 하커 성분변화도에서 확실하다. 두 산화물에 대한 상관 계수 r 은 0.7로 1에 가까운 값을 보이며, mRMA가 1.1인 정도의 상관 관

계를 보여준다.

SiO_2 (48~53 wt.%) 함량 역시 FeO^T 의 함량 변화와 마찬가지로 감소하지만, 이 산화물 MgO 와의 관계성이 낮기 때문에($r < 0.5$), 이들의 관계를 분별 결정 작용과 연관시켜서 생각해서는 안된다.

그리고, TiO_2 (1.1~1.2 wt.%)와 P_2O_5 (0.35~0.43 wt.%) 함량은 음의 상관 관계를 보이나, mRMA가 0에 가깝고, K_2O (0.5~1.1 wt.%)와 MnO (0.12~0.16 wt.%) 함량은 양의 상관 관계를 가지기는 하나, mRMA가 역시 거의 0에 가깝기 때문에, 이들 네 개의 산화물은 MgO 함량이 감소함에 따라서 거의 일정한 값을 보인다.

미량원소

연구 지역 현무암류에 대한 미량원소와 희토류원소의 분석 결과는 Table 3과 4와 같으며, 이 지역 현무암류의 미량 원소와 희토류 원소의 패턴은 지판의 섭입과 관련되어 형성된 화산암류의 특징을 잘 나타내고 있다.

호정성(compatible) 미량 원소

페리도타이트 맨틀-현무암 용융물의 마그마 생성계에서 Ni, Cr, Co, Sc, V, 그리고 Cu는 맨틀 광물에 대해 호정성 원소이다. 이 지역의 현무암류에서

Table 3. Trace elements abundances (ppm) of the basalts in the study area.

SAMPLE	12-2a	12-9	12-11	12-12	13-3a	13-19	13-20	13-24
Sr	578	668	659	623	601	662	697	579
Ba	287	322	259	254	278	307	279	219
Li	10.8	8.1	16.7	24.0	25.9	1.7	12.2	37.9
P	1428	1467	1606	1562	1479	1504	1507	1627
Sc	28.6	27.0	25.7	26.0	28.3	26.8	27.2	25.4
V	195	182	181	177	198	187	184	184
Cr	202	185	137	138	210	187	195	134
Zn	75	71	71	70	74	72	74	63
Zr	191	192	213	205	194	201	198	198
Co	51	41	44	49	37	43	47	39
Ni	83	79	68	66	74	86	91	64
Cu	56.6	28.8	39.5	33.0	53.0	42.4	26.9	28.8
Rb	19.4	15.8	4.8	5.9	17.6	15.8	14.4	8.9
Y	22.2	21.9	23.3	22.9	21.7	22.6	22.4	22.2
Nb	7.42	7.82	8.19	8.22	7.66	8.20	7.96	8.20
Mo	0.62	0.73	0.99	0.74	0.66	0.78	0.68	0.75
Cs	1.17	3.12	3.98	1.31	1.03	4.30	4.27	2.61
Hf	3.87	3.71	4.15	3.94	3.93	3.85	3.86	3.61
Ta	0.66	0.73	0.76	0.79	0.71	0.77	0.71	0.71
Pb	7.38	6.68	7.37	7.87	9.98	6.43	6.28	6.14
Th	3.03	2.82	3.00	2.87	3.03	2.93	2.84	2.68
U	0.81	0.72	0.72	0.64	0.81	0.69	0.70	0.68
Ce _N	47.44	49.53	53.50	52.46	47.54	49.95	48.38	51.62
Yb _N	9.56	9.15	9.72	9.68	9.19	9.76	9.23	9.15

Table 4. Rare earth elements abundances (ppm) from the basaltic rocks in the study area.

SAMPLE	12-2a	12-9	12-11	12-12	13-3a	13-19	13-20	13-24
La	21.7	22.4	24.1	23.7	21.4	22.5	22.0	23.1
Ce	45.4	47.4	51.2	50.2	45.5	47.8	46.3	49.4
Pr	6.17	6.41	6.94	6.76	6.12	6.52	6.47	6.82
Nd	25.2	26.2	27.5	27.4	25.2	25.8	25.8	27.0
Sm	5.43	5.54	5.80	5.82	5.47	5.79	5.43	5.78
Eu	1.71	1.73	1.78	1.80	1.75	1.74	1.71	1.70
Gd	5.44	5.52	5.53	5.76	5.40	5.51	5.54	5.54
Tb	0.86	0.84	0.88	0.87	0.84	0.87	0.80	0.85
Dy	4.66	4.65	4.89	4.83	4.71	4.67	4.54	4.83
Ho	0.88	0.87	0.91	0.89	0.89	0.87	0.86	0.86
Er	2.63	2.46	2.69	2.55	2.69	2.56	2.62	2.49
Tm	0.38	0.38	0.39	0.35	0.37	0.38	0.36	0.35
Yb	2.37	2.27	2.41	2.40	2.28	2.42	2.29	2.27
Lu	0.34	0.32	0.36	0.33	0.34	0.33	0.32	0.33
(La/Yb) _N	6.19	6.67	6.76	6.67	6.34	6.28	6.50	6.88
Σ REE	123.2	127.0	135.4	133.7	123.0	127.8	125.0	131.3

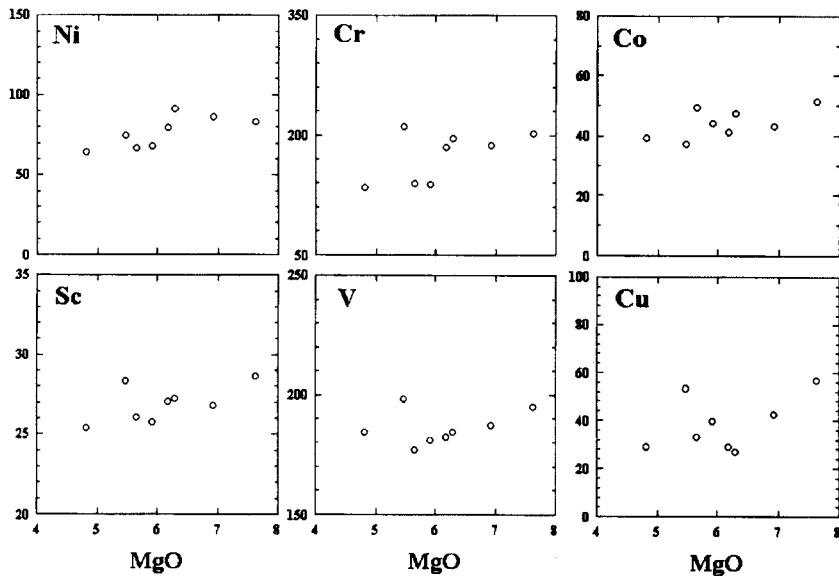


Fig. 8. Harker variation diagrams of compatible elements (ppm) vs. MgO (wt.%) of the basalt in the study area.

Ni 와 Cr은 각각 64~91 ppm(평균 19.4 ppm), 134~210 ppm(평균 43 ppm)으로, 초생 마그마의 Ni, Cr 함량(250~350 ppm Ni and 500~600 ppm Cr; Perfit *et al.*, 1980)에 비해서 낮다. 현무암질 안산암으로 분류되는 13-24 시료의 Ni와 Cr 함량이 가장 낮다.

이 지역 현무암류에서 MgO 함량이 감소함에 따른 호정성 원소의 변화 경향은 Fig. 8과 같이 감소하고, Sc는 25.4~28.6 ppm, Co는 37~51 ppm, V는 181~198 ppm, 그리고 Cu는 26.9~56.6 ppm의

범위를 보여준다.

Table 5에는 현무암질과 현무암질 안산암의 액체에 대한 광물/용액의 치환 계수가 나타나 있다. 여기에서 Ni와 Co는 감람석에 호정적이며, Cr과 Sc는 각각 휘석과 석류석에 호정적이다. 그리고, Sc를 제외한 원소 모두는 자철석에 호정적임을 볼 수 있다. 따라서, 위에서 나타나는 MgO 함량이 감소함에 따라서 호정성 원소들의 함량이 감소하는 것은 이들 광물들의 분별 정출이 있었음을 의미한다.

Table 5. Mineral/melt partition coefficients for basaltic and basaltic andesite liquids (Hugh, 1993).

	Olivine	Orthopyroxene	Clinopyroxene	Garnet	Magnetite
Ni	5.9-29	5	1.5-14	--	29
Co	6.60	2-4	0.5-2.0	0.955	7.4
V	0.06	0.6	1.35	--	26
Cr	0.70	10	34	1.345	153
Sc	0.17	1.2	1.7-3.2	8.500	--

불호정성(incompatible) 미량 원소

페리도타이트 맨틀-현무암 용융물의 마그마 생성 과정에서 Sr, Rb, Ba, Th, Nb, Zr, Hf, 및 Y 등은 불호정성 원소이다. 이 지역 현무암류에 나타나는 불호정성 미량 원소의 변화 경향을 알아보기 위해서 평균 MORB(Mid-Ocean Ridge Basalt)값 (Pearce *et al.*, 1981)으로 표준화한 거미그림(spider diagram)을 Fig. 9에 나타내었다. 이 그림에는 부분 용융이나 분별결정화 작용 동안 일어나는 모든 불호정성 원소의 거동이 도시되어 있으며, 예외로 Sr, Y와 Yb, Ti는 각각 사장석, 석류석, 자철석에 호정적인 원소들이다. 이들 원소의 배열은 함수 유체(aqueous fluids)에 대한 유동성과 불호정성의 순서대로 배열되어 있다. 이동성 원소(mobile element)인 Sr, K, Rb, 그리고 Ba는 왼쪽에서 오른쪽으로 불호정성이 증가하는 순으로 배열되어 있다. 그 외의 비이동성 원소(immobile element)는 오른쪽에서 왼쪽으로 불호정성이 증가하는 순서로 배열되어 있다 (Pearce, 1983).

이 그림에서 이 지역의 현무암류는 이온전위가 낮은 원소인 Sr, K, Rb, Ba와 Th의 함량이 다른 원소들이 비해서 상대적으로 높은 값을 가지며 MORB값에 대해서 부화되어 있다. 이러한 경향성은 이들 원소가 함수 유체에 녹기 쉬운 유동 원소로써, 섭입된 슬랩(slab)의 탈수작용으로 생긴 함수 유체에 농집이 되어서 호상 현무암의 근원이 되는 맨틀에 유입이 되었기 때문인 것으로 사료된다. 이에 반해서 이온 전위가 높은 원소 Ta, Ce, P, Zr, Hf, Sm, Y 등의 함량은 상대적으로 낮으며 MORB에 대해서 약간 부화되어 있거나 약간 결핍되어 있으며, 특히 Ti에서 Cr까지의 변화 경향은 MORB값에 대해서 평행하면서 약간 결핍되어 있다. 이와 같이 높은 이온 전위를 가지는 원소들이 상대적으로 낮은 값을 가지는 것은, 이들이 함수 유체에 녹기 어려운 원소로써 탈수작용에 의해 고체상에서 빠져나가기 어렵기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Pearce (1982)는 이러한 경향성은 부분용융의 정도가 높았기 때문이고, 이들 원소들이 잔류 맨틀상(residual

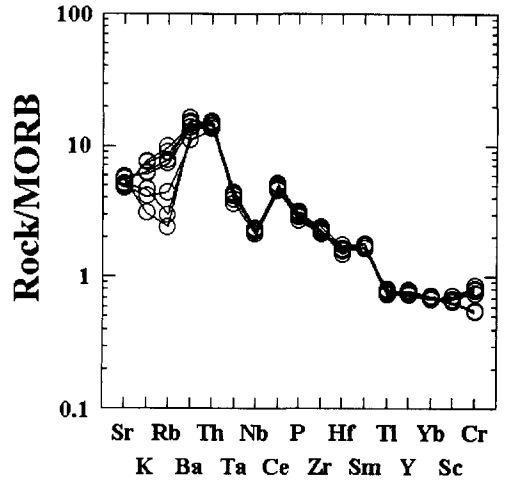


Fig. 9. MORB-normalized trace element patterns for basalts in the study area.

mantle phases)에 안정하기 때문인 것으로 설명하고 있다.

Fig. 9에 이온 전위가 높은 원소 중에서 Ce, P, 그리고 Sm이 MORB에 비해서 약간 부화되어 나타나는 것은 호상열도 암석중에서도 슐레이아이트 계열의 암석에서는 나타나지 않고, 칼크-알칼리 계열의 암석에서만 나타나는 특징이다. 이것은 이들 원소가 함수 유체에 의해서라기 보다는 해양지각 슬랩의 부분 용융에 의해 생긴 규산염 용융체(silicate melt)에 의해서 운반된 것으로 설명할 수 있다 (Hawkesworth and Powell, 1980).

이상의 불호정성 미량원소의 변화 경향들은 지판의 침강 섭입에 관련된 대륙 연변부나 도호 등의 조구조에 관련된 암석들에서 나타나기 쉬운 특징이며(Pearce, 1983), 원소 Nb에서 보여지는 골은 이 지역 칼크-알칼리 계열의 현무암류가 섭입과 연관된 마그마로부터 생성되었음을 강하게 지시한다 (Wilson, 1989).

또한 이러한 특징들은 해양지판의 섭입에 연관하여 대륙연변부에 해당하는 경상분지내의 백악기 화산암류에서 나타나는 일반적인 경향이기도 하다(윤

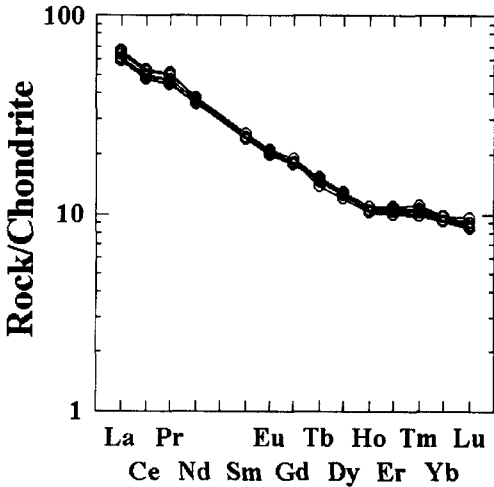


Fig. 10. Chondrite-normalized REE patterns for basalts in the study area.

성효, 1993; 이대성, 1980). 특히, 본 역 현무암류의 모든 시료에서 K, Rb, 및 Cr을 제외한 다른 미량 원소들은 거동이 같다. 그러나 K, Rb, 및 Cr은 함량이 시료 12-11, 12-12, 그리고, 13-24에서 낮게 나타난다. 특히, K와 Rb 함량이 낮은 것은 이들 원소가 합수 유체에 대한 유동성이 강한 원소이므로, 풍화와 같은 2차적인 변질로 인한 것으로 사료된다.

희토류원소

이 지역 현무암류의 희토류 원소를 콘드라이트값(Sun and McDonough, 1989)으로 표준화한 그림은 Fig. 10에 나타나 있다. 희토류 원소의 총량은 123~135 ppm으로 전체적으로 콘드라이트에 비해서 10배에서 70배 정도 부화되어 있다. 경희토류(LREE) 원소가 중희토류(HREE) 원소에 비해서 부화되어 전체적으로는 음의 기울기를 보이나, Ho부터 Lu까지의 부분은 거의 수평으로 평행하다.

이는 도호 슐레이아이트 현무암에서는 나타나지 않고, 도호의 칼크-알칼리 현무암에서만 나타나는 특징으로(Wilson, 1989), 앞에서 논의가 되었던 사실과도 일치하고 있다.

(La/Yb)_N비는 6.2~6.9이고(Table 4), Fig. 11에서는 이들 비가 MgO의 함량이 감소함에 따라서 점진적으로 증가한다. 이는 분화가 많이 될수록 중희토류 원소에 대한 경희토류 원소의 부화 정도가 심해지지는 것을 보여준다. 경희토류 원소가 부화되어 있는 것은 이 원소들이 이온 전위가 낮은 미량

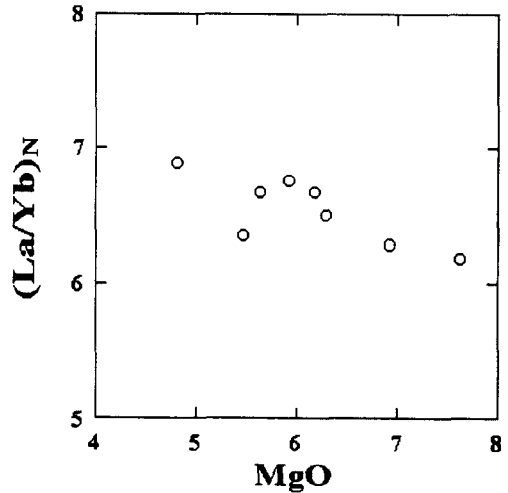


Fig. 11. (La/Yb)_N vs. MgO(wt.%) diagram of the basalts in the study area. The normalizing values are taken from Taylor and McLennan (1985).

원소(Sr, Ba, K 등)들과 마찬가지로 합수 유체에 잘 녹을 수 있기 때문에, 섭입된 암권 슬랩에서 합수 유체 또는 물이 포화된 규산염 용액에 의해서 썩기형 맨틀에 부가되기 때문인 것으로 사료된다. 이와 비교해서, 중희토류 원소가 경희토류 원소에 비해서 상대적으로 결핍되어 있는 것은 현무암질 마그마를 생성시킨 근원이 되는 맨틀에 석류석이 존재함을 지시한다. 이것은 경희토류 원소와 중희토류 원소의 석류석에 대한 광물/용액 치환 계수(Arth, 1976)를 통해서 유추가 가능하다.

조구조적 위치

Ti, Zr, Y, Nb, 그리고 P 등과 같은 이온 전위가 높은 원소들은 상대적으로 합수 유체에 대해서 비유동적이기 때문에, 열수 변성작용이나 해양저 풍화작용, 그리고 중변성도까지의 상태하에서 안정할 수 있다. 이러한 사실에 바탕을 두어서 Pearce and Cann(1971, 1973)은 Ti, Zr, Y, Nb, and Sr 원소가 다른 조구조적 환경에서 분출한 현무암을 구분하는 가장 효과적인 원소임을 언급하였고, 이들 원소를 이용한 많은 분류도를 제안 하였다. 이 지역 현무암류의 조구조적 위치를 알아 보기 위해서 이들이 제시한 Ti/100-Zr-Sr/2 조구조 판별도(Fig. 12a)에 도시해본 결과, 도호 칼크-알칼리 현무암 영역에 도시된다. Wood(1980)은 Pearce and Cann(1971, 1973)과는 달리 비유동 HFS 원소로써 Th, Hf, 그리고

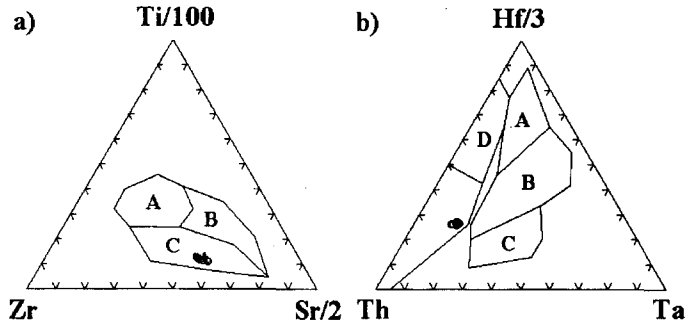


Fig. 12. Tectonomagmatic discrimination diagrams of the basalts in the study area. (a) Ti/100-Zr-Sr/2 diagrams (after Pearce and Cann, 1973). [A, Island-arc tholeiites; B, MORB; C, Island-arc calc-alkaline basalts] (b) Hf/3-Th-Ta diagrams (after Wood, 1980). [A, N-type MORB; B, E-type MORB and tholeiitic within-plate basalts; C, Alkaline within-plate basalts; D, Destructive plate margin basalt] Island-arc tholeiites plot in field D where $Hf/Th > 3.0$ and calc-alkaline basalts plot where $Hf/Th < 3.0$.

Ta를 이용한 조구조적 판별도(Fig. 12b)를 제시하였다. 특히 이 판별도에서 D영역은 $Hf/Th=3.0$ 을 기준으로 원시 호상열도 쏘레이아이트 계열($Hf/Th > 3.0$)과 성숙한 호상열도의 칼크-알칼리 계열($Hf/Th < 3.0$)로 구분된다. 이 지역 현무암류의 화학 성분이 이 판별도에 도시해 본 결과, 지판이 침강 섭입하는 지판 경계부 영역에 도시되며 특히, Hf/Th 비가 3.0이하인 칼크-알칼리 계열로 구분된다. 이것은 Ti/100-Zr-Sr/2 조구조 판별도와 같은 결과를 보이며, 또한 앞서 논의 되었던 불호정성 미량 원소의 변화 경향과 희토류 원소의 변화 경향에 따른 해석과도 잘 일치한다. 이에 덧붙여서 Th/Yb 비의 증가에 따른 La/Yb 비의 증가율에 의한 상관도(Fig. 13)에 따르면 이들 조구조적 위치가 대륙 연변호(continental margin arc)임이 확실하다. 이상의 결과로 이 지역 현무암류의 조구조적 위치는 백악기말 유라시아 대륙판의 동변을 따라 있었던 대륙연변호 칼크-알칼리 화산대 환경 중의 하나였음을 알 수 있다.

암석 성인 고찰

앞서 논의되었던, 암석 기재학적·암석 화학적 특징으로 보아서 이 지역 현무암류는 지판이 침강 섭입하는 대륙 연변호 칼크-알칼리계열 마그마의 특징을 잘 나타내고 있다. 이 지역 현무암을 형성시킨 마그마를 알아보기 위한 Cr에 대한 Y의 상관도(Fig. 14)는 이 지역의 현무암류가 맨틀물질의 직접적인 부분용융의 산물이라기 보다 섭입대 해양지각에서 불호정성 원소가 상부의 맨틀에 공급되어 부화된 후에 약 15% 내외로 부분 용융이 일어나 형성된 현무암질 마그마가 기원임을 나타내준다. 그

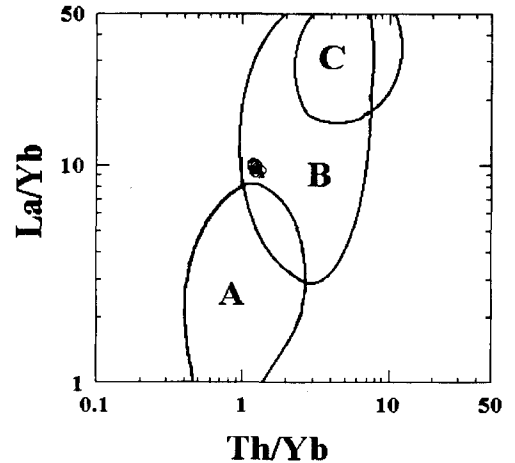


Fig. 13. La/Yb vs. Th/Yb diagram showing arc maturity. [A, Oceanic arc; B, Continental margin arc; C, Andean arc]

러나, Ni와 Cr 함량이 낮은 것으로 보아서 본 역의 현무암류를 형성한 마그마는 초생 마그마(primary magma)가 아니었음을 지시해준다. 따라서, 본 역 현무암류는 맨틀이 부분 용융되어 생성된 현무암질 마그마가 분화가 진행되면서 형성되었음을 생각해 볼 수가 있다.

분화 기구로는 분별 정출작용과 지각 물질의 동화를 생각해 볼 수가 있는데, 현미경하에서 주된 반정 광물로 감람석이 존재하며 Fig. 6과 7에서와 같은 경향성으로 보아 본 현무암류의 생성 과정을 다음과 같이 생각해 볼 수가 있다.

맨틀 물질이 부분 용융되어 초생 마그마가 생성된 후 감람석의 급격한 감소와 사장석과 단사회석에서의 단속적인 결정 분화작용이 일어났다. 그리

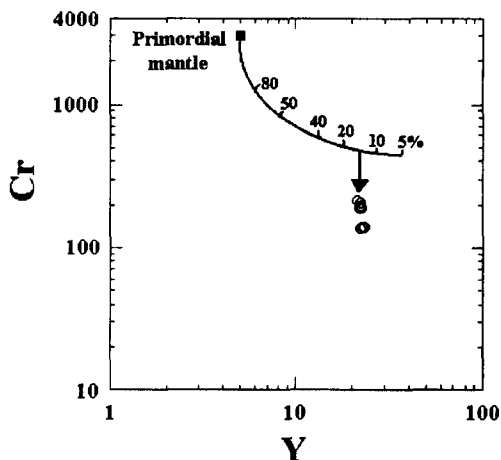


Fig. 14. Cr (ppm) vs. Y (ppm) discrimination diagram showing possible petrogenetic pathway (after Pearce, 1982).

고 마그마가 지표로 분출 직전에 급격하게 온도가 강하함에 따라서 공융점에 도달하여 사장석과 대부분의 단사회석이 정출하게 되면서 기질부를 형성하게 된 것이다.

하지만, 완전하게 위의 과정에 의해서만 이 지역 현무암류의 생성 과정을 설명하는데는 문제점이 있다. Ce와 Yb를 콘드라이트로 표준화한 $(Ce/Yb)_N$ vs. Ce_N 의 상관도(Fig. 15) (Gill, 1981)에서처럼, 이 지역 현무암류가 결정 분화작용만으로 형성되었다면 모든 성분이 그림에 나와있는 4가지의 마그마 분화 경로 및 부분 용융 경로⁴⁾에서 ②번선(분별정출작용선)을 따라서 도시되어야 한다. 그러나 그림에서 보는 것과 같이 모든 성분이 ①번선과 ②번선 사이에 도시되고 있다. 이것은 마그마가 상승하는 도중에 지각 물질의 영향을 많이 받았다는 것을 나타낸다.

따라서, 본 역 현무암류는 해양지판의 섭입이 일어나면서 유체가 공급되어 췌기형 상부맨틀을 구성하는 석류석 감람암이 15% 부분 용융되어 생성된

⁴⁾Line ① 평균 대륙지각으로 추정되는 엠피볼라이트의 $P_{H_2O} = 5Kbar$ 하에서의 부분용융선
Line ②: 췌기형 맨틀을 구성하고 있는 석류석 감람암으로부터 20% 부분용 융되어 형성된 현무암질 마그마의 분화 경로

Line ③ 췌기형의 맨틀을 구성하고 있는 것으로 추측되는 석류석감람암 (감람석 : 사방회석 : 휘석 : 석류석 = 54 : 25 : 15 : 6)의 평형용융을 따르는 성분선

Line ④ 해양지각의 잔유물로 생각되는 석류석에클로자이트의 평형용융에 의한 초생 마그마의 성분선을 나타낸다.

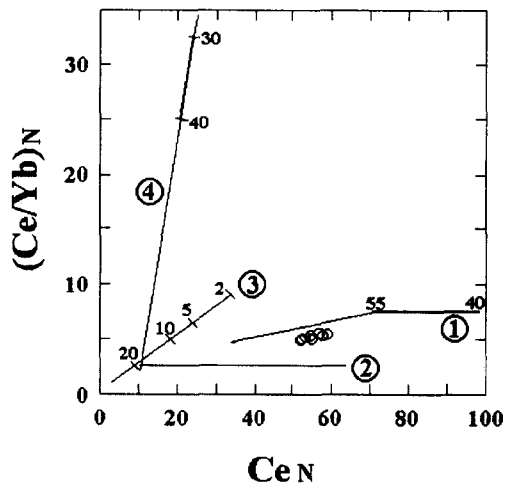


Fig. 15. Relationship between $(Ce/Yb)_N$ and Ce_N (ppm) of the basalts in the study area. [Line ①, Amphibolite fusion; Line ②, Fractional crystallization; Line ③, Peridotite fusion; Line ④, Eclogite fusion]

현무암질 마그마에서 유래하였으며, 분출되기 직전에 주로 감람석의 분별 정출작용과 지각으로 상승하는 도중 지각물질의 동화로 인해서 진화된 현무암질 마그마로 사료된다.

그러나, Fig. 15에서 ①번선에 근접하여 도시되는 것으로 보아 대륙지각물질의 부분용융으로 인하여 현무암질 마그마가 생성되었을 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료된다.

결 론

야외 조사 결과, 주왕산 화산암체의 최하부층에 해당하는 대전사 현무암층은 전체적으로 12매의 용암과 9매의 페페라이트가 교호하며, 각 용암과 페페라이트의 암층의 두께는 다양하다.

현무암류는 육안으로 반정이 관찰되지 않으며 기공이 없는 치밀한 현무암이지만, 한 단위의 용암층 내에서 상부에는 다공질의 현무암이 발견되기도 한다. 경하에서의 현무암류는 주된 반정 광물로 가상의 감람석을 가지며, Mg#이 높은 암석에서는 사장석과 단사회석의 반정도 보인다. 석기는 주로 서브 오피틱 조직을 보이지만, 국지적인 냉각률의 차이로 인한 오피틱 조직과 인터그래놀라 조직도 관찰된다. 감람석의 Mg#은 73~83범위를 보이며, 사장석은 대부분 라브라도라이트이며, 일부 안데신과 바이트우나이트로 분류된다. 단사회석의 평균 조성은 $Wo_{41.6}En_{45.1}Fs_{13.3}$ 으로써 보통회석에 해당한다. 불

투명 광물은 티탄지철석과 티탄철석으로 구성되어 있다.

본 역 현무암의 주성분, 미량성분, 희토류 원소의 화학 분석 결과, 현무암류는 칼크-알칼리 계열에 도시되며, 조구조 판별도에서는 지판이 침강 섭입하는 지판경계부 영역에 도시되고, 특히 Th/Yb에 대한 La/Yb의 상관도에서는 본 현무암류가 대륙연변호 칼크-알칼리 화산대 환경에서 생성되었음을 알 수 있다.

본 역 현무암류의 초생 마그마는 섭입에 따른 유체의 공급으로 썩기형 상부맨틀을 구성하는 석류석 감람암이 약 15% 부분용융되어 생성된 현무암질 마그마에서 유래되었다.

사 사

이 연구를 위해 실내작업을 도와준 부산대학교 대학원 지구과학과 김향수 양과 논문작성에 많은 조언을 주신 경북대학교 이윤종 교수님께 감사드립니다. 투고 논문을 상세하게 읽어 주시고 건설적인 비평과 조언을 주신 황상구 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 김상욱과 이영길, 1981, 유천분지 북동부 백악기 화산암류의 화산암석학 및 지질구조. 광산지질, 14, 35-49.
- 윤성효, 1993, 의성분지 중앙부 금성산 화산암 복합체의 화산활동과 콜드론 구조. 지질학회지, 29(4), 309-323.
- 윤성효, 1996, 1/25만 안동도폭내 화산암 연구. 한국자원연구소, 60p.
- 이대성, 1980, 옥천지향사의 화성활동과 지구조적 연구. 연세논총, 17, 109-137.
- 황상구, 1998, 청송 주왕산 일대의 화산지질, 대한지질학회 '98 춘계학술답사 자료집.
- 황상구, 김상호, 안웅산, 1998, 주왕산옹회암의 화산학적 연구: 희류의 공급지역. 대한지질학회 제53차 학술발표회 초록집, 1-121, 87.
- Arth, J.G., 1976, Behaviour of trace elements during magmatic processes; a summary of theoretical models and their applications. J. Res. U.S. Geol. Surv., 4, 41-47.
- Busby-Spera, C.J. and White, J.D.L., 1987, Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. Bull. Volcanol., 49, 765-775.
- Gill, J.B., 1981, Orogenic andesites and plate tectonics. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 390p.
- Hawkesworth, C.J. and Powell, M., 1980, Magma genesis in the Lesser Antilles island arc. Earth Planet. Sci. Lett. 51, 297-308.
- Hilde, T.W., Uyeda, C.S. and Kroenke, L., 1977, Evolution of the western Pacific and its margin. In: Bonnin, J. and Dietz, R.S.(eds.) Present Status of Plate Tectonics. Tectonophysics, 38, 145-165.
- Hugh, R. Rollinson, 1993, Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman, New York, 352p.
- 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.
- LeMaitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre LeBas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooldey, A.R. and Zanettin, B., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Middlemost, E.A.K., 1975, The basalt clan. Earth Sci. Rev. 11, 337-51-7.
- Otsuki, K., 1992, Oblique subduction, collision of microcontinents and subduction of oceanic ridge: Their implications on the Cretaceous tectonics of Japan. The Island Arc, 1, 51-63.
- Pearce, J.A., 1982, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Andesites: orogenic andesites and related rocks, R.S. Thorpe (ed.). 525-48, Chichester: Wiley.
- Pearce, J.A., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In continental basalts and mantle xenoliths. C.J. Hawkesworth and M.J. Norry (ed.), 230-49, Nantwich: Shiva.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1971, Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr, and Y. Earth Planet. Sci. Lett., 12, 339-349.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth Planet. Sci. Lett., 19, 290-300.
- Pearce, J.A., Alabaster, T., Shelton, A.W. and Searle, M.P., 1981, The Oman ophiolite as a Cretaceous arc-basin complex: evidence and implications. Phil. Trans. R. Soc. A300, 299-300.
- Perfit, M.R., Gust, D.A., Bence, A.E., Arculus, R.J., and Taylor, S.R., 1980, chemical characteristics of island arc basalts: implications for mantle sources. Chem. Geol. 30, 277-56.
- Rickwood, P.C., 1989, Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. Lithos, 22, 247-263.
- Schmincke, H-U, 1967, Fused tuff and peperites in south central Washington. Geo. Soc. Amer. Bull. 78, 319-330.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process. In. Saunders, A.D. and M.J., (eds), Magmatism in ocean basins.

- Geological Society of London special publication, 42, 313-345.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust; its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p.
- Uyeda, D. and Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and the Japanese islands: A synthesis. Geol. Soc. Amer. Bull., 85, 1159-1170.
- Wilson, M., 1989, Igneous petrogenesis. Unwin Hyman, London, 466p.
- 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.

(책임편집: 황상구)

(2000년 4월 10일 접수, 2000년 4월 30일 수리)

Petrochemical study on the Daejeon-sa basalt in the Mt. Juwang area, Cheongsong.

Sung Hyo Yun, Moon Won Lee¹, Jeong Seon Koh, Young La Kim and Ji Young Ahn

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

¹Department of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701 Korea

Abstract: Daejeon-sa basalt in the Mt. Juwang area composed of 12 basalt flows alternate with 9 peperites and each basalt and peperite has the variety of thickness. Peperites yielded in Daejeon-sa basalt are mixed of basalt with reddish shale, of which textural type is globular peperite. Basalts yielded in Daejeon-sa basalt are massive basalt without vesicule, although sometimes vesicules are founded in upper within a flow unit. The basalt has mainly pseudomorph of olivine as phenocryst, and also plagioclase and clinopyroxene phenocryst. Matrix is mainly subophitic texture. The plotting result on the TAS diagram shows these basalts belong to the sub-alkaline, and it can be subdivided into calc-alkaline series on the basis of the diagram of SiO₂ vs. K₂O and of alkali index vs. Al₂O₃ diagram. According to plots of wt.% oxides vs. wt.% MgO, abundances of Al₂O₃ and CaO increase with decreasing MgO while FeO^T decrease. With decreasing MgO compatible elements decrease while incompatible elements increase. In spider diagram of MORB-normalized trace element patterns, HFS elements are nearly similiar with MORB, but LIL elements are enriched. Especially, contents of Ce, P, and Sm are enriched but Nb is depleted. In the chondrite-normalized REE patterns light REEs are enriched than heavy REEs. Tectomagmatic discrimination diagrams shows basalts in the study area are formed in the tectonomagmatic environment of subduction zone under continental margin. This result accord with characters of chemical composition mentioned above. Cr vs. Y diagram and Ce/Yb vs. Ce diagram show that the primary magma of the basalts may formed by the about 15% partial melting of garnet-peridotite in the mantle wedge. After then, Daejeon-sa basalts may formed from evolved magma undergone mainly olivine fractional crystallization and contamination of crustal materials before eruption.

Key words: Daejeon-sa basalt, peperites, calc-alkaline basalts