

교육학석사 학위논문

제주도 지삿개 대포동현무암에 발달한  
주상절리의 형태학 및 암석학적 연구

지도교수 윤 성 호

2005년 2월

부산대학교 교육대학원

지구과학교육전공

홍 현 주

# 홍현주의 교육학석사 학위 논문을 인준함

2004년 12월 17일

심사위원장 이 윤 종



심사위원 길 영 우



심사위원 윤 성 호



## 목 차

List of Table .....	ii
List of Figure .....	iii
서론 .....	1
연구방법 .....	3
지질개요 .....	5
주상절리의 형태학적 연구 .....	8
현무암의 암석기재 .....	17
조암광물의 광물화학 조성 .....	20
1. 사장석 .....	20
2. 감람석 .....	27
3. 단사휘석 .....	31
4. 사방휘석 .....	31
5. 불투명광물 .....	36
광물을 이용한 지온·지압계 .....	41
암석화학적 특징 .....	44
(1) 주성분 원소 .....	44
1) 분류와 명명 .....	44
2) 화학조성의 변화 .....	49
지구조적 위치 .....	51
결론 .....	53
참고문헌 .....	54
Explanation of Plates .....	57
Abstract .....	60

## List of Table

Table 1. K-Ar whole rock age determination of the Daepodong basalt from Jeju Island, Korea. ....	6
Table 2. Modal compositions from the Daepodong basalt. ....	18
Table 3. Representative microprobe analyses of plagioclases from the Daepodong basalt. ....	22
Table 4. Representative microprobe analyses of olivines from the Daepodong basalt. ....	28
Table 5. Representative microprobe analyses of clinopyroxenes from the basaltic rocks. ....	32
Table 6. Representative microprobe analyses of orthopyroxenes from the Daepodong basalt. ....	34
Table 7. Representative microprobe analyses of ilmenites from the basaltic rocks. ....	37
Table 8. Representative microprobe analyses of magnetites from the Daepodong basalt. ....	38
Table 9. Temperature estimation for the Daepodong basalt. ....	42
Table 10. Pressure estimation for the Daepodong basalt. ....	43
Table 11. Major element abundances(wt.%) and CIPW norm from the Daepodong basalt. ....	45

## List of Figure

Fig. 1. Geological map of the Daepodong area. ....	7
Fig. 2. Outcrop of basalt showing columnal joint the Daepodong area. ....	9
Fig. 3. Vertical columns with horizontal bands in the Daepodong basalt. ....	9
Fig. 4. Polygonal column faces of the Daepodong basalt. ....	10
Fig. 5. Column faces showing ball-and socket structure in the Daepodong basalt. ....	10
Fig. 6. (Upper) Basic geometry of columnar joints. Idealized vertical columns with horizontal bands on joint surface. (lower) Diagram of idealized columnar basalt. ....	11
Fig. 7. Frequency(%) of the number of faces to columns of the Daepodong basalt. ....	14
Fig. 8. Frequency of the diameter of columns of the Daepodong basalt. ....	14
Fig. 9. Frequency(number) of the size of the angles between the sides of columns of the Daepodong basalt. ....	15
Fig. 10. Frequency(%) of the face width(cm) of columns of the Daepodong basalt. ....	15
Fig. 11. Or-Ab-An diagram showing plagioclase compositions of the Daepodong basalt. ....	25
Fig. 12. An contents variation diagram from core to margin of plagioclase ...	26
Fig. 13. $Fo(Mg/(Mg+Fe^{+2}))$ vs. $Fa(Fe^{+2}/(Mg+Fe^{+2}))$ in olivine from the Daepodong basalt. ....	30
Fig. 14. Pyroxene compositions of the basaltic rocks. ....	35
Fig. 15. (a) $FeO^T$ (wt.%) vs $TiO_2$ , (b) $Fe_2O_3-FeTiO_3-MnTiO_3$ , (c) Mn contents variation in ilmenites and rocks of the Daepodong basalt. ....	39
Fig. 16. Plots on the iron-titanium oxides in terms of the molecular percent of ulvospinel in the magnetite and $R_2O_3$ in the ilmenite. ....	40
Fig. 17. Total alkali vs. $SiO_2$ (wt.%) (Le Bas et., 1986) plot of the volcanic rocks. ....	46

Fig. 18. $K_2O$ vs. $Na_2O$ (wt.%) plot diagram for the Daepodong basalt. ....	47
Fig. 19. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimension diagram of normative components Ne-Ol-Di-Hy-Qtz. ....	48
Fig. 20. Harker variation diagrams of major oxide (wt.%) vs. MgO (wt.%) of the Daepodong basalt. ....	50
Fig. 21. Tectonic discrimination diagrams of the Daepodong basalt. ....	52

## 서 론

주상절리(柱狀節理: columnar joint)는 고체물질이 부분적으로 평행한 축들을 가지면서 다각형의 단면을 보여주는 기둥모양으로 갈라지는, 서로 연결된 장력에 의한 절리의 네트워크를 보여준다. 이들 절리에 의한 묶여진 기둥은 다양한 물질에서 산출되며, 수 mm에서 수백m에 이른다.

냉각되어 고화된 마그마의 수축은 다양한 성분과 형태의 화산암이나 아화산암(예: 유문암에서 안산암, 현무암을 거쳐 초염기성 용암, 암맥, 암주, 암경 등)에서 큰 종횡비(aspect ratio)를 가진 기둥을 형성한다(Boyod, 1961; Huber and Rinehart, 1967; Barnes et al, 1982). 유문암질 회류응회암의 용결된 부분에서도 길고, 좁은 기둥들이 나타난다(Boyod, 1961). 많은 퇴적암 물질에서도 건조(desiccation)의 결과로 모래와 진흙에서, 그리고 동결된 지표면의 땅에서도 주기적으로 열극이 열었다 녹았다하는 결과로 나타난다. 변성작용과 냉각작용이 결합된 효과로 화강섬록암, 사암, 탄층에서 비교적 큰 종횡비(aspect ratio)를 가지는 기둥이 보고되어져 있다(Spry and Solomon, 1964; Crelling and Dutcher, 1968). 지질학적 물질이 아닌 것(예. 광학용 크라운 유리(crown glass), 암청색 유리 슬래그(smaller slag)에서도 냉각에 의해 만들어지기도 한다(Jackson, 1970).

서귀포시 대포동 해안에는 「지삿개」 또는 「모시기정」 이라고도 불리는 절경지가 있다. 이곳에는 육각형의 돌기둥이 켜켜이 쌓여 우뚝우뚝 솟아있는 돌기둥(주상절리) 사이로 하얀 포말이 부서지는 모습은 한 폭의 그림과도 같으며, 파도가 심하게 일 때는 10m 이상 용솨음치는 장관을 연출하기도 한다. 태고적 신비와 천혜의 경관을 간직한 지삿개 해안은 주상절리가 발달한 곳으로 이곳의 옛 이름인 "지삿개"를 살려 "지삿개바위"로 부른다. 이곳은 약 2km에 이르는 해안에 걸쳐 높이가 30m는 족히 뒹직한 사각형, 오각형 및 육각형 기둥바위가

깎아지른 절벽을 이루고 있다. 지삿개 주상절리는 현재까지 형태학적 (morphological) 연구가 자세하게 이루어지지 않고 있다.

연구지역의 현무암류를 포함하는 광역적인 선행 연구로는 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구(이문원 외, 1994)와 1:50,000 서귀포 하호리 도폭(제주도, 2000), 모슬포·한림도폭(한국자원연구소, 2000) 등이 있다.

지삿개 주상절리를 이루는 현무암의 구성 광물 및 주성분 특성 그리고 현무암 연대등 화산암석학적 연구는 자세하게 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 지삿개 주상절리의 형태학 및 주상절리를 이루는 현무암에 대한 암석학적 연구를 수행하였다.

## 연구 방법

본 연구의 수행을 위하여 야외조사에서는 1:5000 서귀포·하효리 도폭(제주도, 2000)과 모슬포·한림 도폭(한국자원연구소, 2000)을 기초를 하여 1:5000 지형도를 이용하여 야외지질조사를 하였으며, 야외조사를 통하여 연구지역에서의 주상절리에 대해 기본적인 기하(geometry)를 측정하였다.

용암류의 대표적인 신선한 표품을 채취하여 박편 제작후 편광현미경하에서 암석 조직 및 구성광물을 관찰하고 모우드 분석하였다. 모우드 분석시 결정의 크기에 따라 반정(0.7mm이상), 미반정(0.7-0.1mm), 그리고 석기(0.1mm)로 분류하여 암석 기재를 하였다. 광물의 정성정량분석은 한국기초과학지원연구원(KBSI) 대전본소에 설치되어있는 CAMECA SX-50 전자현미분석기(Electron-Probe Micro analyzer)를 이용하여 분석하였다. 시료는 현무암에 반정과 석기로 나타나는 주요 광물인 감람석, 휘석, 사장석, 불투명광물이고, 분할 지점을 정밀하게 선택하여 약 100여점의 분석치를 구하였다. 분석 조건은 조사전류 20nA, 가속전압 15KeV, 빔 직경 1 $\mu$ m, 측정시간 10초이다.

전암 화학분석을 위한 시료의 제작시 오염을 최소화하기 위해 해머만을 사용하여 직경 0.5~1cm가량의 조각으로 만든 다음 육안으로 신선한 것을 택하여 증류수로 완전히 세척하였다. 그 다음 105 $^{\circ}$ C 오븐에서 12시간 이상 건조시켜 암석 조각 표면에 남아있는 물을 제거시킨 후 부산대학교 공동실험실습관 지구환경기기실에 배치되어있는 암석 분쇄기(high-speed vibrating tungsten carbide sample mill: TI-100 model)에서 5분 동안 진동을 주어 분말화하였다. 이들 분말시료는 보다 정확한 분석을 위하여, 아게이트 사발에서 5-10분간 더 갈아서 미세한 분말 시료를 제작하였다. 암석의 화학적 특징을 밝히기 위해 주성분 분석은 부경대학교 공동실험실습관에서 SHIMAZU XRF-1700 X-선 형광분석기를 이용하였다. 주성분 원소의 분석 방법은 전류 30mA, 전압 40KV하에서 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 것이다.

## 지 질 개 요

대포동 주상절리를 구성하는 암석은 이문원 외(1994)에 의해 '녹하지악 휘석 현무암'으로 명명되었으며, 제주도(2000)과 한국자원연구소(2000)의 지질 도폭 (1:50,000)에서는 '대포동조면현무암'으로 기재하고 있으나, 본 연구에서는 화학 성분에 근거하여 '대포동현무암'으로 명명하였으며, 성천포에서 월평동에 이르는 해안을 따라 약 3.5km의 연장 분포를 보이며, 용암류의 상층부는 클린커 (clinker)가 형성되어 거친 표면을 이루고 있고, 클린커내에는 많은 화산탄과 화산암괴를 포함하는 집괴암상을 나타낸다. 대포동 해안가 지삿개 부근에서는 주상절리가 잘 발달하고 있다. 이 주상절리를 이루는 대포동현무암은 중문 북쪽의 녹하지악(鹿下旨岳) 분석구에서 분출하여 남쪽으로 흘러내린 것으로 사료되며, 일부는 인접한 모라이악, 우보악, 성천봉(星川峰) 분석구에서도 소규모로 분출된 것으로 사료된다(Fig. 1.).

이 지역에서 가장 오래된 지층은 군산응회암으로 본 역 서부 수전동 북쪽에 소규모로 노출되어 있다. 본 응회암은 군산조면현무암이 피복하며, 또 후기의 법정동조면현무암에 의해 피복된다. 그 상위의 남성리응회암과 이를 피복하는 서귀포층으로 본역 서쪽 백구천 하류 성천포구 주변에 소규모로 노출되며, 월평동 해안을 따라 그 상위의 정방동조면안산암이 노출되어 있다. 월평동 해안에서는 이들 암층을 월평동역암과 강정동현무암질조면안산암이, 중문동 해안에서는 강정동현무암질조면안산암이 피복하고 있다. 삼천포구에서 백구천 하천 바닥에 보리악조면현무암이 이들 암층을 피복하며 그 상위에 소규모로 성천포역암이 피복한다. 이들 상기의 암층을 대포동현무암이 넓게 피복하며 분포한다. 회수동부근에서는 한라산조면암이, 색달동 서측에서는 법정동조면현무암이 대포동현무암을 피복하여 분포한다. 즉, 대포동현무암은 월평동해안가에서 정방동조면현무암을 피복하며, 중문동에서는 성천포역암을 협재하면서 보리악조면현

무암을 피복한다. 월평동 약천사 북쪽 하천의 서측에는 높은 지형을 이루고 동측에는 강정동현무암질조면안산암이 낮은 지형을 이루고 있다. 회수동 회수교 상단 도로변에서는 각력화된 한라산조면암에 의해 피복되며, 녹하지악 위쪽에서는 법정동조면현무암에 의해 피복된다. 월평동 북쪽에서는 최후기의 만세동산역암이 소규모로 법정동조면현무암을 피복하고 있다. 정방동조면안산암과 강정동현무암질조면안산암, 보리악조면현무암과 대포동현무암 사이에는 각각 원마도가 발달한 역암층인 월평동역암과 성천포역암이 협재되는 것으로부터 이들 용암류의 분출 시기 동안에 상당한 시간 간격이 있었음을 알 수 있다.(Fig. 1)

대포동현무암(시료 S1)에서 해안가의 주상절리를 이루는 암석에 대한 전암 K-Ar연대는  $0.25 \pm 0.04 \text{Ma}$ (Table 1)로 약 25만년전에 녹하지악 분석구에서 분출된 마그마로부터 형성되었음을 지시한다(Table 1).

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

Sample	K(wt.%)	wt(g)	$^{40}\text{Ar}$ radiogenic ( $10^{-8}\text{ccSTP/g}$ )	$^{36}\text{Ar}$ ( $10^{-10}\text{ccSTP/g}$ )	Age(Ma)	Air(%)
1	0.903	0.10048	$0.860 \pm 0.153$	$3.015 \pm 0.033$	$0.25 \pm 0.04$	91.14

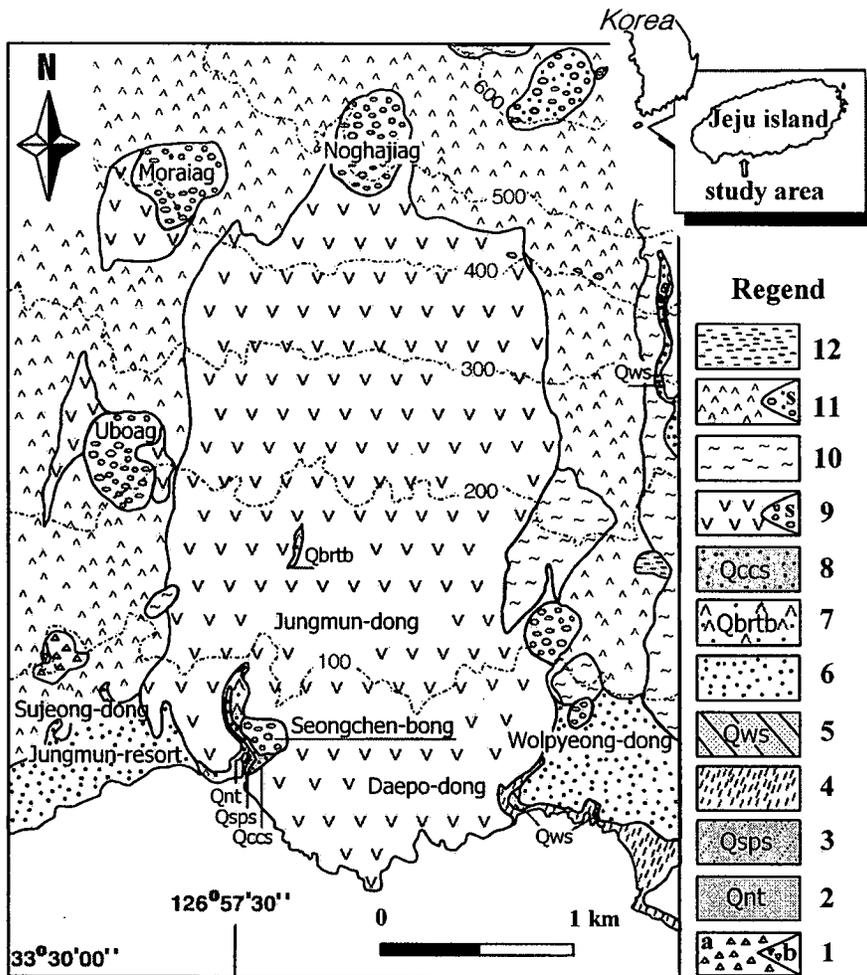


Fig. 1. Geological map of the Daepodong area (modified from Park et al. 2000). [1, (a)Kusan Tuff; and (b)Trachy basalt; 2, Namseongri Tuff; 3, Seogweip Formation; 4, Jeongbangdong Trachyandesite; 5, Weolpeongdong Conglomerate; 6, Kangjeongdong Basaltic Trachyandesite; 7, Boriak Trachybasalt; 8, Seoengcheonpo Conglomerate; 9, Daepodong basalt (S: scoria cone); 10, Hallasan Trachyte; 11, Bubjeongdong Trachybasalt (S: scoria cone); 12, Mansedongsan Conglomerate].

## 주상절리의 형태학적 연구

대포동현무암은 성천포에서 월평동에 이르는 해안을 따라 약 3.5km의 연장 분포를 보이며, 용암의 표면에는 크링커가 형성되어 거친 표면을 보이거나 지상 개 해안절벽 지역에서는 파도에 의하여 침식당해 나타나 있는 용암유동단위(熔岩流動單位: flow unit)의 중간부분을 나타내는 단면에서는 벽화와 같은 주상절리가 잘 발달한다(Fig. 2 & 3).

이러한 주상절리는 용암이 식으면서 기둥모양으로 굳어진 것인데, 기둥의 단면은 다각형(주로 4~6각형)으로 다양한 모습을 보이는 것으로 알려져 있다(Fig. 4 & 5). 유동성이 큰 현무암질 용암류가 냉각될 때, 냉각중인 용암 표면에서 냉각 수축이 일어나는 중심점들이 생기게 되고 이런 중심점들이 고르게 분포하면서 그 점을 중심으로 냉각 수축이 진행된다면 다각형의 규칙적인 균열이 생기게 된다. 이러한 균열들이 현무암의 유동방향에 수직으로 발달하여 현무암 용암층은 수많은 기둥으로 나누어지게 된다. 이들은 용암의 두께, 용암의 온도, 냉각 속도, 냉각율, 열구배 등에 따라 높이 수십m, 지름 수십cm의 다양한 모습으로 발달하게 된다. 일반적으로 현무암 용암에서 발달하는 주상절리는 약 1065°C~900°C 부근에서 액체 마그마에서 고화된 각을 만들면서 급냉하여 형성되는 것으로 알려져 있다(Ault et al., 1962, Peck, 1978).

주상절리를 나타내는 형태학적 요소로는 이상적인 주상절리에서 주상 기둥의 길이( $l$ : column length), 주(柱)의 직경( $d$ : column diameter), 주상절리면의 폭( $w_f$ : column-face width), 용암의 밴드 폭( $w_b$ : band width) 그리고 종횡비(aspect ratio)가 알려져 있다(Fig. 6). Spry(1961)는 이상적인 주상절리를 나타내는 현무암에서 기둥을 상부 콜로네이드(upper colonnade), 엔타블레이춰(Entablature), 하부콜로네이드(lower colonnade)의 3부분으로 구분하였다(Fig. 6). 본 역에서는 상부 콜로네이드 부분이 잘 나타나며, 엔타블레이춰의 발달은 미약하다.

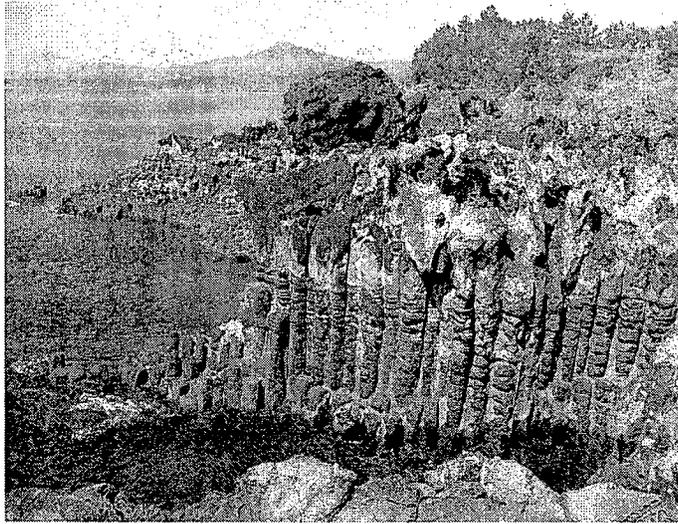


Fig. 2. Outcrop of basalt showing columnal joint the Daepodong basalt.

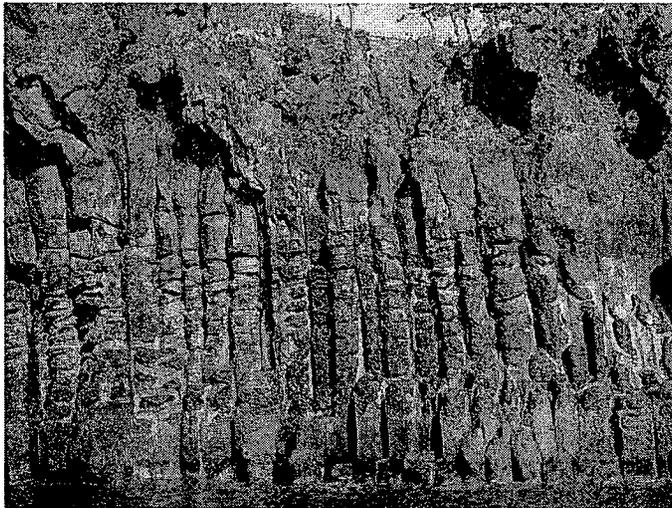


Fig. 3. Vertical columns with horizontal bands in the Daepodong basalt.



Fig. 4. Polygonal column faces of the Daepodong basalt.



Fig. 5. Column faces showing ball-and socket structure in the Daepodong basalt.

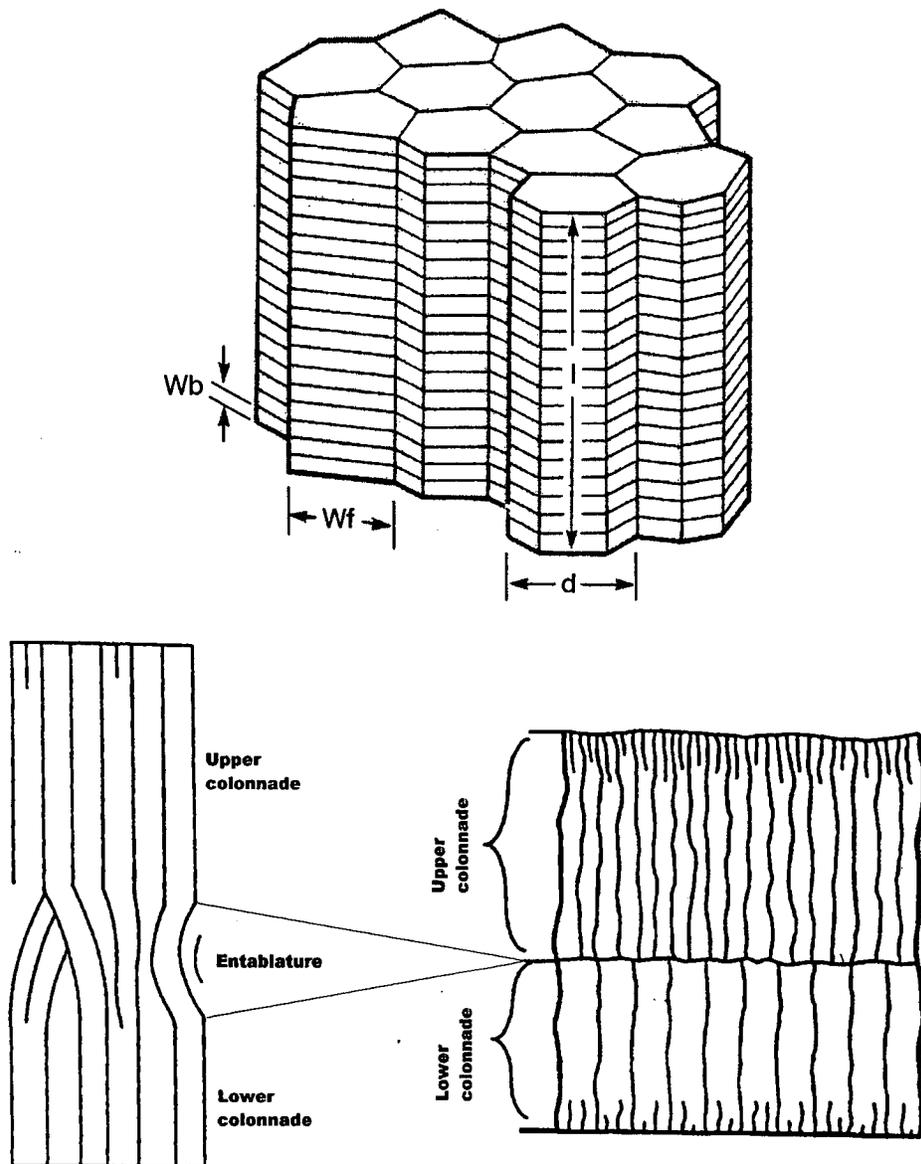


Fig 6. (Upper) Basic geometry of columnar joints. Idealized vertical columns with horizontal bands on joint surface. Symbols represent column length( $l$ ), column diameter( $d$ ), column-face width( $Wf$ ), band width( $Wb$ ), aspect ratio( $l/d$ ).(lower) Diagram of idealized columnar basalt(after Spry, 1961; Grossenbacher et al., 1995).

대포동 지상개 주상절리대에서 주상절리의 크기를 나타내는 주상 기둥의 길이(I)는 해안절벽에서 20m 내외로 발달하며, 상부에서 하부에 이르기까지 깨끗한 주상절리의 단면을 볼 수 있다. 해식애를 따라 발달한 주상절리는 기둥의 상부에서는 수평의 판상절리가 우세하며 하부로 가면서 수직인 면에서 수직 주상절리들이 서로 인접하여 밀접하게 붙어서 마치 조각품과 같은 모습을 나타낸다.

주상절리의 수평면상에서 다각형의 다면체들이 기하학적으로 연계되어 잘 발달하며, 측정 분석 결과 육각형(약 40%), 오각형(33%), 칠각형(19%), 팔각형(6%), 사각형(2%) 등으로 육각형의 육면체 주상절리가 가장 우세하게 발달하여 있다(Fig. 7).

주의 직경(column diameter)의 최대 값은 205m에 달하며 130~139cm(33%), 120~129cm(18%), 110~119cm(12%), 150~159cm(11%), 140~149cm(10%)이며, 그 외 100~109m(7%), 160~169cm(3%), 180~189cm(2%), 200~209cm(%), 170~179cm(1%), 190~199cm(1%)로 산출된다(Fig. 8).

주상절리 기둥의 폭 즉, 최대면 길이(column-face width)는 90~99cm(28%)로 가장 우세하고, 80~89cm(20%), 70~79cm(12%), 110~119cm(1%), 100~109cm(19%)로 우세한 편이며, 그 외 60~69cm(6%), 130~139cm(1%), 170~179cm(1%)로 나타났다. (Fig. 9)

주상절리의 수직 절리면에 직각인 유동방향에서 관찰 가능한 유동 용암 띠(stria)(Ryan and Sammis, 1978)의 폭(band-width)은 최소 2~3cm에서 최대 십수 cm에 달한다.

주상절리의 단면에서 서로 인접한 다각형 사이에 이루는 사이 각이 120°인 것은 전형적인 'Y'자형의 절리가 발달하고, 최대 사이 각이 150° 이상인 것은 '굽어진 T'자형, 180°에 가까운 것은 'T'자형의 절리를 나타낸다. 대포동현무암의 주상절리에서는 120~129°(20%), 110~119°(15%), 130~139°(13%),

140~149°(12%), 90~99°(12%)이며, 그 외 150~159°(6%), 80~89°(3%), 160° 이상(5%)로 나타났다(Fig. 10).

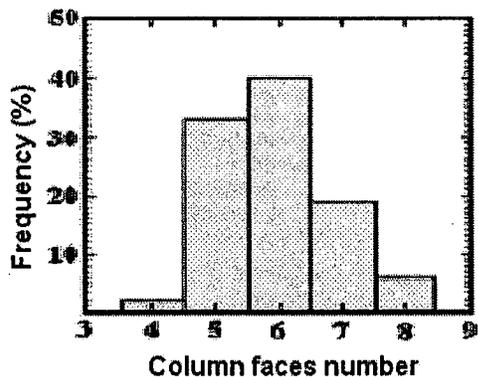


Fig. 7. Frequency(%) of the number of faces to columns of the Daepodong basalt.

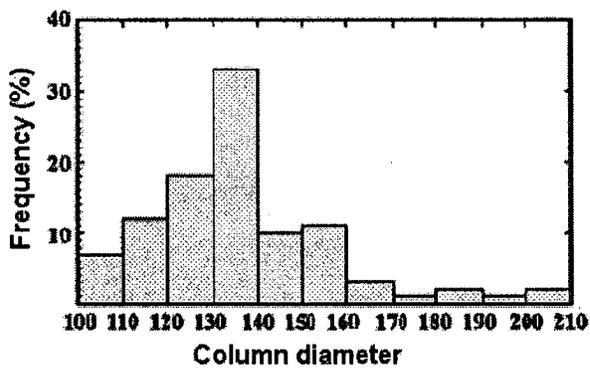


Fig 8. Frequency(%) of the diameter(cm) of columns of the Daepodong basalt.

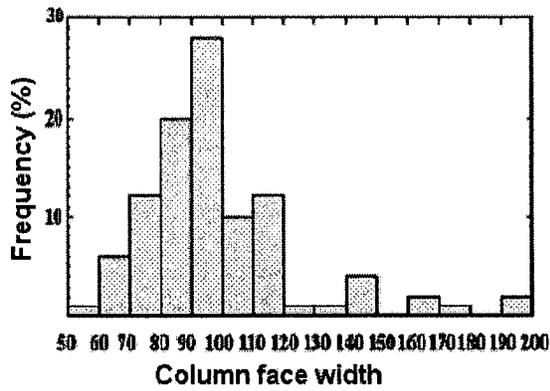


Fig 9. .Frequency(%) of the face width(cm) of columns of the Daepodong basalt.

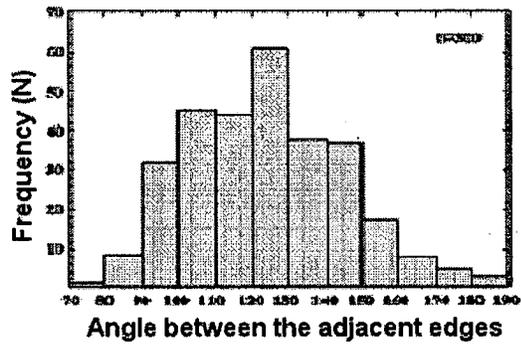


Fig 10. Frequency(number) of the size of the angles between the sides of columns of the Daepodong basalt

또한 해안 가까이의 육각형 또는 오각형의 절리면에 수평인 절단면에서는 절리면을 따라 파도의 침식작용으로 다각형의 주의 가장자리가 침식, 제거되고 중심부가 보다 낮은 지형을 나타내고 중심부에는 현무암이 잔존하여 마치 중절모자 형태의 볼록한 작은 지형 구조(Ball-and-socket structure)을 이루고 있다 (Fig. 5). 이는 2차적인 파도의 침식작용과 주상절리 형성 초기의 열적구배에 기인하는 것으로 해석된다.

대표동현무암 용암이 흐르면서 약 1065℃~900℃ 부근에서 냉각 수축되어 주상절리가 만들어진 후, 용기에 의해 해수면 밖으로 노출되어 강한 파도에 의해 침식되면서 해안절벽을 이루면서 현재와 같은 장관을 연출하게 된 것이다. 해식대에 따라 주상절리가 깨끗하게 발달하고, 부분적으로 주상절리면에 어긋나게 침식당한 부분에서는 다양한 형태의 경관을 나타내고 있다. 절리면에는 침식작용의 결과로 벽화와 같은 모습을 나타내고 있다.

## 현무암의 암석기재

지샷개 주상절리대를 구성하는 대포동현무암에 대한 암석기재는 아래와 같다.

야외조사결과에서 신선한 현무암을 박편으로 제작하여 편광현미경 관찰을 하였으며, 결정의 크기에 따라 반정(0.7mm이상), 미반정(0.7~0.1mm), 그리고 석기(0.1mm 이하)로 분류하여 암석을 기재하고, 정밀한 광물조합과 함량을 알아보기 위해 2000점 모드분석을 실시하였다(Table. 2).

야외에서 암회색을 띠는 대포동현무암은 기공의 함량이 10% 미만으로, 치밀한 석기에 반상조직이 뚜렷하게 나타나며, 시료에 따라 반정과 미반정 광물 및 기공의 함량이 약간씩 차이가 난다.

현미경 관찰 결과, 전체적으로 7~16%의 반정과 70~77%의 석기를 가지는 반상 조직(porphyritic texture)이 나타난다. 반정과 미반정 광물은 주로 사장석, 감람석, 단사휘석이며, 소량의 사방휘석이 반정과 미반정으로 나타나기도 한다. 석기들은 주로 사장석과 감람석, 단사휘석 및 이들을 채우는 불투명 광물들로 구성되어있다. 야외 조사와 현미경적 관찰 결과, 본 연구지역은 시료에 따라 입자의 크기나 광물 함량의 차이 외에 나타나는 조직은 거의 유사하다. 석기 부분은 소량의 유리질이 석기를 이루는 미정질의 사장석, 휘석, 감람석 결정 사이를 채우고 있는 인터서털(intersertal) 조직을 나타낸다(Plate 1 & 2).

반정과 미반정의 사장석은 대개 자형 내지 반자형의 주상형으로 나타나며, 석기는 대부분 주상형으로 나타난다. 반정과 미반정 결정은 대부분 알바이트쌍정(albite twin), 칼스발드-알바이트 쌍정(Carlsbad-albite twin)을 나타낸다. 일부 시료에서는 부분적으로 용식(resorption)되어 있거나 불투명 광물로 채워져 있는 체구조(sieve texture)를 보이는데 (Plate 3) 완전히 용식되어 잔존만이 나타나는 경우도 관찰된다. 사장석은 중심부에서 외곽부로 강에 따라 누대구조 혹은 진

Table 2. Modal compositions of the Daepodong basalt.

Sample No	Ol		Pl		Opx		Cpx		Gm	Ve
	ph	mph	ph	mph	ph	mph	ph	mph		
1	4.8	2.7	7.3	8.2	0.7	0.1	3.0	0.1	69.7	2.8
2	3.2	3.9	10.0	2.7			2.6	0.4	75.3	0.9
3	4.8	4.2	7.0	7.8	1.3	0.1	1.1	0.2	73.2	0.2
4	3.1	2.7	7.8	4.8	1.4	1.2	0.9	0.4	77.3	0.1
5	0.6	2.6	3.5	11.4			4.5	1.4	73.6	2.1

Remarks

Textures in the groundmass of all samples are similar; pilotaxitic, intersertal textures

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

Abbreviations: Ol;olivine, Pl;plagioclase, Opx;orthopyroxene, Cpx;clinopyroxene,

Gm;groundmass, Ve vesicle.

동누대구조(oscillatory zoning)를 보여준다(Plate 4). 석기에 있는 사장석은 알바이트 쌍정을 나타내는 목편상(lath)으로, 감람석 혹은 단사휘석 반정결정 주위로 일정한 방향성을 볼 수 있다.

감람석은 주로 자형과 반자형의 형태의 반정과 미반정 광물과 타형의 석기로 산출된다. 일부 반정은 자형의 외곽구조를 가지는 골격구조(skeletal texture)가 나타나고, 대부분 균열이 발달되어 있으며, 이 균열을 따라 혹은 가장자리를 따라 이딩사이트(iddingsite)화되어 있다. 석기를 이루는 목편상의 사장석 결정들이 감람석 반정 주위를 평행하게 둘러싸는 필로테시틱(pilotaxitic)조직이 나타나기도 한다(Plate 5 & 6).

단사휘석은 반자형의 입상조직 반정(Plate 7)과 0.1~1.4%의 소량의 타형 미반정으로 시료에 나타난다. 드물게 단사휘석의 외곽부가 용식되어 나타나는 경우도 있으며(Plate 8), 직각방향으로 두 방향의 벽개를 보이는 경우도 있다. 석기를 이루고 있는 휘석은 주로 아원형의 결정들로 나타난다.

사방휘석은 일부 시료(시료 1, 3, 4)에 결정면이 발달되어 있지 않는 타형(allotriomorphic)의 반정과 미반정으로 소량 나타난다. 반정의 가장자리를 미립의 단사휘석과 감람석이 둘러싸는 코로나조직(Plate 9 & 10)이 관찰되는데, 자세히 관찰하여 보면, 반정의 사방휘석이 멜트와의 반응에 의해 용융된 불규칙한 외곽부 주위를 단사휘석이 둘러싸고, 그 외곽부를 감람석이 둘러싸고 형태로 관찰된다.

불투명 광물(Fe-Ti 산화광물)은 자철석과 티탄철석으로 대개 미반정과 석기 입자로서 석기를 이루고 있는 감람석, 휘석, 사장석의 간극을 채우는 형태와 시료 S1은 자철석과 적철석이 공존하는 형태로 나타난다(Plate 11).

## 조암광물의 광물화학 조성

본 연구에서 분석된 조암 광물은 사장석, 감람석, 휘석(주로 단사휘석이며, 외래 암편으로 나타나는 사방휘석), 불투명광물이며, 분석된 광물은 Table 3(사장석), Table 4(감람석), Table 5(단사휘석), Table 6(사방휘석), Table 7(티탄철석), Table 8(자철석)에 나타내었다. 누대구조를 가지는 반정은 중심부(core)와 연변부(rim)로 구분하였다.

각 광물의 성분 변화를 알아보기 위해 반정 또는 미반정, 석기에 따라 구분하였으며, 사장석은 Or-Ab-An 단성분 분류도에, 감람석은 Fo(Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)-Fa(Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) 단성분 분류도에, 휘석류는 Wo(CaSiO<sub>3</sub>)-En(MgSiO<sub>3</sub>)-Fs(FeSiO<sub>3</sub>) 단성분 분류도를 이용하였으며, 불투명 광물에 대해서는 각 화학성분과 함께 전암의 화학성분을 이용하여 고찰해보았다.

### 1. 사장석

대표동현무암의 사장석 성분을 Or-Ab-An 삼각도(Fig. 11)에 도시해 보면, 목편상의 석기 사장석과 반정 대부분이 라브라도라이트 영역에 해당하며, 반정은 An<sub>52-64</sub>이며, 석기는 An<sub>58-62</sub>를 나타낸다. 반정의 화학성분은 석기에 비해 넓은 범위의 An 성분을 가지며, 다소 높은 An 함량을 나타낸다.

누대구조를 나타내는 사장석 반정에 대한 An성분 변화를 살펴보면, 시료 S1에서 나타나는 반정의 크기는 약 200 $\mu$ m 정도로 중심부(An<sub>56</sub>)에서 주변부로 갈수록 감소(An<sub>55</sub>)하다가 증가(An<sub>61</sub>)하고, 다시 감소(An<sub>56</sub>)하고 증가(An<sub>61</sub>)하는 진동누대구조(oscillatory zonal structure)를 나타낸다(Table 3: Fig. 12).

시료 S3에서 나타나는 반정의 크기는 약 300 $\mu$ m 정도로, 중심부는 An<sub>57</sub>를, 외곽부는 중심부보다 높은 An<sub>61</sub>와 An<sub>62</sub>를 각각 나타낸다.

시료 S5에서 나타나는 반정의 크기는 약 440 $\mu$ m 정도로, 중심부는 An<sub>52</sub>를,

외곽부는 중심부보다 높은  $An_{60}$ 를 각 나타낸다. 분석된 반정의 An 성분도는 전체적으로 중심보다는 외곽부에서 높은 함량을 나타내고 있다.

Table 3. Representative microprobe analyses of plagioclases from the Daepodong basalt.

Sample.	s1						s2		
No.	7	6	5	4	3	2 - 2	21	20	19
	ph						ph		
	core ←			→ rim			core ←		
SiO <sub>2</sub>	54.47	54.69	52.93	54.17	52.70	52.64	54.09	53.73	53.97
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.07	0.08	0.06	0.14	0.10	0.12	0.10	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.27	28.03	29.31	28.47	28.80	29.07	28.45	28.56	28.46
FeO	0.43	0.56	0.54	0.41	0.75	0.67	0.51	0.46	0.47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.01	0.04	0	0	0	0.01	0.02	0.03
MnO	0	0	0.01	0.01	0	0.05	0	0.03	0.00
MgO	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0
CaO	11.58	11.25	12.50	11.53	12.47	12.26	11.35	11.43	11.66
Na <sub>2</sub> O	4.76	4.97	4.23	4.75	4.13	4.18	4.89	4.87	4.77
K <sub>2</sub> O	0.36	0.35	0.26	0.34	0.32	0.31	0.32	0.33	0.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.21	0.12	0.17	0.20	0.19	0.16	0.15	0.13
Total	100.09	100.15	100.03	99.93	99.51	99.48	99.90	99.67	99.96
O= 8									
Si	2.463	2.471	2.402	2.453	2.407	2.403	2.451	2.442	2.446
Al	1.505	1.491	1.567	1.518	1.549	1.563	1.518	1.529	1.519
Ti	0.003	0.002	0.003	0.002	0.005	0.003	0.004	0.003	0.004
Fe	0.016	0.021	0.021	0.016	0.029	0.026	0.019	0.018	0.018
Mn	0	0	0.001	0	0	0.002	0	0.001	0
Mg	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Ca	0.561	0.545	0.608	0.559	0.610	0.600	0.551	0.557	0.566
Na	0.417	0.435	0.372	0.417	0.366	0.370	0.429	0.429	0.420
K	0.021	0.020	0.015	0.020	0.019	0.018	0.019	0.019	0.020
Ab	41.70	43.50	37.40	41.90	36.80	37.40	42.90	42.70	41.70
An	56.20	54.50	61.10	56.10	61.30	60.70	55.20	55.40	56.30
Or	2.10	2.00	1.50	2.00	1.90	1.80	1.90	1.90	2.00

Total Fe as FeO.

Abbreviations: ph; phenocryst, gm; ground mass.

(To be continue)

Sample.	s2			s3				4s	
No.	19 - 2	18	17	36	38	39	40	48	49
	ph			ph	ph			ph	
	→ rim			core ←	→ rim			rim	core
SiO <sub>2</sub>	53.69	53.80	51.88	53.18	52.76	52.26	51.54	53.78	53.95
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.11	0.15	0.10	0.09	0.08	0.11	0.12	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.48	28.60	29.64	29.19	29.18	29.91	30.07	28.58	28.68
FeO	0.45	0.51	0.68	0.43	0.50	0.47	0.62	0.52	0.44
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.01	0	0.04	0.00	0.04	0.01	0	0.02
MnO	0.02	0.03	0	0.01	0.02	0.00	0	0	0.04
MgO	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0
CaO	11.47	11.74	13.05	11.72	11.70	12.51	12.67	11.42	11.32
Na <sub>2</sub> O	4.76	4.61	3.88	4.70	4.66	4.25	4.13	4.81	4.89
K <sub>2</sub> O	0.33	0.32	0.30	0.35	0.34	0.30	0.27	0.34	0.36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.17	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.19	0.15
Total	99.50	99.90	99.77	99.89	99.42	99.99	99.57	99.76	99.96
O= 8									
Si	2.443	2.440	2.367	2.414	2.407	2.375	2.356	2.441	2.444
Al	1.526	1.528	1.593	1.560	1.568	1.601	1.618	1.528	1.530
Ti	0.004	0.004	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003
Fe	0.017	0.019	0.026	0.016	0.019	0.018	0.024	0.020	0.017
Mn	0.001	0.001	0	0	0.001	0	0	0	0.002
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0.559	0.571	0.638	0.570	0.572	0.609	0.620	0.556	0.549
Na	0.420	0.405	0.344	0.414	0.412	0.374	0.366	0.424	0.430
K	0.019	0.019	0.017	0.020	0.020	0.017	0.016	0.020	0.021
Ab	42.10	40.70	34.40	41.20	41.00	37.40	36.50	42.40	43.00
An	56.00	57.40	63.90	56.80	57.00	60.90	61.90	55.60	54.90
Or	1.90	1.90	1.70	2.00	2.00	1.70	1.60	2.00	2.10

(To be continue)

Sample.	s5							
No.	50	64	62	65	68	69	70	71
	ph	ph		gm	gm	gm	gm	gm
	rim	core	rim					
SiO <sub>2</sub>	54.30	54.28	52.71	52.22	52.79	52.15	52.62	51.98
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.10	0.14	0.14	0.11	0.14	0.10	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.49	28.41	29.55	29.59	28.96	29.36	29.44	29.65
FeO	0.51	0.39	0.69	0.71	0.54	0.79	0.73	0.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0.02	0	0.03	0.01
MnO	0	0	0	0.03	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	11.01	10.70	12.23	12.54	11.95	12.54	12.33	12.53
Na <sub>2</sub> O	4.99	5.25	4.34	4.09	4.39	4.07	4.26	4.17
K <sub>2</sub> O	0.39	0.37	0.35	0.27	0.41	0.28	0.32	0.31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.16	0.14	0.18	0.21	0.16	0.23	0.17
Total	99.93	99.65	100.16	99.76	99.39	99.49	100.07	99.75
O= 8								
Si	2.458	2.462	2.392	2.380	2.410	2.384	2.390	2.372
Al	1.518	1.518	1.579	1.588	1.557	1.581	1.574	1.593
Ti	0.003	0.003	0.005	0.005	0.004	0.005	0.003	0.005
Fe	0.019	0.015	0.026	0.027	0.021	0.030	0.028	0.030
Mn	0	0	0	0.001	0	0	0	0
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0.534	0.520	0.595	0.612	0.585	0.614	0.600	0.613
Na	0.437	0.462	0.382	0.362	0.389	0.361	0.376	0.369
K	0.022	0.021	0.020	0.015	0.024	0.016	0.019	0.018
Ab	44.00	46.10	38.30	36.60	39.00	36.40	37.80	36.90
An	53.80	51.80	59.70	61.90	58.60	62.00	60.30	61.30
Or	2.20	2.10	2.00	1.50	2.40	1.60	1.90	1.80

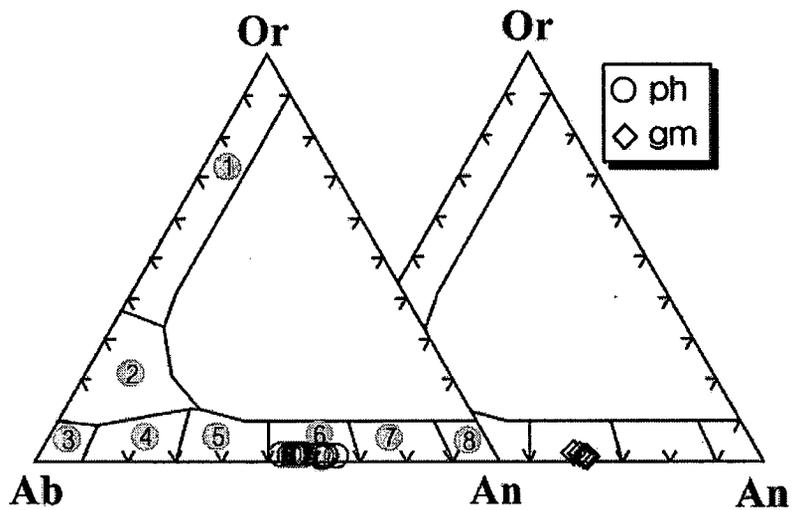


Fig. 11. Or-Ab-An diagram showing plagioclase compositions of the Daepodong basalt. [1; sanidine, 2; anorthoclase, 3; albite, 4; oligoclase, 5; andesine, 6; labradorite, 7; bytownite, 8; anorthite] (Deer et al., 1963). Abbreviations: ph; phenocryst, gm; groundmass.



## 2. 감람석

감람석은 반정과 미반정으로 나타나는 것과 휘석의 반응환을 가지는 것이 관찰된다.

반정으로 나타나는 감람석은 Fo값은 0.78~0.69이며, 미반정의 Fo값은 0.66으로 나타난다(Table 4). 시료 S1은 사방휘석 반응연으로 둘러싸이는 기질부의 작은 감람석은 Fo값은 0.67로 기질의 미반정과 유사한 값을 가진다.

$Mg_2SiO_4$ - $Fe_2SiO_4$ 성분도에서 반정으로 나타나는 것은 chrysolite 영역과 hyalosiderite 영역에 도시되고, 미반정과 휘석 반응환을 가지는 시료는 hyalosiderite 영역에 나타난다(Fig. 13).

Table 4. Representative microprobe analyses of olivines from the Daepodong basalt.

Sample.	s1				s2			s3
	8	9	10	13	22	22-2	26	35
No.	opxr	opxr	opxr	ph	ph	ph	ph	opxr
SiO <sub>2</sub>	36.61	36.84	36.87	38.35	37.95	38.07	37.99	36.83
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0	0.03	0.04	0	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.04	0.06	0.03	0.03	0	0.04
FeO	29.54	29.70	29.55	22.68	22.34	23.77	23.62	30.85
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0	0.02	0	0	0.04	0	0
MnO	0.41	0.46	0.33	0.23	0.26	0.34	0.21	0.51
MgO	33.00	33.12	32.97	38.52	39.01	37.86	37.84	31.66
CaO	0.21	0.19	0.21	0.18	0.20	0.19	0.17	0.25
Na <sub>2</sub> O	0	0	0.03	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.03	0.01	0	0.01	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.03	0.05	0.01	0.02	0	0	0.05
Total	99.88	100.39	100.09	100.07	99.86	100.37	99.86	100.22
(O=4)								
Si	0.990	0.992	0.994	0.998	0.990	0.995	0.996	0.998
Al	0	0	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001
Ti	0.001	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0
Fe	0.668	0.668	0.666	0.494	0.487	0.519	0.518	0.699
Mn	0.009	0.010	0.008	0.005	0.006	0.008	0.005	0.012
Mg	1.331	1.329	1.325	1.495	1.517	1.475	1.479	1.279
Ca	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.007
Na	0	0	0.002	0.001	0.001	0.003	0	0.001
K	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Mg/(Fe+Mg)	0.67	0.67	0.67	0.75	0.76	0.74	0.74	0.65

Total Fe as FeO.

Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst, gm; ground mass, opxr; rim of opx.

( To be continue)

Sample. No.	s3		s4		s5			
	37	41	52	59	60	61	66	67
	ph	ph	ph	ph	ph	mph	ph	
							core	rim
SiO <sub>2</sub>	37.48	37.86	38.63	37.18	38.18	36.92	38.38	38.64
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0	0.02	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.06	0.04	0.02	0.05	0.03	0.05	0.02
FeO	25.16	24.51	20.23	27.69	23.27	29.84	23.00	22.21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0	0.02	0	0	0	0.01	0
MnO	0.22	0.22	0.31	0.35	0.27	0.41	0.19	0.19
MgO	36.52	37.03	40.11	33.99	37.51	32.22	38.32	39.01
CaO	0.18	0.17	0.21	0.18	0.17	0.21	0.17	0.14
Na <sub>2</sub> O	0	0.02	0	0	0.02	0.01	0	0.02
K <sub>2</sub> O	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.06	0.02	0.03	0.02	0	0	0.02
Total	99.71	99.94	99.61	99.45	99.51	99.64	100.12	100.26
(O=4)								
Si	0.992	0.996	0.999	1.000	1.003	1.001	1.000	1.001
Al	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
Ti	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.001
Fe	0.557	0.539	0.438	0.622	0.511	0.677	0.501	0.481
Mn	0.005	0.005	0.007	0.008	0.006	0.009	0.004	0.004
Mg	1.442	1.452	1.547	1.362	1.468	1.303	1.488	1.506
Ca	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.004
Na	0	0.001	0	0	0.001	0	0	0.001
K	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Mg/(Fe+Mg)	0.72	0.73	0.78	0.69	0.74	0.66	0.75	0.76

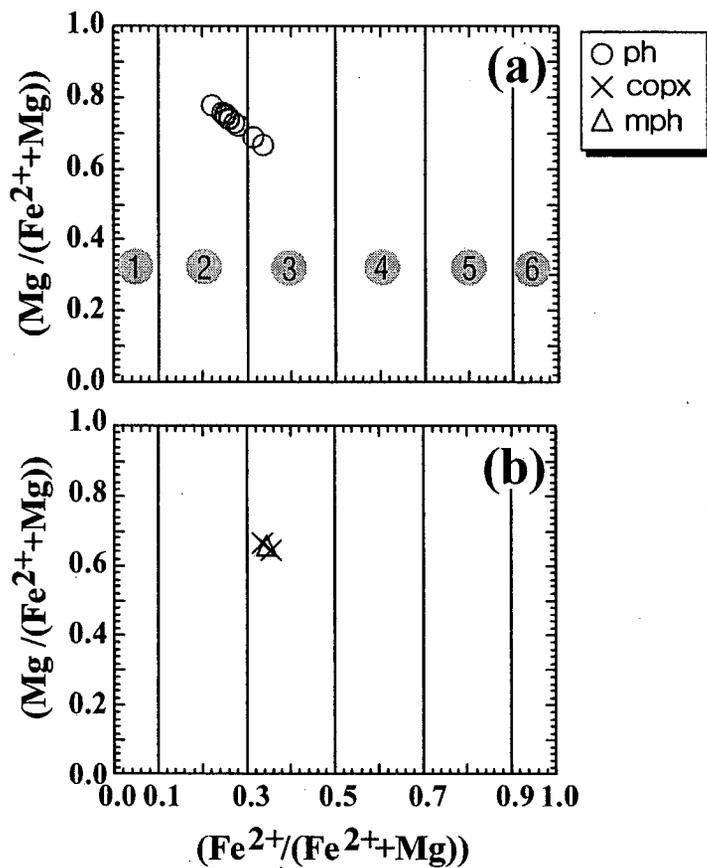


Fig. 13.  $Fo(Mg/(Mg+Fe^{2+}))$  vs.  $Fa(Fe^{2+}/(Mg+Fe^{2+}))$  in olivine from the Daepodong basalt. [1; forsterite, 2; chrysolite, 3; hyalosiderite, 4; hortonolite, 5; ferro-hortonolite, 6; fayalite] (Deer et al., 1963). Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst, cpx; reaction rim around opx phenocryst.

### 3. 단사휘석

단사휘석은 주로 반정으로 나타난다(Table. 5).

반정으로 나타나는 단사휘석은 성분영역이  $Wo_{38-42}En_{41-48}Fs_{13-17}$ 로서 보통휘석(augite)에 해당하고, 사방휘석의 반응연으로 산출되는 것도  $Wo_{40}En_{44}Fs_{16}$ 로 보통휘석(augite) 영역에 도시된다(Fig. 14).

보통휘석의  $TiO_2$  함량은 0.8~1.9wt. %로 나타난다.

### 4. 사방휘석

대포동현무암에 예외적으로 사방휘석 결정이 나타나며, 사방휘석 결정의 성분이  $Wo_{3-5}En_{76-78}Fs_{17-21}$ 로서 브론자이트(bronzite)영역에 해당한다(Table 6: Fig. 14). 이를 현미경으로 자세히 관찰해보면, 사방휘석의 외곽부는 용식에 의해 불규칙하고, 이 외곽부를 작은 결정의 감람석과 휘석이 둘러싼 구조를 나타내고 있다.

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

Sample No.	s1		s2		s3				s4	
	ph		ph	ph	ph	ph	ph		copx	ph
	core	rim				core	rim			
SiO <sub>2</sub>	50.41	47.94	49.10	47.62	49.17	48.63	49.02	50.51	51.37	47.86
TiO <sub>2</sub>	0.78	1.68	1.38	1.72	1.28	1.45	1.31	1.53	1.08	1.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.53	6.83	5.12	6.40	5.70	5.79	5.75	2.15	1.53	5.58
FeO	8.23	8.33	9.17	9.48	8.98	8.97	8.47	9.94	9.56	10.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.26	0.08	0.08	0.09	0.35	0.16	0.00	0.29	0.00
MnO	0.16	0.12	0.19	0.20	0.13	0.18	0.16	0.18	0.21	0.24
MgO	16.35	14.51	15.24	14.23	15.10	15.55	15.04	14.42	15.35	13.73
CaO	17.99	19.17	18.19	18.55	18.54	17.65	18.76	20.48	19.37	19.35
Na <sub>2</sub> O	0.53	0.64	0.57	0.66	0.59	0.61	0.56	0.37	0.45	0.67
K <sub>2</sub> O	0	0	0.01	0	0.03	0	0	0.01	0.02	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.21	0.26	0.27	0.25	0.23	0.26	0.26	0.26	0.24
Total (O=6)	99.66	99.69	99.30	99.20	99.84	99.41	99.48	99.86	99.49	99.35
TSi	1.861	1.777	1.829	1.780	1.820	1.805	1.820	1.891	1.922	1.793
TAI	0.139	0.223	0.171	0.220	0.180	0.195	0.180	0.095	0.067	0.207
TFe <sup>+3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0.014	0.011	0
M1Al	0.057	0.075	0.054	0.062	0.069	0.058	0.072	0	0	0.040
M1Ti	0.022	0.047	0.039	0.048	0.036	0.040	0.037	0.043	0.031	0.046
M1Fe <sup>+3</sup>	0.063	0.093	0.078	0.106	0.080	0.089	0.070	0.049	0.042	0.123
M1Fe <sup>+2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.063	0.024
M1Cr	0.013	0.008	0.002	0.002	0.002	0.010	0.005	0	0.009	0
M1Mg	0.845	0.778	0.827	0.782	0.813	0.802	0.817	0.805	0.856	0.767
M2Mg	0.055	0.024	0.019	0.012	0.020	0.058	0.016	0	0	0
M2Fe <sup>+2</sup>	0.191	0.165	0.207	0.191	0.198	0.190	0.193	0.146	0.184	0.167
M2Mn	0.005	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.005	0.006	0.007	0.007
M2Ca	0.711	0.761	0.726	0.743	0.735	0.702	0.746	0.822	0.776	0.777
M2Na	0.038	0.046	0.041	0.048	0.042	0.044	0.041	0.027	0.033	0.049
M2K	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0.001	0
Wo	32.29	32.99	32.64	32.26	32.70	30.53	33.31	39.78	38.11	34.57
En	48.90	45.18	46.48	44.69	46.04	47.91	45.95	42.31	44.78	43.00
Fs	10.39	9.31	11.39	10.75	10.94	10.57	10.63	13.07	12.87	10.72

total Fe as FeO.

Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst, gm; ground mass, copx; opx reaction rim.

(to be continue).

Sample	s4						s5			
	No.	46	46-2	46-3	47	50-2	51	57	56	55
	ph	ph	ph	ph	ph	ph		ph		
							core	←	→	rim
SiO <sub>2</sub>	49.12	48.41	48.45	48.14	47.53	47.93	48.21	48.18	49.23	
TiO <sub>2</sub>	1.27	1.50	1.58	1.61	1.88	1.85	1.60	1.60	1.21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.26	6.28	6.22	6.30	6.62	6.63	6.91	6.94	5.91	
FeO	8.66	8.05	8.52	8.34	8.62	8.51	8.27	8.22	7.79	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.26	0.22	0.27	0.18	0.22	0.26	0.26	0.28	
MnO	0.18	0.17	0.15	0.20	0.14	0.17	0.11	0.16	0.17	
MgO	15.14	14.54	14.50	14.46	14.25	14.23	14.41	14.62	15.15	
CaO	19.09	19.38	19.38	19.39	19.19	19.05	18.93	18.65	19.02	
Na <sub>2</sub> O	0.53	0.60	0.54	0.55	0.61	0.67	0.70	0.69	0.64	
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01	0	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	0.25	0.22	0.23	0.28	0.30	0.23	0.21	0.24	
Total	99.71	99.43	99.76	99.49	99.33	99.54	99.64	99.54	99.64	
(O=6)										
TSi	1.821	1.799	1.798	1.791	1.773	1.784	1.787	1.786	1.82	
TAI	0.179	0.201	0.202	0.209	0.227	0.216	0.213	0.214	0.18	
TFe <sup>+3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M1Al	0.051	0.074	0.070	0.067	0.064	0.074	0.089	0.089	0.077	
M1Ti	0.035	0.042	0.044	0.045	0.053	0.052	0.045	0.045	0.034	
M1Fe <sup>+3</sup>	0.089	0.077	0.076	0.084	0.096	0.079	0.076	0.076	0.072	
M1Fe <sup>+2</sup>	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0	
M1Cr	0.006	0.008	0.006	0.008	0.005	0.006	0.008	0.008	0.008	
M1Mg	0.819	0.799	0.802	0.796	0.782	0.788	0.782	0.782	0.809	
M2Mg	0.018	0.007	0	0.005	0.011	0.001	0.014	0.026	0.027	
M2Fe <sup>+2</sup>	0.180	0.173	0.186	0.176	0.173	0.186	0.180	0.178	0.169	
M2Mn	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005	
M2Ca	0.758	0.772	0.770	0.773	0.767	0.759	0.752	0.741	0.754	
M2Na	0.038	0.043	0.038	0.040	0.044	0.048	0.050	0.049	0.046	
M2K	0	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0	
Wo	33.95	34.23	34.07	34.04	33.41	33.43	32.88	32.22	33.72	
En	46.15	44.92	44.57	44.78	44.59	44.29	44.76	45.48	46.32	
Fs	9.93	9.66	10.48	9.81	9.72	10.41	10.14	10.03	9.35	

Table 6. Representative microprobe analyses of orthopyroxenes from the Daepodong basalt.

Sample	s1			s3
	10-2	11	12	33
No.	ph	ph	ph	ph
SiO <sub>2</sub>	54.04	54.42	54.37	52.52
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.27	0.25	0.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.20	2.20	1.71	3.73
FeO	11.62	11.83	12.02	13.16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25	0.23	0.21	0.17
MnO	0.21	0.16	0.37	0.17
MgO	28.89	29.09	28.73	27.75
CaO	2.12	2.04	2.07	1.67
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.07	0.07	0.09
K <sub>2</sub> O	0	0	0.02	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.01	0
Total	99.78	100.33	99.82	99.78
(O=6)				
TSi	1.921	1.924	1.937	1.877
TAI	0.079	0.076	0.063	0.123
M1Al	0.013	0.016	0.008	0.034
M1Ti	0.009	0.007	0.007	0.014
M1Fe <sup>+3</sup>	0.046	0.043	0.041	0.061
M1Cr	0.007	0.007	0.006	0.005
M1Mg	0.925	0.927	0.938	0.886
M2Mg	0.607	0.607	0.587	0.592
M2Fe <sup>+2</sup>	0.300	0.307	0.317	0.333
M2Mn	0.006	0.005	0.011	0.005
M2Ca	0.081	0.077	0.079	0.064
M2Na	0.006	0.005	0.005	0.006
M2K	0	0	0.001	0
Sum_cat	4.000	4.000	3.999	4.000
Ca	4.202	4.015	4.084	3.392
Mg	79.837	79.787	78.938	78.639
Fe <sub>2</sub> Mn	15.961	16.198	16.978	17.969
Wo	0.60	0.48	1.17	0
En	79.84	79.78	79.17	76.80
Fs	15.63	15.95	16.45	17.28

Total Fe as FeO. Abbreviations: ph; phenocryst.

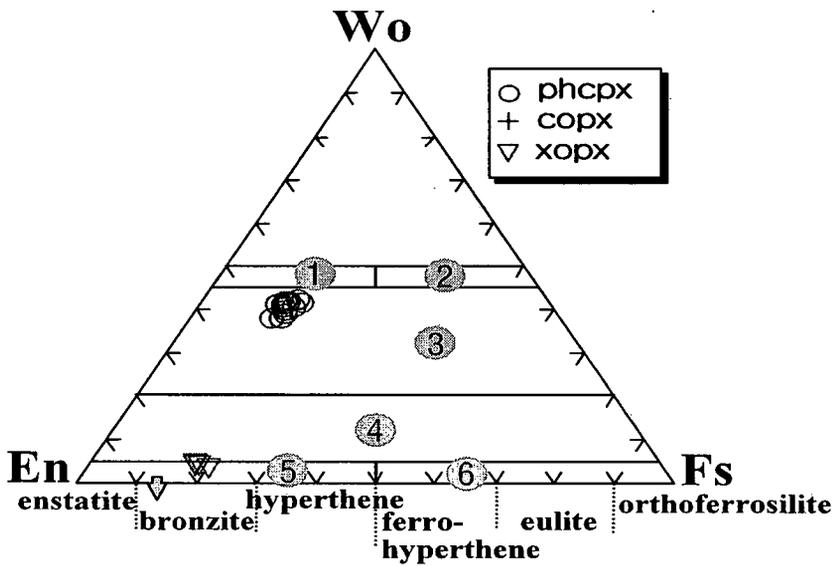


Fig. 14. Pyroxene compositions of the Daepodong basalt. [1; diopside, 2; hedenbergite, 3; augite, 4; pigeonite, 5; enstatite, 6; ferrosillite] (Morimoto, 1989). Abbreviations: phcpx; cpx phenocryst, copx; opx reaction rim, xopx; opx phenocryst.

## 5. 불투명광물

불투명 광물은 티탄철석(ilmenite)과 자철석(magnetite)으로 구성된다(Table 7 & 8).

티탄철석은  $\text{TiO}_2$  함량이 49~50wt.%,  $\text{FeO}^T$ 이 45~46wt.%이며(Fig. 15a),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{FeTiO}_3$ - $\text{MnTiO}_3$  성분도(Fig. 16b)에서  $\text{FeTiO}_3$  성분 영역에 치우쳐 도시되지만,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분(7~10wt.%; Table 7)을 포함하고 있어 산화환경에서 형성되었음을 알 수 있다. 일반적으로 티탄철석에서  $\text{Mn}^{2+}$ 은  $\text{Fe}^{2+}$  보다 산화에 강하므로 산소분압이 증가할수록 Mn이 증가하는 것으로 알려져 있는데(Czamanske and Mihalik, 1972), 본 연구 지역의 암석과 티탄철석에서의 Mn의 함량비는 각각 약 0.007와 0.005로 아주 낮은 값을 나타내고 있다(Fig. 15c). 이로 보아 산소분압이 그다지 크지 않았음을 지시한다고 할 수 있지만, 정확한 해석은 더 많은 자료를 근거해야 알 수 있다.

자철석은  $\text{TiO}_2$  함량이 18~22wt.%으로 다소 높은 함량을 나타내며,  $\text{FeO}^T$ 이 68~71wt.%이다. 울보스피넬(ulvolspinel)의 몰의 함량은 51~61%로 높은 함량을 나타낸다.

시료 S1에서  $\text{Uvo}_{51}$ 인 미반정의 자철석과 공존하는 미반정의 티탄철석(99.4%  $\text{R}_2\text{O}_3$ )의 성분을 Spencer와 Lindsley(1981)의 산소분압-지온계에 적용하면 875°C,  $f_{\text{O}_2}=10^{-12.7}$ 이 구해진다(Fig. 16). 이는 제주 북부 화산암류(박준범, 1994)의 값(870°C,  $f_{\text{O}_2}=10^{-13.5}$ )과 비교해 볼 때 유사한 값을 갖는다.

Table 7. Representative microprobe analyses of ilmenites from the Daepodong basalt.

Sample.	s1		s4	
	2	42	43	
No.	mph	ph	mph	
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.03	
TiO <sub>2</sub>	49.72	50.60	50.16	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	0.09	0.23	
FeO	45.13	45.15	45.13	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.12	0.10	
MnO	0.47	0.52	0.43	
MgO	4.57	3.42	3.78	
CaO	0.03	0.03	0	
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.01	0.02	
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0.00	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.02	
Total	100.42	99.96	99.91	
Recalculation <sup>†</sup>				
MgTiO <sub>3</sub>	13.616	10.190	11.284	
MnTiO <sub>3</sub>	0.989	1.110	0.914	
AnAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.412	0.093	0.234	
FeTiO <sub>3</sub>	76.260	82.130	80.115	
AnFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.023	6.955	7.995	
ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101.3	100.48	100.54	
Hm	19.989	13.865	15.945	
Recalculation <sup>††</sup>				
Mol.% R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.431	6.502	7.503	

Total Fe as FeO. Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst.

Recalculation<sup>†</sup> were made after Anderson(1968).

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

Recalculation<sup>††</sup> were made after Camichael(1967).

Table 8. Representative microprobe analyses of magnetites from the Daepodong basalt.

Sample.	s1		s2		s3		s5	
No.	1	16	27	28	29	53	54	
	mph	mph	ph	mph	mph	ph		
						core	rim	
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.11	0.07	0.09	0.09	0.12	0.08	
TiO <sub>2</sub>	18.95	21.32	21.58	21.58	22.12	18.17	18.69	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.34	2.13	2.56	2.47	2.15	5.66	5.09	
FeO	70.80	70.69	68.74	69.09	68.89	68.29	68.67	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.50	0.62	0.57	0.56	0	0.10	
MnO	0.50	0.48	0.47	0.38	0.44	0.30	0.42	
MgO	3.56	2.96	3.34	3.43	3.04	4.59	4.43	
CaO	0.04	0.01	0.03	0	0	0	0.02	
Na <sub>2</sub> O	0.01	0	0.09	0	0	0.01	0	
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0.03	0	0	0.03	0	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.02	0	0	0	0	
Total	98.36	98.21	97.55	97.62	97.26	97.18	97.49	
Recalculation††								
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.917	26.931	25.496	25.795	24.628	29.500	29.355	
FeO	43.882	46.456	45.796	45.883	46.727	41.750	42.251	
Total	101.255	100.399	99.344	99.636	99.177	100.096	100.339	
Mol. % Usp	50.906	58.635	59.487	59.396	61.357	48.849	50.164	

Total Fe as FeO.

Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst.

Recalculation†† were made after Camichael(1967).

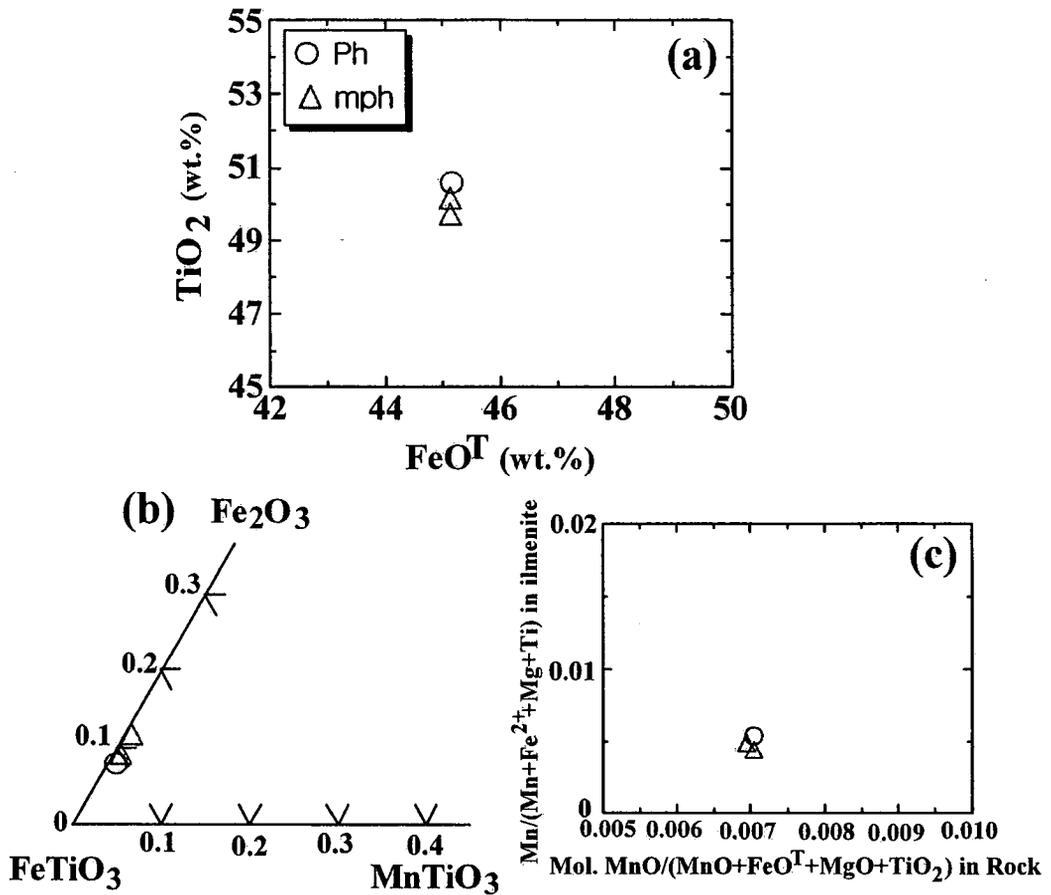


Fig. 15. (a)  $\text{FeO}^{\text{T}}$  (wt.%) vs  $\text{TiO}_2$ , (b)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{FeTiO}_3$ - $\text{MnTiO}_3$ , (c) Mn contents variation in ilmenites and whole rock of the Daepodong basalt. Abbreviations: ph; phenocryst, mph; microphenocryst.

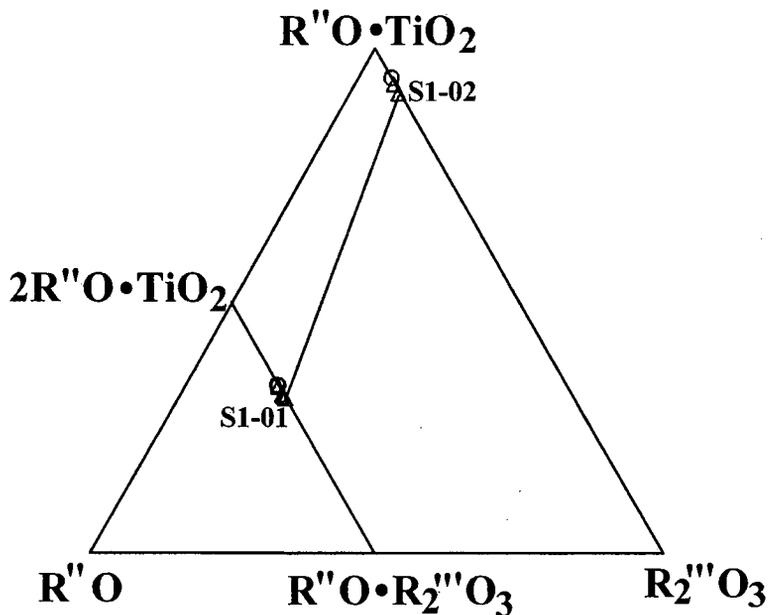


Fig. 16. Plots on the iron-titanium oxides in terms of the molecular percent of ulvospinel in the magnetite and  $R_2O_3$  in the ilmenite after Carmichael (1967).  $R_2O$  represents FeO, MnO, CaO when part of the ulvospinel molecular, but only FeO when part of magnetite molecule.  $R_2O_3$  represent  $Al_2O_3$ ,  $V_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ , and  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  includes the small amount of  $SiO_2$  in the analysis. For S1 and S2, line connects the coexisting iron-titanium oxides. Symbols are the same as those in Fig. 11.

## 광물을 이용한 지온·지압

대포동현무암의 온도를 추정하기 위해서 한 박편 내에 있는 사방휘석과 단사휘석을 Powell & Powell(1974)와 Wood and Banno(1973)의 계산식에 적용하여 온도 값을 구하면, Powell & Powell에 의한 온도 범위는 1010°C~1015°C이고, Wood & Banno(1973)에 의한 값은 1077°C~1145°C의 범위를 나타낸다(Table 9).

또한 압력을 추정하기 위해서 한 박편 내의 단사휘석과 사장석을 이용하여 Ellis(1980)의 계산식에 적용하여 구한 결과, 압력은 10~16kbar의 범위를 나타낸다(Table 10).

이는 일반적으로 현무암 용암에서 발달하는 주상절리가 형성되는 온도가 약 1065°C(Ault et al., 1962, Peck, 1978)라는 값과 큰 차이를 나타내지 않고, 앞서 언급한 공존하는 자철석과 티탄철석의 성분을 Spencer와 Lindsley(1981)의 산소분압-지온계에 적용해서 구한 값(875°C,  $f_{O_2}=10^{-12.7}$ )과 비교해 볼 때, 반정의 휘석과 사장석의 온도 압력이 더 높게 나타나는 것으로 보아 더 깊은 심부에서 먼저 형성되었고, 마그마가 상승하면서 더 낮은 온도·압력에서 불투명광물이 형성되었음을 알 수 있다.

Table 9. Temperature estimation for the Daepodong basalt.

Sample	CPX No.	OPX No.	PPT (°C)	Sample	CPX No.	OPX No.	WBT (°C)
1	15	13	1012.64	1	15	12	1140.90
2	25	26	1013.19	3	15	11	1145.38
	24	26	1013.37		34	33	1077.74
	23	26	1013.31		30	33	1127.05
	25	22	1013.65		31	33	1095.72
	24	22	1013.80	Average			1117.36
3	23	22	1013.78				
	30	37	1012.28				
	31	37	1012.50				
	33	37	1013.48				
4	34	35	1011.28				
	44	41	1013.24				
	46	41	1012.22				
5	21	52	1014.30				
	51	66	1013.43				
	51	60	1013.27				
	51	59	1011.90				
	55	52	1013.39				
	55	59	1010.74				
	55	60	1012.25				
	55	66	1012.43				
	56	59	1011.54				
	56	60	1010.74				
	57	59	1011.70				
	57	60	1013.06				
	Average			1012.70			

Temperatures were calculated by geothermometers of PPT;Powell and Powell, WBT;Wood and Banno(1973)

Abbreviations: Opx;orthopyroxene, Cpx;clinopyroxene.

Table 10. Pressure estimation for the Daepodong basalt.

Sample	CPX No.	PL No.	P (Kbar)	Sample	CPX No.	PL No.	P (Kbar)
1	14	7	15.24	4	47	48	13.23
	15	3	13.93		47	49	13.32
		15	7	13.55	5	51	62
2	23	17	13.80	51		64	14.16
	23	18	13.99	51		68	13.25
	23	19	14.03	51		69	12.80
	23	20	14.05	51		70	13.02
	23	21	14.06	55		62	13.25
	24	17	11.57	55		64	14.31
	24	18	12.55	55		68	13.40
	24	19	12.55	55		69	12.95
	24	20	12.67	55		70	13.17
	24	21	12.70	56		62	13.89
	25	17	12.20	56		64	14.95
	25	18	13.03	56		68	14.04
25	19	13.18	56	69		13.59	
25	20	13.30	56	70		13.81	
25	21	13.33	57	62	13.96		
4	44	48	10.69	57	64	15.03	
	44	49	10.79	57	68	14.11	
	46	48	11.77	57	69	13.66	
	46	49	11.87	57	70	13.88	
Average							13.31

Pressure were calculated by Ellis (1980)

Abbreviations: Pl:plagioclase, Cpx:clinopyroxene.

## 암석화학적 특징

### (1) 주성분 원소

대포동현무암의 주성분 원소 분석 결과와 CIPW 노움값은 Table 11과 같다. 이문원 외(1994) 및 하효리와 모슬포·한림도폭(한국자원연구소, 2000)의 분석 자료와 함께 대포동현무암의 특성을 고찰해 보면 다음과 같다.

#### 1) 분류와 명명

본 연구지역의 화산암의 분류를 TAS분류도(Le Bas et al. 1986)에 적용하였다. 화산암류를 기준으로 의 알칼리-서브 알칼리 계열 구분선 일점쇄선(Irvine and Barager 1971)과 구분선 FG선(Macdonald and Katusura 1964)에 근거하면, 알칼리 계열의 현무암에 도시된다(Fig. 17). 제주도 남사면 일대의 암석들(이문원 외, 1994)은 현무암에서 하와이아이트(조면현무암)와 뮤저라이트(mugearite) 영역에 도시해 보면, 대포동현무암 분포 지역에서 채취된 시료들은  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  함량이 5wt.% 이하로 모두 알칼리현무암 영역에 해당한다.

본 연구지역의 현무암류를  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  다이어그램(Fig. 18)에 도시해 보면, Lee(1982)가 제주도의 알칼리암은 소딕계열의 특징을 가지나 전체적으로 전형적인 포타식 계열인 고프형(Gough trend)과 소딕 계열의 하와이형(Hawaiian trend)의 중간형인 전이적인 경향(정상계열)을 가진다고 보고한 것과 잘 부합된다.

연구 지역의 현무암류에 대한 노움 광물 분석 결과 노움 석영(Q)은 함유하지 않으며, Hyndman(1985)의 Ne-OI-Di-Hy-Qtz diagram(Fig. 19)에 도시한 결과, 감람석, 투휘석, 하이퍼신을 가지는 감람석 쏘레이아이트 즉, 변이질현무암(transitional basalt)에 해당된다.

Table 11. Major element abundances (wt. %) and CIPW norm of the Daepodong basalt.

Sample	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
SiO <sub>2</sub>	48.84	49.07	49.30	49.01	49.11	47.54	49.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.76	15.06	14.91	14.72	14.92	16.61	15.18
TiO <sub>2</sub>	2.62	2.61	2.59	2.63	2.59	3.03	2.41
FeO <sup>T</sup>	21.19	21.08	20.76	21.24	20.76	20.95	20.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	12.75	12.68	12.49	12.78	12.49	12.93	12.45
FeO	9.72	9.67	9.52	9.75	9.52	9.31	8.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.95	1.93	1.91	1.95	1.91	2.59	2.49
MnO	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
MgO	7.07	6.98	6.84	6.70	6.82	4.52	6.16
CaO	8.65	8.75	8.53	8.31	8.70	8.04	8.36
Na <sub>2</sub> O	3.14	3.26	3.26	3.16	3.23	3.29	3.36
K <sub>2</sub> O	1.30	1.37	1.42	1.42	1.38	1.53	1.41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.65	0.56
LOI	-0.46	-0.46	-0.45	-0.09	-0.47	1.24	0.22
Total	99.35	99.99	99.56	99.29	99.44	91.30	98.79
CIPW norm							
Or	7.79	8.15	8.49	8.54	8.26	9.30	8.46
Ab	26.88	27.23	27.84	27.16	27.62	28.59	28.81
An	22.59	22.52	22.05	22.12	22.36	26.73	22.46
DiWo	7.41	7.56	7.37	6.98	7.61	4.33	6.80
DiEn	4.20	4.27	4.16	3.88	4.29	2.22	3.85
DiFs	2.89	2.96	2.89	2.82	3.00	2.00	2.67
HyEn	5.01	3.12	4.47	5.93	4.13	4.83	6.24
HyFs	3.45	2.17	3.11	4.32	2.88	4.37	4.33
OIFo	6.09	7.12	6.06	5.06	6.18	3.20	3.88
OIFa	4.63	5.45	4.65	4.07	4.76	3.19	2.97
Mt	2.86	2.82	2.79	2.88	2.79	3.86	3.66
Il	5.04	4.99	4.97	5.08	4.98	5.92	4.65
Ap	1.17	1.14	1.15	1.15	1.15	1.46	1.24
Mg <sup>#</sup>	37.73	37.56	37.44	36.42	37.37	27.53	34.98
A.I.	4.47	4.49	4.37	4.48	4.44	6.25	4.30

Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and FeO recalculated according to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO= 0.20(Middlemost, 1989). Mg<sup>#</sup>=100×MgO/(MgO+FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), A.I.(Alkali Index)=(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/ [(SiO<sub>2</sub>-43)×0.17] . Data of s6,s7 are from Park et al. (2000)

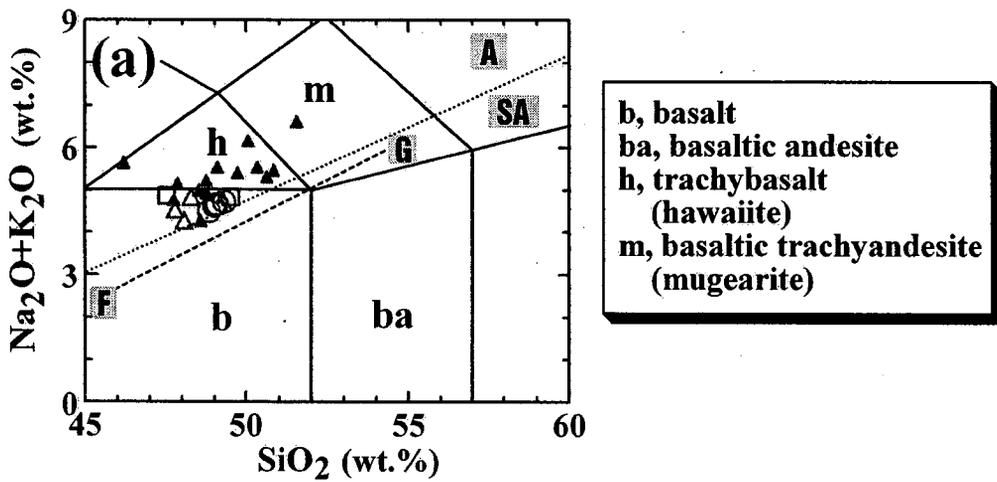


Fig. 17. Total alkali vs. SiO<sub>2</sub> (wt.%) (Le Bas et., 1986) plot of the Daepodong basalt. The dividing line between alkaline(A) and sus-alkaline(SA) magma series is from Irvine and Baragar (1971). Line F-G is division for tholeiitic and alkaline rocks in Hawaii (Macdonald and Katsura, 1964). Symbols: ○, △, □; Daepodong basalt ○; in this study, □; Park et al.(2000), △; Lee et al.(1994)

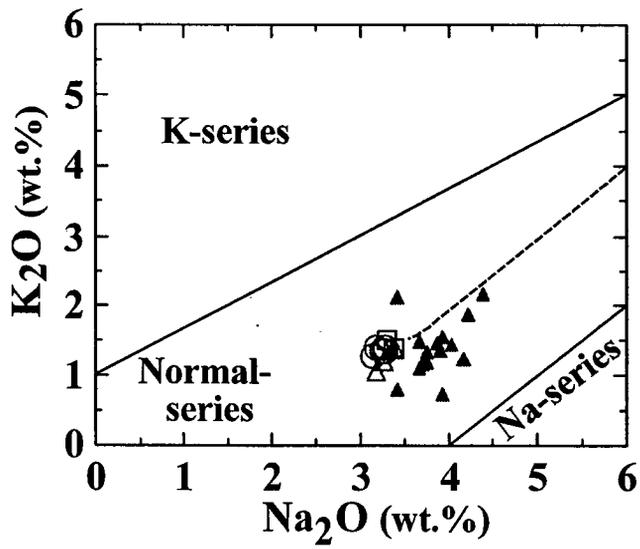


Fig. 18. K<sub>2</sub>O vs. Na<sub>2</sub>O(wt%) plot diagram for the Daepodong basalt. Symbols are the same as those in Fig. 17.

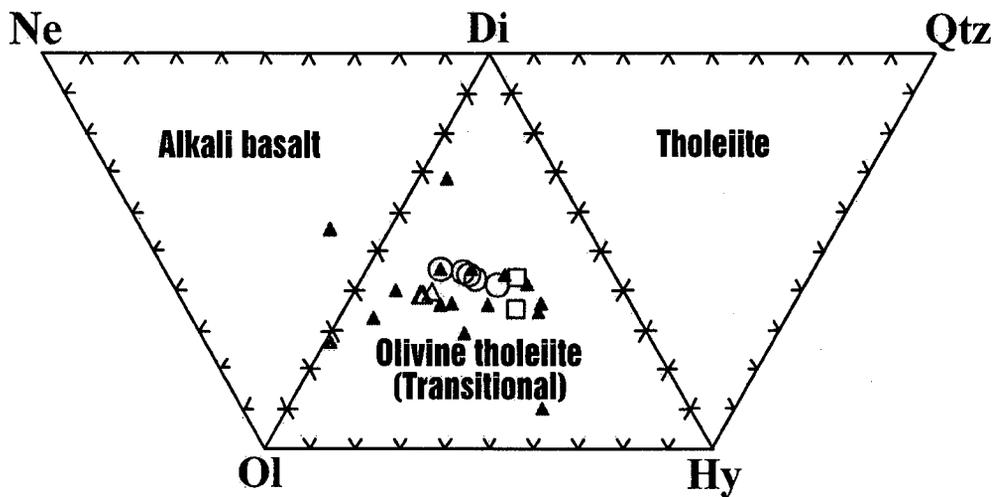


Fig. 19. Collapse of the basalt tetrahedron into the 2-dimension diagram of normative components Ne-Ol-Di-Hy-Qtz (Hyndman, 1985). symbols are the same as those in Fig. 17.

## 2) 화학조성의 변화

SiO<sub>2</sub>와 MgO 성분 함량이 각각 47.6~49.3wt.%, 6.7~7.1wt.%의 범위를 나타낸다. 연구지역의 화산암류의 암석 조성의 분화경향을 알아보기 위하여 분화지수로서 MgO 성분을 이용하여 주성분 원소의 변화 특징을 살펴보았다.

본 대표동현무암의 분석 자료를 한라산 남사면에 분포하는 화산암류(이문원 외, 1994)와 함께 주성분 원소의 변화경향을 도시한 결과(Fig. 20), MgO가 감소함에 따라, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 점진적으로 증가하고, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup>는 거의 일정하지만 약간 증가하는 경향을 보이며, MnO와 CaO는 거의 일정하다가 감소하는 경향을 보인다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 증가하는 경향을 가지나 CaO가 거의 일정한 것은 사장석이 마그마 분화에 크게 영향을 미치지 않았음을 의미한다.

대표동현무암의 SiO<sub>2</sub>의 성분은 MgO 성분에 비하여 그 변화 범위가 비교적 좁게 나타나며, MgO와 CaO가 감소함에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 증가하는 경향을 보이는데, 이는 감람석과 단사휘석의 정출이 분화 작용에 주된 영향을 미쳤음을 나타낸다.

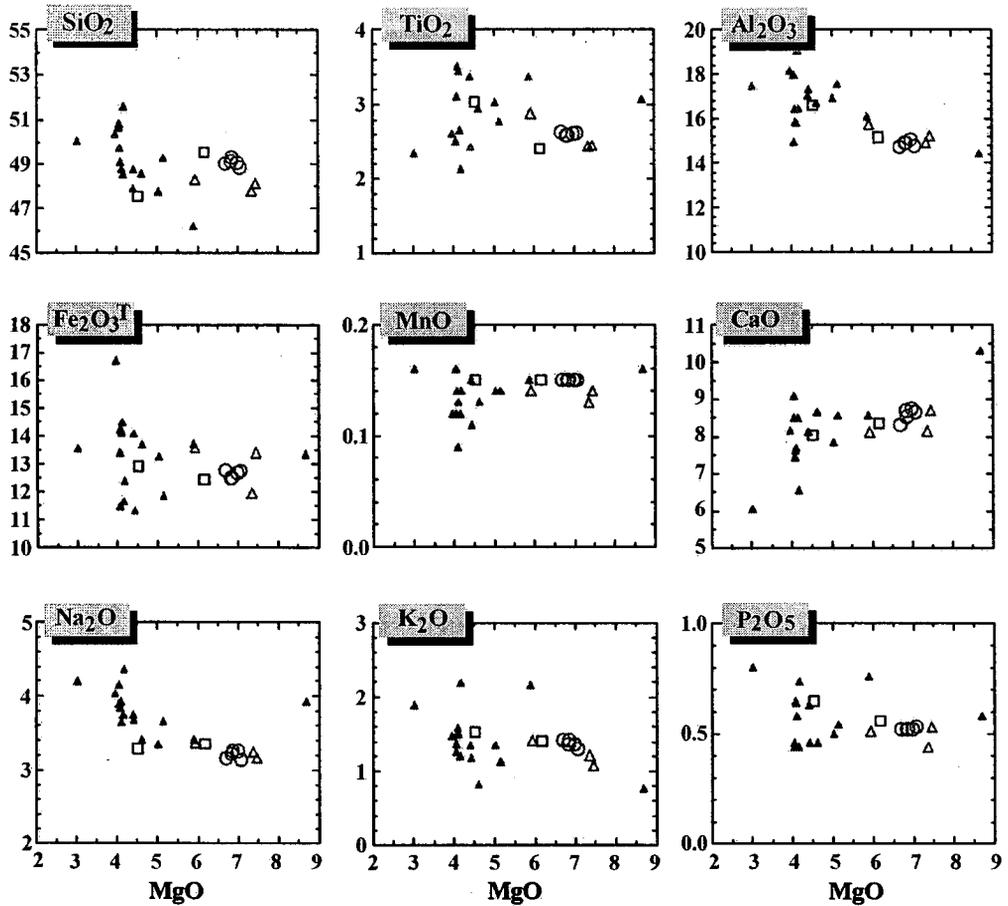


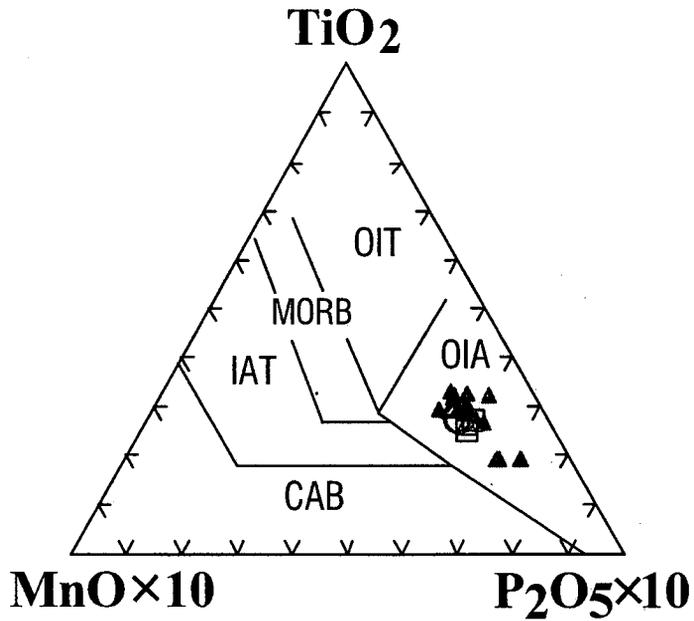
Fig. 20. Harker variation diagrams of major oxide (wt.%) vs. MgO (wt%) of the Daepodong basalt. Symbols are the same as those in Fig. 17.

## 지구조적 위치

Lee(1982)는 제주도 알칼리 화산암류의 전암 화학 성분이 하와이의 것과 유사함에 주목하여 판 내부 환경에서 열점에 의해 형성된 것으로 해석한 바 있다.

Mullen(1983)에 의한 현무암류의 주성분 원소에 의한 조구조적 위치 판별도인  $TiO_3$ - $MnO$ - $P_2O_5$  성분도에서 살펴보면, 본 역의 대표동현무암의 성분을 도시해 보면 해양도 알칼리 현무암(OIA)영역에 도시되어 나타난다(Fig. 21).

이는 본 역의 대표동현무암이 인접한 태평양판과 필리핀판의 섭입으로 야기되는 알칼리 화산활동과는 무관한 지판 내부의 조구적 환경에서 생성된 것임을 지시한다.



**MORB, mid-ocean ridge basalt**  
**IAT, island arc tholeiite**  
**CAB, island arc calc-alkaline basalt**  
**OIT, ocean island tholeiite**  
**OIA, ocean island alkaline basalt**

Fig. 21. Tectonic discrimination TiO<sub>2</sub>-MnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram (Mullen, 1983) of the Daepodong basalt. Symbols are the same as those in Fig. 17.

## 결 론

제주도 남부 대포동 일대의 지샛개 주상절리를 이루는 현무암에 대한 주상절리의 형태학과 현무암의 암석 기재 및 주성분 암석화학적 특징은 다음과 같이 요약된다.

1) 지샛개 주상절리대에서 관찰되는 다각형의 주상절리는 육면체가 가장 우세하며, 주의 직경(column diameter) 130~139cm, 주상절리 기둥의 최대면 길이(column-face width)는 90~99cm, 단면에서 서로 인접한 다각형 사이에 이루는 사이 각 120~129°가 가장 우세하며, 주상유동 띠의 폭(band-width)은 최소 2~3cm에서 최대 십 수 cm에 달한다.

2) 주상절리를 이루는 대포동현무암은 약 25만년 전에 녹하지암 분석구에서 분출한 현무암으로 육안상 반상조적이 뚜렷하며, 경하에서 사장석, 감람석, 사방휘석, 단사휘석(보통휘석), 불투명 광물로 구성된다.

3) 사장석은 반정은  $An_{52-64}$ 이며, 석기는  $An_{58-62}$  로 거의 라브라도라이트에 해당한다. 감람석의 반정의 Fo값은 0.69-0.78이며, 미반정의 Fo값은 0.66으로 나타난다. 단사휘석은  $Wo_{38-42} En_{41-48} Fs_{13-17}$ 로서 보통휘석(augite)에 해당하며, 사방휘석은 성분이  $Wo_{3-5} En_{76-78} Fs_{17-21}$ 로 브론자이트(bronzite)에 해당한다. 불투명 광물은 티탄철석과 마그네타이트로 구성된다.

4) 대포동현무암은 TAS분류도에서 알칼리 계열의 전이질 현무암으로 분류된다.

5) 암석의 주성분 화학조성을 이용한 지구조판별도에서 판내부 환경에 도시된다.

## 참 고 문 헌

- 박기화, 이병주, 조등룡, 김정찬, 이승렬, 김유봉, 이한영, 조병욱, 장영남, 손병국, 전희영, 김용욱, 2000, 서귀포·하효리도폭 지질보고서(1:50,000), 한국자원연구소, pp.163.
- 박기화, 조등룡, 김정찬, 2000, 모슬포·한림도폭 지질보고서(1:50,000), 한국자원연구소, pp.56.
- 박준범, 1994, 제주도 화산암의 지화학적 진화, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 53-55.
- 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1994, 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구, 지질학회지. 528~531.
- Anderson, A. T., 1968, Oxidation of the La Blache Lake titaniferous magnetite deposit, Quebec. *J. Geol.*, 76, 528-547.
- Ault, W. U., Richter, D. H. and Stewart, D. B., 1962. A temperature measurement probe into the melt of the Kilauea Iki lava lake in Hawaii. *J. Geophys. Res.*, 67, 2809-2812.
- Barnes. S. J., Coats, c. J. A., and Naldrett, A. J., 1982, Petrogenesis of a Proterozoic nickel sulphide-komatiite association: The Katinig sill, Ungava, Quebec: *Econ. Geol.* 77, 413-429.
- Boyd F. R., 1961, Welded tuffs and flows in the Rhyolite Plateau of Yellowstone Park, Wyoming: *Geol. Soc. Am. Bull.* 72, 387-426.
- Carmichael, I.S.E., 1967, The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 7, 5-92.
- Czamanske, G.K. and Mihalik, P., 1972, Oxidation during magmatic

- differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway: part 1, the opaque oxides. *J. Petrol.*, 13, 493-509.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1963, *Rock forming minerals*. Longmans Group Ltd., London, England, 435p.
- Ellis, D. J., 1980, Osumilite-sapphirine-quartz granulites from Enderby Land, Antarctica: P-T conditions of metamorphism, implications for garnet-cordierite equilibria and the evolution of the deep crust: *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 74, no. 2, 201-210.
- Grossenbacher and Stephen M. Mc. Duffie, 1995, Conductive cooling of lava: columnar joint diameter and stria width as functions of cooling rate and thermal gradient. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 69: 95-103.
- Huber, N. K., and Rinehart, C. D., 1967, *Cenozoic volcanic rocks of the Devil's Postpile quadrangle eastern Sierra Nevada, California*: U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 554-D, p. D1- D21.
- Hyndman, D.W., 1985, *Petrology of igneous and metamorphic rocks*. 2nd edition. McGraw-Hill, 786p.
- 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.
- Jackson, K.C., 1970, *Textbook of lithology*: Newyork, McGraw-Hill Book Company, 552p.
- Lee, M.W., 1982, *Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea*. Sci. Rep. Tohoku Univ. Series 3, 15, 177-256.
- 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.
- MacDonald, G.A. and Katsure, 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.
- Morimoto, N., 1989, Rock-forming mineral. Tokyo University Press, 239p.
- 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.
- Peck, D. L., 1978, Cooling and vesiculation of Alae lava lake. Hawaii U.S. Geol. Surv, Prof. Pap., 935-B: 59pp.
- Powell, M., and Powell, R., 1974 An olivine-clinopyroxene geothermometer: *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 48, no.4, 249-263.
- Rryan, M. P. and Sammis. C.G. 1978. Cyclic fracture mechanism in cooling basalt. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 1295-1308.
- Spencer, K. J. and Lindsley, D.H., 1981, A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *Am. Min.*, 66, 1189-1201.
- Spry, A., 1961, The Origin of columnar jointing, particularly in basalt flows. *Geol. Soc. Aust.*, 8, pt. 2:191-216.
- Spry, A. H., and Solomon, M., 1964, Columnar buchites at Apsley, Tasmania: *Geol. Soc. London Quarterly Jour.* 120, 519-545.
- Wood, B.J. and Banno, S. 1973 Garnet-orthopyroxene and clinopyroxene relationships in simple and complex system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42, 109-124.

## Explanation of Plates

- Plate 1 & 2.** Photomicrographs of groundmass showing intersertal texture with plagioclase laths (sample, S5). (*open and crossed polar of photo 1 & 2, respectively*)
- Plate 3.** Photomicrograph of plagioclase phenocryst with corroded rim (sample, S1). (*crossed polar*)
- Plate 4.** Photomicrograph of plagioclase phenocryst showing oscillatory zonal structure) (sample, S1). (*crossed polar*)
- Plate 5 & 6.** Photomicrographs of olivine phenocryst surrounded by plagioclase laths (sample, S5). (*open and crossed polar of photo 5 & 6, respectively*)
- Plate 7.** Photomicrograph of clinopyroxene phenocryst (sample, S2). (*crossed polars*)
- Plate 8.** Photomicrograph of clinopyroxene phenocryst with corroded rim (sample, S2). (*crossed polars*)
- Plate 9 & 10.** Photomicrographs of corona texture with orthopyroxene phenocryst surrounded by clinopyroxene and olivine grains (sample, S3). (*open and crossed polar of photo 9 & 10, respectively*)
- Plate 11.** Photomicrograph of coexisting magnetite and ilmenite (sample, S1). (*open polar*)

Abbreviations: Ol= olivine, Cpx= clinopyroxene, Opx= orthopyroxene, Pl= plagioclase, Mt= magnetite, Il= ilmenite, and Ve = vesicular

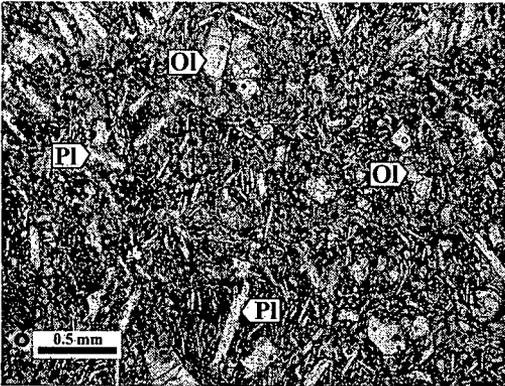


Plate 1

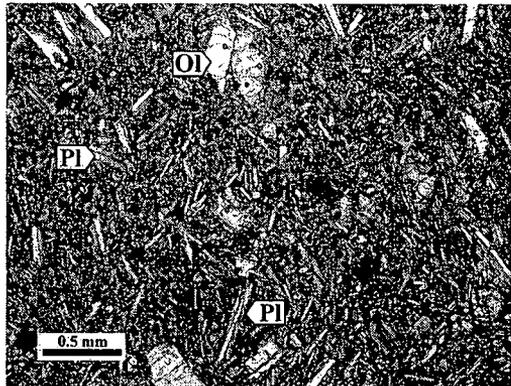


Plate 2

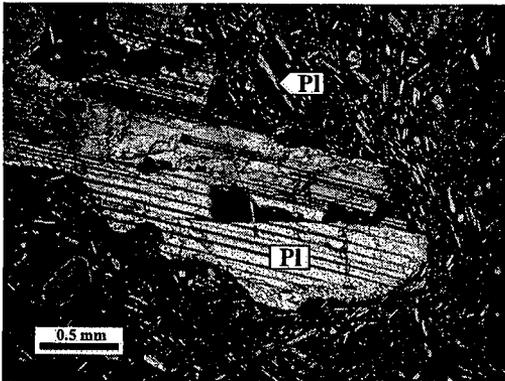


Plate 3

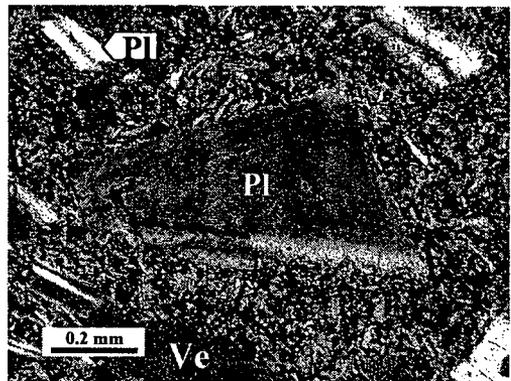


Plate 4

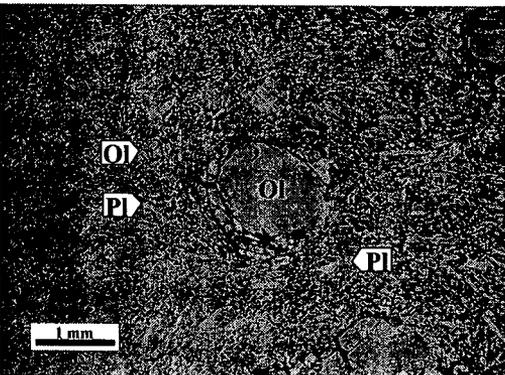


Plate 5

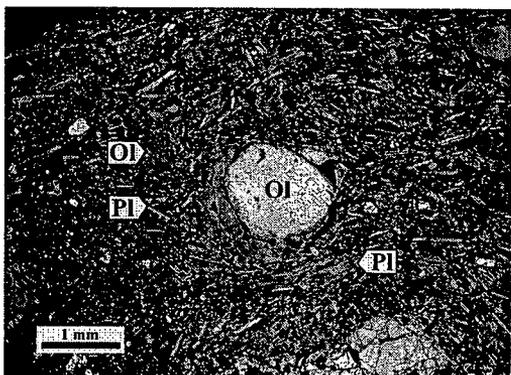


Plate 6

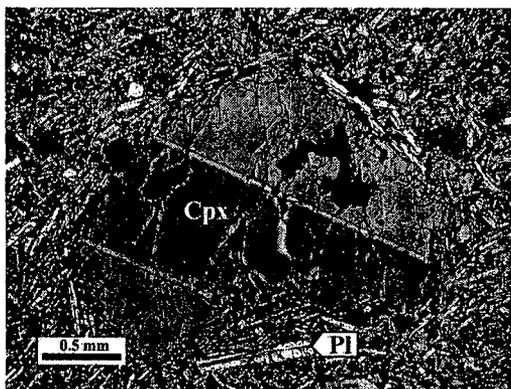


Plate 7

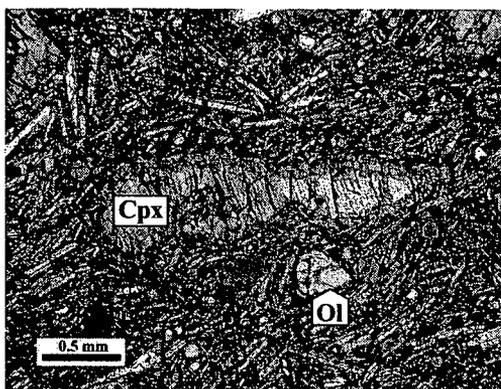


Plate 8

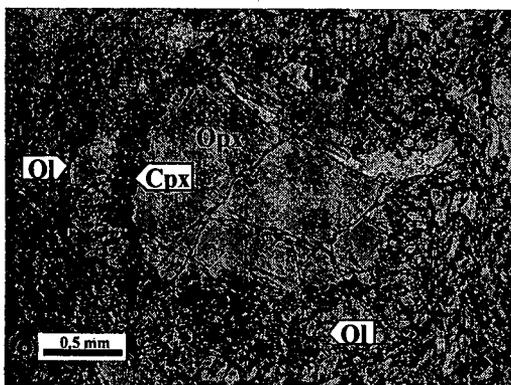


Plate 9

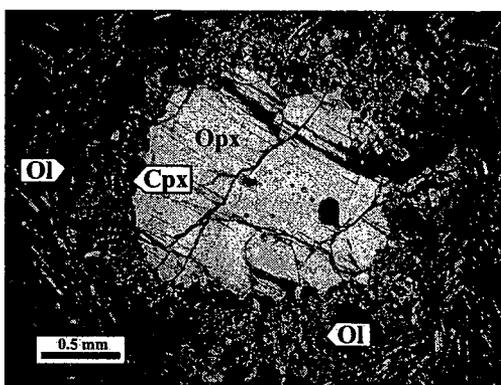


Plate 10

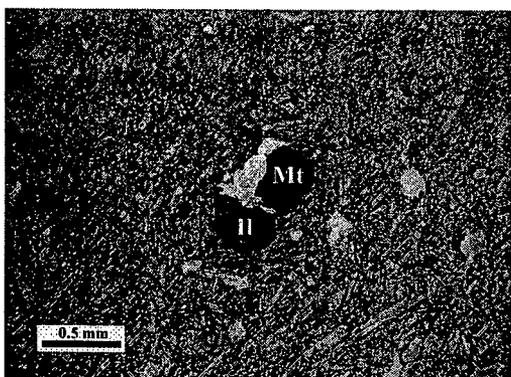


Plate 11

# Morphology and Petrology of Jisasgae Columnar Joint on the Daepodong Basalt in Jeju Island

Hong, Hyun Chu

Major in Earth Science Education  
Graduate School of Education  
Pusan National University

## Abstract

This study has been designed to elucidate the morphology of columnar joints and the petrography of the Daepodong basalt in Jeju Island. Jisasgae columnar joints show up about 3.5km extension distribution along the coast from Seongcheonpo to Weolpyeongdong. Colonnade of the Jisasgae columnar joint typically occurs in the upper part of a flow and consists of relatively well-formed basalt columns. Most columns are straight with parallel sides and diameters from 100cm to 205cm (9130~139cm in maximum). Columns can reach heights of 20m. Most columns tend to have 6 or 5 sides but have as few as 3~4 and as many as 7 or 8 sides. The Daepodong basalt consist of plagioclase, olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, ilmenite and magnetite. Plagioclase is labradorite, clinopyroxene is augite, orthopyroxene is bronzite and olivine is chrysolite and hyalosiderite. The Daepodong basalt shows porphyritic texture and matrix is mainly intersetal texture. The Daepodong basalt plotted into alkaline rock series on the TAS

diagram, it can be subdivided into normal series on the basis of the diagram of  $N_2O$  vs.  $K_2O$ . The tectonic setting of the Daepodong basalt in the study area represents of the within plate basalt.

## 감사의 글

무슨 일이든 그러하겠지만 마지막이 되면 설레이고, 후회스럽습니다. 특히 이번 일처럼 논문을 쓰는 일은 주위 분들께 정말 죄송하고, 감사한 마음이 들어서입니다. 이 글을 빌어 그 분들께 감사함을 전하고자 합니다.

먼저 제가 하고자 하는 길을 갈 수 있도록 기회를 주시고, 하찮은 여러 일에도 많은 배려를 해 주신 윤성호 지도교수님께 감사 드립니다. 그리고 논문 심사 때문에 먼 길 오셔서 작은 부분까지 세심하게 지도해 주신 이윤종 교수님과 길영우 박사님께도 감사 드립니다.

힘들 때 많은 격려를 주신 황수진 교수님, 김상달 교수님, 최광선 교수님, 이상원 교수님, 안홍배 교수님 그리고 강혜성 교수님께 감사 드립니다.

피곤하고 바쁜 와중에도 논문을 쓰는데 가장 많은 도움을 주셨던 고정선 박사님 정말 감사합니다. 열성적으로 연구하시는 모습에서 많은 것을 느끼고, 배웠습니다. 논문 준비에 많은 조언 해 주신 김현숙 선생님, 이정현 조교님께 감사 드리고, 논문 쓰는데 격려해주고 용기를 준 친구 근희, 지영, 문민이에게도 지면이나마 고마움을 전합니다.

3년 동안 공부에 전념할 수 있도록 배려해 주시고, 용기 주셨던 어머니와 시부모님 감사합니다.

마지막으로 하고 싶은 일 할 수 있도록 도와주고, 이해해 준 남편과 실험실에 따라와서 고생 많았던 씩씩한 우리 아들 정말 고맙고, 사랑한다.