

## 아산지역 현무암과 맨틀 포획암의 암석학적 연구

신홍자<sup>1\*</sup> · 길영우<sup>2, 3</sup> · 권석기<sup>1</sup> · 진명식<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부(shj@kigam.re.kr)

<sup>2</sup> 한국기초과학지원연구원 나노환경연구부(ykil@kbsi.re.kr)

<sup>3</sup> 한국석유공사

### 1. 서론

화산암은 맨틀에서 만들어진 마그마가 화산활동으로 지표로 분출하여 형성되어지기 때문에 마그마가 형성된 맨틀의 지화학적 특징에 대하여 중요한 정보를 제공하고 있다. 특히 스피넬 페리도타이트(감람석+사방휘석+단사휘석+스피넬) 혹은 석류석 페리도타이트(감람석+사방휘석+단사휘석+석류석)와 같은 맨틀 암석을 포획한 현무암류는 빠른 속도로 지표에 올라와서 대부분 지각 물질의 혼화와 같은 일련의 과정을 경험하지 않았다. 따라서 맨틀의 물리적, 화학적 성질을 알기 위해 현무암에 포획된 맨틀암석과 모암인 현무암의 연구는 아주 중요하다.

우리나라에는 맨틀암석을 포획한 신생대의 현무암류들이 경기도 용진군 백령도 일대, 충북 보은군 조곡리 일대, 강원도 고성군 간성 일대, 제주도의 동부일대, 경기도 평택시 권관리에서도 발견되어 여러 학자들에 의해 연구 발표된 바 있다(Won, 1975; Lee, 1980; 이문원, 1984; 김윤규 외, 1988; 나기창과 이문원, 1987; 이한영, 1995). 그러나 충청남도 아산시 신운리의 현무암과 그 암석 내에 포획되어 있는 맨틀포획암에 관한 구체적인 연구는 아직 기재된 바 없다.

연구 지역은 지질 및 지구구조적으로 경기육괴 서남부에 해당한다(그림 1). 이 지역은 선캄브리아기의 편암, 편마암류와 쥐라기의 화강암이 대부분을 차지하고, 소규모로 마이오세 현무암이 존재한다(김동학 외, 1979). 맨틀암석인 스피넬 페리도타이트를 포획한 현무암은 중기 마이오세( $18.9 \pm 0.56\text{Ma}$ )에 분출하였다. 포획된 스피넬 페리도타이트는 장경이 최대 20cm에 이른다.

이 연구는 최근 새로이 발견된 충청남도 아산시 신운리에 분포하는 현무암과 그 암석내에 포획되어 있는 맨틀 포획암에 관한 암석학적 연구의 결과이다.

### 2. 본론

현무암의 전암분석은 지질자원연구원의 X-선 형광 분석기(XRF)와 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하였고, 스피넬 페리도타이트내의 단사휘석의 분석은 한국기초과학지원연구원의 유도결합플라즈마 질량분석기를 이용하였다. 스피넬 페리도타이트내의 감람석, 단사휘석, 사방휘석, 스피넬의 주성분 분석은 한국기초과학지원연구원의 전자현미분석기(Cameca SX-50)를 이용하였다. 전자현미분석기 분석조건은 가속전압 15 kV, 빔 전류 20 nA, 빔 직경 2 - 3  $\mu\text{m}$  이고, 주성분원소는 10 - 20초, 미량원소는 20 - 40초의 시간을 두고 분석하였다. 평형 온도를 계산하기 위해 사용된 사방휘석과 단사휘석의  $\text{Fe}^{3+}$  과  $\text{Fe}^{2+}$ 는 Droop (1987)의 방법을 사용하여 계산하였다.

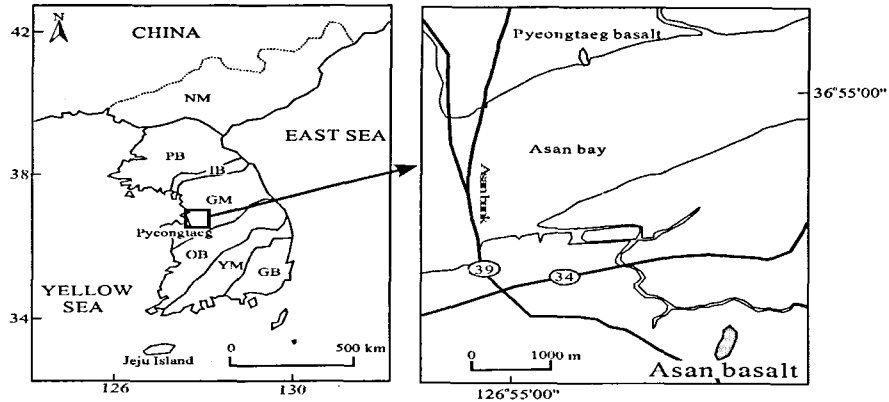


Fig. 1. Simplified tectonic map showing the sampling locations of Asan mantle xenolith sites. NM = Nangrim Massif, PB = Pyeongnam Basin, IB = Imjingang Belt, GM = Gyeonggi Massif, OB = Ogcheon Belt, YM = Yeongnam Massif, and GB = Gyeongsang Basin.

### 2-1. 현무암

맨틀 암석을 포획한 현무암을 TAS(total alkalis versus silica) 그림에 도시하여 화학적으로 분류하여 보면 아산 현무암은 조면 현무암(Tracybasalt)에 속한다.  $K_2O:Na_2O$  비는 제 3기에 맨틀 암석을 포획한 다른 지역의 알칼리 현무암들과 같이 1:2 비를 갖는다.

연구 지역의 조면 현무암의 광물조성은 주로 반정의 사장석, 휘석, 감람석으로 구성되며, 그밖에 스피넬, 각섬석, 흑운모 등이 소량 관찰된다(그림 2 & 3).

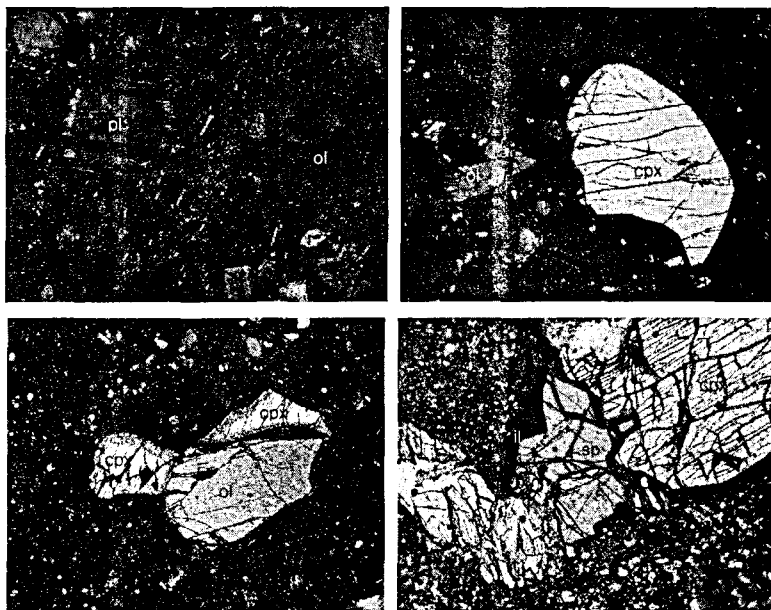


Fig. 2. Photomicrographs of trachybasalt. pl=plagioclase, ol=olivine, cpx=clinopyroxene, and sp=spinel.

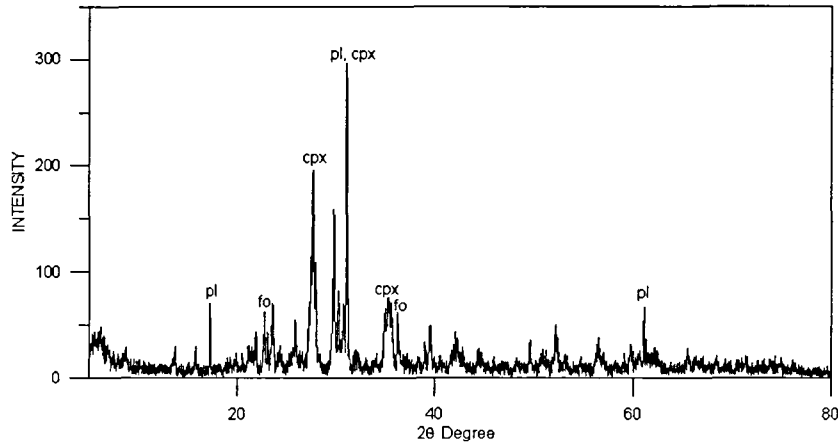


Fig. 3. XRD pattern for trachybasalt samples.

현무암의 MgO 성분은 10.03 - 10.96 wt% 범위를 보인다. Harker 도에 도시하여 보면, MgO가 감소함에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O 성분의 양은 증가하고, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O 변화가 적으며, TiO<sub>2</sub>, Total FeO, CaO는 감소하는 경향이 있다.

모암 현무암중 대표적인 시료의 함량을 원시맨틀(primitive mantle) 값(Hoffmann, 1988)으로 표준화해 보면, 모암 현무암은 LREE가 HREE 보다 더욱 부화되어 (La)<sub>n</sub> 는 60.8 - 71.2, (Yb)<sub>n</sub> 는 3.6 - 4.1 범위까지 부화된 값을 보인다(그림 4).

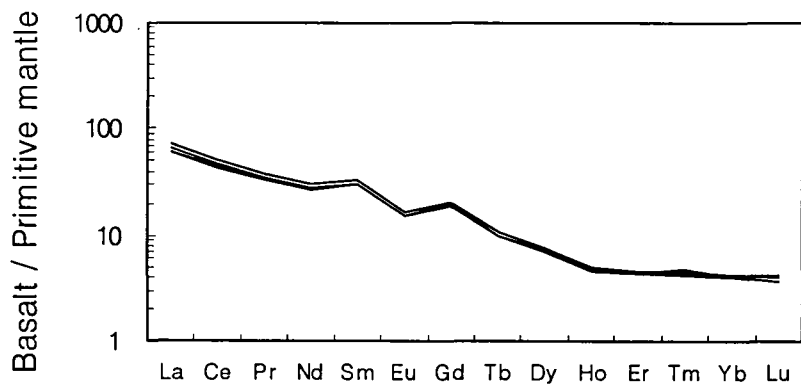


Fig. 4. Primitive mantle-normalized REE abundances for basalts from the Asan. Primitive mantle values are from Hofmann (1988).

## 2-2. 맨틀 포획암

조면 현무암에 포획된 맨틀암석은 주구성광물이 감람석, 사방휘석, 단사휘석, 스피넬로 구성된 스피넬 페리도타이트이다. 스피넬 페리도타이트는 원생입상조직(proto granular texture), 반상쇄설조직(porphroblastic texture), 등립상조직(equigranular texture)으로 세분되는데, 원생입상조직에서 등립상 조직으로 갈수록 광물입자의 크기는 작아지고 네오블라스트(neoblast)의 함량은 많아진다. 아산 조면 현무암에 포획된 스피넬 페리도타이트 맨틀 암

석은 광물입자 크기가 1mm 이상의 원생입상조직을 보이고 있다.

감람석 Fo 조성은 90 - 91의 범위로, 우리나라 다른 지역의 스피넬 페리도타이트내의 조성 과 유사하다. 사방휘석은 평균조성이  $En_{88-89}$ ,  $FS_{9-10}$ ,  $Wo_{1-3}$ 로 엔스터타이트로 분류되고, 단사휘석의 평균조성은  $En_{48-52}$ ,  $FS_{5-6}$ ,  $Wo_{42-47}$ 로 투휘석으로 분류된다. 스피넬의 평균 Mg-number  $[(Mg)/(Mg+Fe^{2+})]$ 와 Cr-number  $[(Cr)/(Cr+Fe^{3+}+Al)]$ 는 각각 0.79 - 0.81과 0.09 - 0 스피넬 페리도타이트내의 단사휘석의 함량을 원시맨틀(primitive mantle) 값(Hoffmann, 1988)으로 표준화해 보면, 단사휘석은 (La) $_n$ 가 1.3 - 2.6, (Yb) $_n$ 는 2.7 - 4.4 범위를 보인다 (그림 5). (La/Yb) $_n$ 은 0.3 - 1.0 범위로 LREE가 HREE에 비하여 결핍된 경향을 보인다.

표 1 은 다양한 지온계를 이용하여 맨틀 포획암의 평형온도를 추정 한 것이다. 압력을 15kb 가정한다면 맨틀 포획암인 스피넬 페리도타이트의 평균 평형온도는 987 - 1137°C 이다.

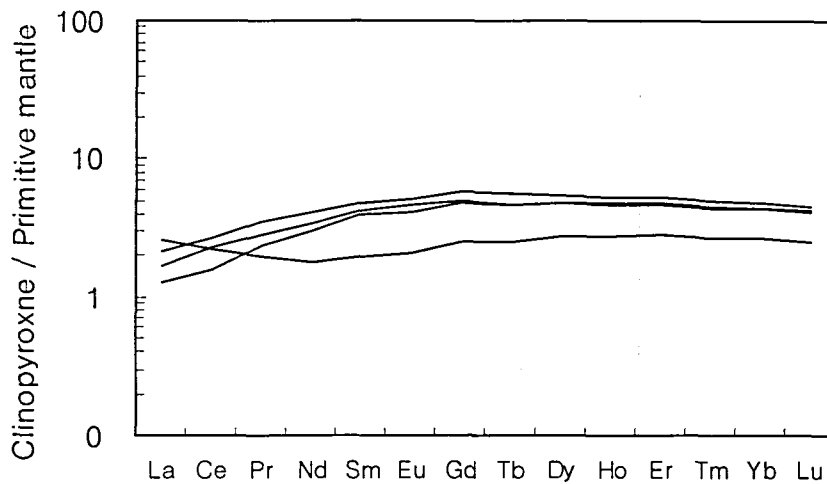


Fig. 5. Primitive mantle-normalized REE abundances for clinopyroxenes in spinel peridotites from the Asan. Primitive mantle values are from Hofmann (1988).

Table 1. P-T data for spinel peridotite xenoliths from the Asan.  $T_{WB}$  = Wood and Banno (1973),  $T_{BK}$  = Brey and Köhler (1990),  $T_{Ca-in-Opx}$  = Brey and Köhler (1990),  $T_B$  = Ballhaus et al. (1991), and  $T_{WS}$  = Witt-Eickschen and Seck (1991) geothermometers.

Sample	AS1	AS2	AS3	AS4
$T_{WB}$ (°C) at 15 kb	1081	1236	1075	1095
$T_{BK}$ (°C) at 15 kb	987	1164	1000	1008
$T_{Ca-in-ox}$ (°C) at 15 kb	1002	1137	960	960
$T_B$ (°C) at 15 kb	928	1025	957	913
$T_{WS}$ (°C) at 15 kb	955	1125	957	961

### 3. 참고 문헌

- 김윤규, 이대상, 송윤규, 김선익 (1988) 보은지역 조곡리 현무암에 함유된 초염기성 포획암의 암석학. 지질학회지, 24, 57-66.
- 김동학, 최위찬, 오인섭 (1979) 한국지질도 아산도폭, 자원개발연구소, p10.
- 나기창, 이문원 (1987) 백령도의 지질. 자연실태 종합보고서, 7, 33-48.
- 이문원 (1984) 제주화산암류에 함유된 mafic 포획암. 지질학회지, 20, 306-313.
- 이한영 (1995) 남한의 알칼리 현무암에 분포하는 맨틀포획암의 암석화학적 연구: 상부 맨틀의 온도 및 압력추정. 암석학회지, 4, 104-123.
- Ballhaus, C., Berry, R. F. and Green, D. H. (1991) High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contrib. Mineral. Petrol.* 107, 27-40.
- Brey, G.P. and Köhler, T. (1990) Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers, *Journal of Petrology* 31, 1353-1378.
- Droop, G.T.R. (1987) A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51, 431-435.
- Hofmann, A. W. (1988) Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90, 297-314.
- Lee, D.S. (1980) Igneous activity and geotectonic interpretation in the Ogcheon geosynclinal zone, Korea-especially referred to ophiolite determination. *Yeonsei Nonchong*, 17, 109-137.
- Won, C.K. (1975) Study of geologic development and the volcanic activity of the Cheju Island. *Bull. Kon-Kuk Univ. Korea, I.P.*, p.7-48.
- Wood, B. J. and Banno, S. (1973) Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.* 42, 109-124.
- Witt-Eickschen, G. and Seck, H.A. (1991) Solubility of Ca and Al in orthopyroxene from spinel peridotite: an improved version of an empirical geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.* 106, 431-439.