

# 평택지역에 분포하는 제3기 알칼리현무암과 그에 포획된 맨틀 포획암의 암석학적, 광물학적 연구

신홍자<sup>1)</sup> · 이석훈<sup>2)</sup> · 길영우<sup>2)</sup> · 권석기<sup>1)</sup> · 진명식<sup>1)</sup>

## 1. 서 론

알칼리 현무암에 수반되는 맨틀포획암은 지하 깊은 곳(대륙내부에서는 적어도 30km 이상)인 상부 맨틀-하부지각을 구성하고 있던 초염기성 암석이 부분 용융작용을 받아 현무암질 마그마를 만들고 있다가 지각변동으로 갑자기 지표로 분출할 때 일부 초염기성 암석(맨틀 포획암)을 갖는 현무암이 분포하게 된다.

따라서 지구 내부의 구성성분과 그 진화, 그리고 마그마의 기원을 규명하기 위해서는 이들 맨틀 포획암에 관한 물리화학적인 연구가 아주 중요한 분야이며, 최근 국내의 경기도 인천시 옹진군 백령도 일대, 충북 보은군 조곡리 일대, 강원도 고성군 간성 일대와 제주도의 동부 여러 곳에서도 발견되어 여러 학자들에 의해 연구 발표된 바 있다(Won, 1975; Lee, 1980; 이문원, 1984; 김윤규 외, 1988; 나기창과 이문원, 1987; 이한영, 1995).

이 연구는 최근 새로이 발견된 경기도 평택시 현덕면 권관리 일대에 분포하는 알칼리 현무암과 그 암석 내에 배태되어 있는 맨틀포획암(스피넬 페리도타이트)에 관한 암석학적 광물학적 연구의 결과이다.

## 2. 지질 및 연구방법

연구 지역은 지질 및 지구구조적으로 경기육괴 서남부에 해당한다. 이 지역은 선캠브리아기의 편암, 편마암류와 쥘라기의 화강암이 대부분을 차지하고, 소규모로 마이오세 알칼리현무암이 존재한다(김동학 외, 1979). 스피넬 페리도타이트를 포획한 알칼리현무암은 중기 마이오세(14.5±0.4Ma, 16.3±0.4Ma)에 분출하였다(이동영, 1996). 포획된 스피넬 페리도타이트는 장경이 최대 55cm에 이른다.

현무암 및 스피넬 페리도타이트 전암분석은 한국지질자원연구원의 X-선 형광 분석기(XRF)와 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하였고, 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 μm 이고, 주성분원소는 10 - 20초, 미량원소는 20 - 40초의 시간을 두고 분석하였다. 평형 온도를 계산하기 위해 사용된 사방휘석과 단사휘석의 Fe<sup>3+</sup> 과 Fe<sup>2+</sup> 는 Droop (1987)의 방법을 사용하여 계산하였다.

---

**주요어 :** 알칼리현무암, 스피넬 페리도타이트, 맨틀 포획암

- 1) 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 박물관 (shj@kigam.re.kr)
- 2) 한국기초과학지원연구원 나노환경연구부 (ykil@kbsi.re.kr)

### 3. 본 론

#### 알칼리현무암

맨틀 암석을 포획한 알칼리현무암을 TAS(total alkalis versus silica) 그림에 도시하여 화학적으로 분류하여 보면 평택 현무암은 바사나이트(basanite)에 속한다.  $K_2O:Na_2O$  비는 제 3기에 맨틀 암석을 포획한 다른 지역의 알칼리현무암들과 같이 1:2 비를 갖는다.

연구 지역의 현무암의 MgO 성분은 7.11 - 11.11 wt% 범위를 보인다. Harker 도에 도시하여 보면, MgO가 감소함에 따라  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $Na_2O$  성분의 양은 증가하고,  $TiO_2$ , Total FeO,  $SiO_2$ ,  $K_2O$ , CaO 변화가 적으며, CaO는 감소하는 경향이 있다(그림 1). 이러한 경향은 마그마가 분화하는 과정에서 감람석과 휘석의 정출이 사장석과 인회석의 정출보다 더 크게 영향을 주었음을 시사한다.

모암 현무암중 대표적인 시료의 함량을 원시맨틀(primitive mantle) 값(Hofmann, 1988)으로 표준화해 보면, 모암 현무암은 LREE가 HREE 보다 더욱 부화되어 (La)<sub>n</sub> 는 163 - 200, (Yb)<sub>n</sub> 는 6 - 7 범위까지 부화된 값을 보인다(그림 2). Eu 이상치는 보이지 않는다.

#### 맨틀 포획암

알칼리현무암에 포획된 맨틀암석은 주구성광물이 감람석, 사방휘석, 단사휘석, 스피넬로 구성된 스피넬 페리도타이트이다. 스피넬 페리도타이트는 원생입상조직(protozonal texture), 반상쇄설조직(porphroblastic texture), 등립상조직(equigranular texture)으로 세분되는데, 원생입상조직에서 등립상 조직으로 갈수록 광물입자의 크기는 작아지고 네오블라스트(neoblast)의 함량은 많아진다. 평택 알칼리현무암에 포획된 스피넬 페리도타이트 맨틀 암석은 광물입자 크기가 1mm 이상의 원생입상조직을 보이고 있다.

스피넬 페리도타이트의 주성분구성 원소는  $SiO_2$ ; 42.64%,  $TiO_2$ ; 0.13%,  $Al_2O_3$ ; 3.05%, FeO(t); 11.4%, MnO; 0.14%, MgO; 40.65%, CaO; 1.62%,  $Na_2O$ ; 0.22%,  $K_2O$ ; 0.03%,  $P_2O_5$ ; 0.01%를 함유하고 있다.

감람석 Fo 조성은 89 - 90의 범위로, 우리나라 다른 지역의 스피넬 페리도타이트내의 조성과 유사하다. 사방휘석은 평균조성이  $Wo_{10}$ ,  $En_{89}$ ,  $Fs_{10}$ 로 엔스테타이트로 분류되고, 단사휘석의 평균조성은  $Wo_{47}$ ,  $En_{48}$ ,  $Fs_{5}$ 로 투휘석에 해당한다. 스피넬의 평균 Mg-number[(Mg)/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)]와 Cr-number[(Cr)/(Cr+Fe<sup>3+</sup>+Al)]는 각각 0.76과 0.17이다.

표 1 은 다양한 지온계를 이용하여 맨틀 포획암의 평형온도를 추정한 것이다. 압력을 15kb 로 가정한다면 맨틀 포획암인 스피넬 페리도타이트의 평균 평형온도는 965 - 1039°C 이다.

### 4. 참고 문헌

- 김윤규, 이대성, 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.
- 이동영 (1996) 백령도, 조곡리, 제주, 한탄강, 울릉도, 아산일대의 신제3기 및 제4기 화산암의 K-Ar (개인자료).

- 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.
- Bertrand, P. and Mercier, J.C.C. (1985) The mutual solubility of coexisting ortho- and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural system? *Earth Planet. Sci. Lett.* 76, 109-122.
- Brey, G.P. and Khler, 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.
- 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 diagram. *J. Petrol.*, 27, 745-750.
- 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.

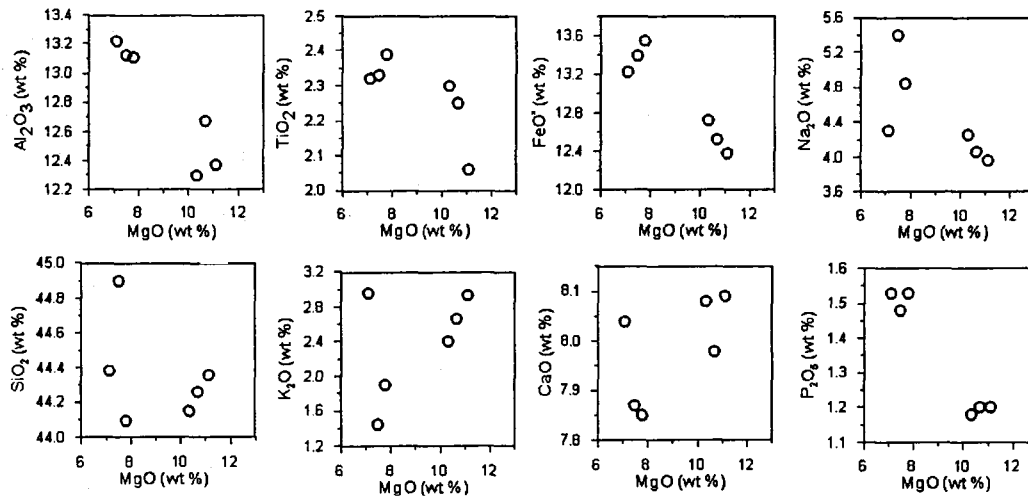


Fig. 1. Plots of major oxides (wt %) vs. MgO for alkali basalts from Pyeongtaeg.

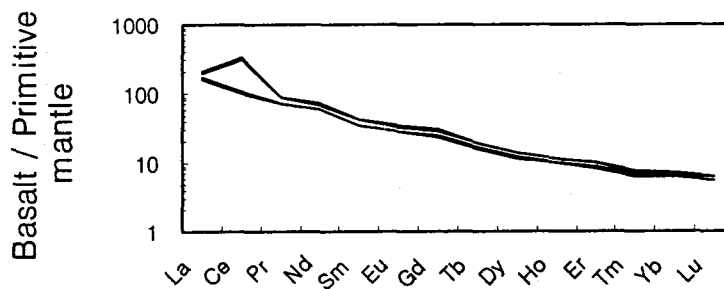


Fig. 2. Primitive mantle-normalized REE abundances for alkali basalts from Pyeongtaeg. Primitive mantle values are from Hofmann (1988).

Table 1. P-T data for spinel peridotite xenoliths from the Boeun.  $T_{WB}$  = Wood and Banno (1973),  $T_{BM}$  = Bertrand and Mercier (1985),  $T_{BK}$  = 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	No1	No2	No4
$T_{WB}$ (°C) at 15 kb	1060	1119	1063
$T_{BM}$ (°C) at 15 kb	1173	1276	1207
$T_{BK}$ (°C) at 15 kb	894	998	914
$T_{Ca-in\ opx}$ (°C) at 15 kb	902	977	942
$T_B$ (°C) at 15 kb	845	802	812
$T_{WS}$ (°C) at 15 kb	920	1059	959

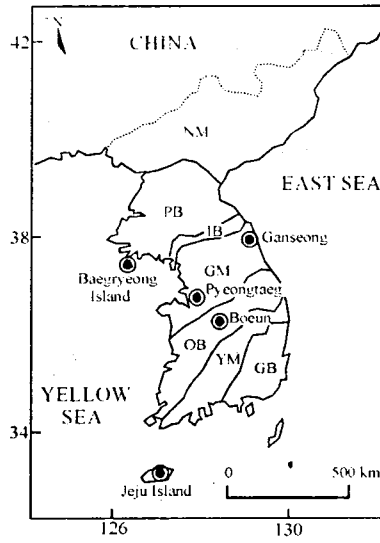


Fig. 3. Simplified tectonic map showing the sampling locations of Pyeongtaeg mantle xenolith sites. NM = Nangrim Massif, PB = Pyeongnam Basin, IB = Imjingang Belt, GM = Gyeonggi Massif, OB = Ogcheon Belt, YM = Yeongnam Massif, and GB = Gyeongsang Basin.

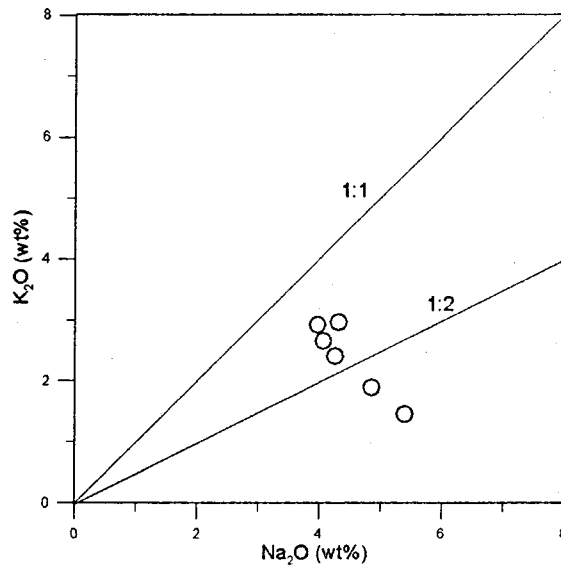


Fig. 4. Plot of K<sub>2</sub>O vs. Na<sub>2</sub>O for alkali basalts from the Pyeongtaeg.

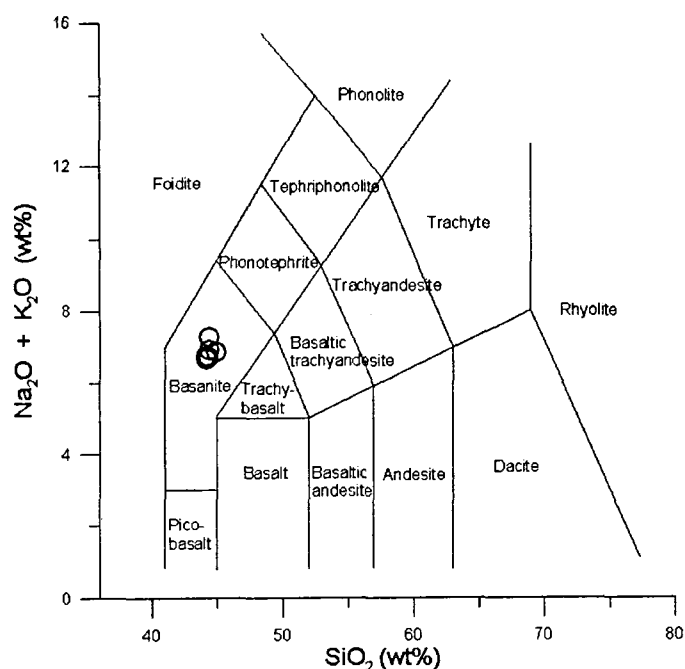


Fig. 5. Classification and nomenclature of alkali basalts from the Pyeongtaeg based on the their alkalis vs.  $\text{SiO}_2$  (Le bas *et al.*, 1986)

Table 2. Representative trace element and rare earth element analyses (ppm) of alkali basalts from the Pyeongtaeg.

	Basalt 1	Basalt 2	Basalt 3	Basalt 4	Basalt 5	Basalt 6
$\text{SiO}_2$	44.36	44.09	44.15	44.9	44.26	44.38
$\text{TiO}_2$	2.06	2.39	2.3	2.33	2.25	2.32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12.37	13.11	12.3	13.12	12.67	13.22
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	12.38	13.54	12.72	13.39	12.52	13.22
MnO	0.2	0.21	0.21	0.2	0.18	0.19
MgO	11.11	7.79	10.32	7.49	10.67	7.11
CaO	8.09	7.85	8.08	7.87	7.98	8.04
$\text{Na}_2\text{O}$	3.96	4.85	4.25	5.4	4.06	4.31
$\text{K}_2\text{O}$	2.93	1.9	2.41	1.45	2.66	2.96
$\text{P}_2\text{O}_5$	1.2	1.53	1.18	1.48	1.2	1.53
Igloss	1.22	2.43	1.59	2.21	1.69	2.59
Total	99.88	99.69	99.51	99.84	100.14	99.87
Y	47.6	55.5	48.6	46.8	55.8	54.3
U	3.47	3.77	3.08	3.09	3.78	3.88
Th	11.9	13.4	10.2	10.2	13.1	12.8
La	103	121	102	100	123	118
Ce	168	506	170	165	511	505
Pr	17.6	21.5	17.9	17.3	21.7	21
Nd	68	85.3	70.6	68.1	85.2	82.5
Sm	13.2	16.5	13.9	13.3	16.7	16.2
Eu	4.04	4.99	4.31	4.17	5.03	4.9
Gd	12.2	15.2	12.9	12.4	15.4	14.8
Tb	1.49	1.83	1.58	1.5	1.85	1.79
Dy	7.45	8.94	7.75	7.49	8.9	8.73
Ho	1.4	1.64	1.45	1.39	1.65	1.6
Er	3.53	4.11	3.63	3.49	4.11	4.04
Tm	0.42	0.47	0.42	0.41	0.48	0.46
Yb	2.6	2.89	2.61	2.55	2.92	2.86
Lu	0.36	0.4	0.35	0.35	0.4	0.39

Table 3. Representative major element analyses (wt %) of olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, and spinel in spinel peridotite xenoliths from the Pyeongtaeg. Ol = olivine, Opx = orthopyroxene, Cpx = clinopyroxene, and Sp = spinel.

Sample Mineral	NO1				NO2				NO4			
	Ol	Opx	Cpx	Sp	Ol	Opx	Cpx	Sp	Ol	Opx	Cpx	Sp
SiO <sub>2</sub>	40.35	54.52	51.33	0.07	41.01	54.66	51.89	0.09	40.49	54.81	51.43	0.07
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.12	0.51	0.08	0.00	0.16	0.48	0.20	0.00	0.09	0.53	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	4.27	5.82	57.72	0.00	4.68	6.32	54.43	0.01	4.00	5.96	55.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.28	0.56	9.15	0.01	0.46	0.93	12.82	0.00	0.34	0.72	11.79
FeO	10.62	7.05	2.97	11.95	9.42	6.09	2.70	11.58	10.15	6.67	2.66	12.21
MnO	0.06	0.18	0.01	0.01	0.06	0.21	0.06	0.00	0.06	0.09	0.07	0.00
MgO	48.65	33.29	15.32	20.41	50.05	33.28	15.50	20.43	49.23	33.40	15.21	20.07
CaO	0.06	0.53	21.71	0.02	0.05	0.74	20.26	0.01	0.03	0.62	21.24	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.02	1.13	0.00	0.00	0.13	1.74	0.00	0.03	0.05	1.36	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01
Total	99.77	100.26	99.36	99.41	100.61	100.42	99.88	99.58	100.04	100.08	99.21	99.40
Si	0.995	1.885	1.873	0.014	0.996	1.880	1.874	0.018	0.993	1.894	1.876	0.014
Ti	0.000	0.003	0.014	0.012	0.000	0.004	0.013	0.030	0.000	0.002	0.015	0.024
Al	0.000	0.174	0.250	13.694	0.000	0.190	0.269	12.865	0.000	0.163	0.256	13.081
Cr	0.000	0.011	0.024	2.172	0.000	0.019	0.040	3.031	0.000	0.014	0.031	2.802
Fe	0.219	0.204	0.091	2.014	0.192	0.175	0.082	1.944	0.208	0.193	0.081	2.061
Mn	0.001	0.005	0.000	0.002	0.001	0.006	0.002	0.000	0.001	0.003	0.002	0.000
Mg	1.788	1.716	0.834	6.129	1.813	1.707	0.835	6.112	1.801	1.722	0.827	6.033
Ca	0.002	0.019	0.849	0.004	0.001	0.027	0.784	0.002	0.001	0.023	0.830	0.003
Na	0.000	0.002	0.080	0.001	0.000	0.009	0.122	0.000	0.001	0.004	0.096	0.004
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002
	3.006	4.020	4.016	24.042	3.004	4.017	4.020	24.003	3.008	4.017	4.015	24.024