하동군 월횡리에서 토륨광물과 수반된 함REE 갈럼석의 산출상태

Occurrence of REE-bearing Allanite with Th-mineral (thorite) in Wolhoengri, Hadong, Korea

최 진 범(Jin Beom Choi)* · 곽 지 영(Ji Young Kwak)

경상대학교 지구환경과학과, 경상대학교 기초과학연구소
(Department of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of Natural Sciences,
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

요약 : 하동군 옥종면 월횡리에는 과거 개발하던 티탄철석 광산이 위치하며, 주변 지질은 선캄브리아기 지리산 편마암 복합체가 광범위하게 분포하고 이를 회장암이 관입하고 있다. 간극누적형 회장암체 내 티탄철 광체가 발달하고 있으며, Ti-광체 내 희토류원소를 포함하는 갈럼석이 맥상으로 발달하고 있다. 갈럼석의 CaO 함량은 11.02~12.81 wt%로 낮은 반면, ΣR_2O_3 는 상대적으로 높은 17.21~21.58 wt% (R = Ce, La, Nd)의 범위를 보여준다. 갈럼석이 높은 방사능 이상치를 보여주는 이유는 갈럼석 내에 미립의 광물상으로 존재하는 토륨 광물인 톨라이트(thorite, $ThSiO_4$) 때문인 것으로 밝혀졌다. 톨라이트는 3~6 μm 크기의 입상으로 누대구조를 보여주며, 화학분석 결과 ThO_2 는 65~72.78 wt%, UO_2 는 5.49~12.78 wt%의 함량을 보였다. 이러한 광물학적 특성은 톨라이트를 함 REE 갈럼석을 찾는 방사능 탐사를 함에 있어 좋은 지시자로 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 티탄철석, 회장암, 간극누적형, 희토류원소, 갈럼석, 톨라이트

ABSTRACT : Ilmenite mine was developed in the anorthosites which intruded Precambrian Jirisan gneiss complex in Wolheongri, Okjong-myeon, Hadong. Ti-ore bodies are confined to the intercumulated type anorthosites, where REE-bearing allanite occurred as veins. The chemistry of allanites shows relatively low in CaO (11.02~12.81 wt%), but high in ΣR_2O_3 (R = Ce, La, Nd) (17.21~21.58 wt%), respectively. Abnormally high radioactive detection ascribes to the presence of small particles of thorium mineral known as thorite ($ThSiO_4$). Thorite shows 65~72.78 wt% (ThO_2) and 5.49~12.78 wt% (UO_2) in composition. The radioactive prospecting could be a strong tool to find REE-bearing allanite which is closely associated with Ti-ore deposits.

Key words : ilmenite, anorthosite, intercumulated type, REE (rare earth element), allanite, thorite

*Corresponding author: +82-10-4586-1180, E-mail: jbchoi@gnu.ac.kr

서 론

경남 하동-산청 지역은 국내에서 유일하게 선캄브리아기 회장암이 분포하고 있다. 그동안 이에 대한 성인연구(Jeong, 1980, 1987; Jeong and Lee, 1986)가 진행되었으며, 그 결과 회장암의 유형을 괴상형(MT: massive type), 층상형(LT: layered type), 간극누적형(IT: intercumulated type), 엽상형(FT: foliated type)으로 구분하였다. 한편, 회장암 내 티탄철석 광상의 산출이 보고되었으며, 간극누적형 암체에 국한되어 폭 2~10 m, 연장 약 14 km의 남북방향 대상으로 발달하고 있다(Jeong *et al.*, 1989).

이후 한국지질자원연구원에 의해 회장암 분포지 중 하동 일대에 대한 광상조사가 실시되었으며, 일부 광체의 분포와 산상이 확인되고 12개공 1,630 m의 시추가 수행되어 TiO_2 3.36~4.04%, 8,667,950 톤의 매장량을 확보하였으나 품위가 낮아 경제성은 없는 것으로 평가되었다(Kim and Seo, 1990; Kim *et al.*, 1991a; Seo *et al.*, 1992). 또한 하동-산청 심성암체의 티타늄 광상평가(Koh *et al.*, 2003)와 심부광체 부존가능성 평가(Chi *et al.*, 2008)를 실시하였으며 옥종면 월형리(KDR 신소재개발원)의 가행광산에서 TiO_2 약 20 wt.%의 고품위 광체를 확인하였다. 또한, 함티타늄광체와 관련하여 회장암질암의 성인연구가 수행되어, 과거 4종류의 회장암 유형을 엽상형, 간극누적형 및 괴상형의 3유형으로 구분하였다(Lee *et al.*, 1999, Jeong *et al.*, 2010).

최근 국내 희유금속자원 탐사 및 활용기술개발 사업의 일환으로 하동 Ti-REE 광화대 탐사를 수행하고 있으며, 과거 옥종면 월형리에 소재한 KDR 신소재개발원에서 가행해온 항내에서 토륨(Th)을 함유한 광물을 수반한 갈럼석(allanite) 맥이 티탄철 광체 내에 발달한 것이 확인되었다. 이러한 산출은 월형리에 인근한 정수리에서 희유금속원소(REE)를 함유한 갈럼석 결정의 발견(Kim *et al.*, 1992)과도 일치하고 있다. 그러나 방사능사진법에 의해 토륨의 존재를 확인하고 있으나 메타미트 상태로 추정할 뿐 구체적인 광물상이나 함유상태를 밝히지 못하고 있다. 그리고 티탄철석±금홍석 및 티탄철석±인회석의 산출상태로 방사능이상치와의 관련성을 지적하며 방사능측정기를 이용한 티타늄 탐사를 제안하였다(Koh, 2010).

갈럼석은 녹염석군 광물로서 토륨과 La, Ce 및

Nb 등 경희토류를 함유하는 광물로 알려져 있으며(Exley, 1980; Gromet and Silver, 1983, Campbell and Ethier, 1984; Orlandi and Pasero, 2006), 다양한 치환에 의한 복잡한 화학조성과 함께 구조에 대해서도 많이 알려져 있지 않다(Dollase, 1971; Erict, 2002). 한편, 갈럼석은 화성암부터 변성암까지 다양한 조성의 암석에서 산출되는데, 화강암, 화강섬록암, 몬조니암, 및 섬강암 등의 주요한 부성분광물로서 미량원소의 진화에 많은 영향을 미치고 있으며, 특히 침강대의 지각 내 화성암 성인 연구에 중요한 역할을 한다(Exley, 1980; Gaines *et al.*, 1997; Hermann, 2002, Cox *et al.*, 2003; Gieré and Sorensen, 2004; Hoshino *et al.*, 2006, 2007). 광역변성 지대에서는 염기성 내지 중성의 변성암 및 각섬암의 부성분광물로 산출되며(Sorensen and Grossman, 1989; Gieré, 1996; Finger *et al.*, 1998, Franz *et al.*, 1986; Tribuzio *et al.*, 1996; Hermann, 2002, Spandler *et al.*, 2003), 이때 경희토류와 토륨을 함께 수반한다(Hermann, 2002).

이번 연구는 티탄철석 광체 내에 관입된 희토류 원소를 함유하는 갈럼석과 함께 수반되는 토륨광물의 산출에 대해 밝히고자 한다. 갈럼석은 조사지역에서 티탄철 광체에 밀접히 수반되기 때문에 방사능탐사를 활용하여 Ti-광상 탐사에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

일반 지질

연구지역인 하동군 옥종면 일대의 지질은 선캄브리아기에 해당되는 영남육괴의 지리산 편마암 복합체가 넓은 지역에 분포하고 있으며, 회장암체가 이를 관입하여 남북으로 길게 대상 분포하고 있으며 동쪽으로 경상계 퇴적암이 부정합으로 피복하고 있다(그림 1). 지리산 편마암 복합체는 화강암질 편마암류와 결정질편암으로 구성된 준편마암류와 화강편마암과 반상변정편마암으로 구성된 정편마암류로 이루어져 있으며, 정편마암류가 준편마암류를 관입 및 포획한다. 연구지역 정편마암류의 관입-정지 시기는 $2,230 \pm 50 \sim 1,950 \pm 50$ Ma로 보고되었다(Kim *et al.*, 1991b). 이들을 회장암이 관입하고 있으며, 연령은 $1,678 \pm 90$ Ma (Kwon and Jeong, 1990), $1,792 \pm 90$ Ma (Park *et al.*, 2001)로 보고하였다. 이 회장암체의 연대는 세계적으로 원생대 육괴형 북미지역 회장암체 연대 범위인 1.2~1.65 Ga와 유사하다(Morse, 1982). 회장암질암체

와 인접한 지리산 편마암 복합체는 적어도 3차례 광역변성작용을 받았는데 각각 1차 각섬암상, 2차 및 3차 녹염석-각섬암상이 보고되었으며(Lee, 1980; Lee *et al.*, 1981), 회강암질암은 3차의 변성작용을 받았으며 이들을 점이적으로 해석하였다(Jeong, 1987). 조사지역의 하단에 섬록암체가 관입을 하고 있으며(Jeong and Kim, 1989), 최근 연대측정 결

연구지역의 주요 모암인 회장암은 산청지역은 불규칙한 암주상(10×12 km)인데 반해, 하동지역은 남북으로 길게 발달한 대상형(폭 2~3 km, 길이 약 25 km)으로 발달하고 있다. 이 회장암체는 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 괴상형, 간극누적형, 엽

Fig. 2. An underground map of the Weolheongri ilmenite mine showing the radioactive intensity along wall. Location of Th-U minerals shown in red circle. (left figure) (from Koh, 2010). Occurrence of REE-bearing allanite vein in the Ti ore bodies (right photo).

Fig. 3. Allanites specimen and measured counts by a spectrometer. (A) photomicrographs showing pleochroism of allanite at an angle of 100°, (B) at an angle of 145° (C & D) (All: allanite, Qtz: quartz).

상형으로 대상분포를 보여주고(Jeong *et al.*, 2010), 티탄철 광체는 간극누적형 암체에 국한하여 발달하고 있으며, 갈럼석은 티탄철 광체 내 소규모 맥상으로 관입한다.

갈럼석의 특징

산출상태

REE를 포함하는 갈럼석은 간극누적형 회장암 내에 배태되어 있다. 갱내에서 폭 15~20 cm, 길

nification.

소광을 보여주며, 갈색 내
영을 보였다(그림 3).

을 방출하고 있으며, Kim Th-U이 갈륨석 내 메타믹으로 설명하고 있다. 따라서 광상능 물질의 상태를 알기 위하여, 화학원소별 면

갈륨석의 주성분인 Ca, Si,

Table 1. EPMA analyses of allanite in Wolheongri ilmenite mine area

Sample No.	Allanite (weight%)							
	aln-1	aln-5	aln-6	aln-8	aln-9	aln-10	aln-11	aln-12
SiO ₂	31.43	32.89	33.03	31.33	32.13	32.03	32.02	31.95
Al ₂ O ₃	17.25	20.03	18.53	17.97	18.71	18.84	19.45	17.24
FeO	15.74	14.03	14.51	15.58	15.04	15.03	14.71	16.45
CaO	11.02	12.81	12.65	11.03	12.02	11.81	12.57	11.11
Ce ₂ O ₃	12.25	8.98	8.85	10.38	10.02	9.60	9.08	10.18
La ₂ O ₃	5.14	4.53	4.59	5.63	5.19	5.10	4.98	5.34
Nd ₂ O ₃	4.19	3.82	3.77	4.64	4.30	4.22	3.74	4.34
Total	97.00	97.09	95.93	96.55	97.40	96.63	96.54	96.61
	Cation (mole%)							
	aln-1	aln-5	aln-6	aln-8	aln-9	aln-10	aln-11	aln-12
Si	44.577	44.868	45.386	44.423	44.522	44.605	44.163	44.751
Al	14.420	16.101	15.005	15.011	15.227	15.463	15.809	14.229
Fe	18.672	15.999	16.672	18.470	17.429	17.508	16.965	19.273
Ca	16.747	18.721	18.623	16.756	17.841	17.617	18.583	16.671
Ce	3.180	2.242	2.226	2.695	2.542	2.448	2.292	2.611
La	1.343	1.140	1.162	1.472	1.327	1.310	1.267	1.379
Nd	1.080	0.930	0.926	1.174	1.063	1.049	0.921	1.086
ΣREE	5.603	4.312	4.314	5.341	4.932	4.807	4.480	5.076

Al, 및 O의 성분이 관찰되며, 전체적으로 La, Ce, Nd 등의 REE 원소들을 함유하고 있음을 알 수가 있다. 특히 그림 4B에서 보듯이, 갈럼석 내 미립의 석영, 티탄철석이 수반되며, 방사능 물질인 Th와 U가 함유된 부분이 관찰된다. Th와 U를 함유한 부분이 비록 미립이라 하더라도 메타믹트 상태보다는 별도의 단일 광물로 함께 수반된 것으로 생각된다.

갈럼석에 대한 정확한 화학조성을 구하기 위해 JEOL JXA-8100 전자현미분석기(electron probe microanalyzer)를 사용하여 정량분석을 실시하였다(표 1). EPMA 분석 결과, CaO의 함량은 11.02~12.81 wt%로 낮은 편이며, FeO의 함량이 14.03~16.45 wt%로 일반적인 갈럼석에 비해 약 8~9% 높음을 알 수 있는데, 이는 주위의 회장암체 내에 배태되어있는 Ti광화대의 영향으로 사료된다. 전체적인 ΣR₂O₃는 17.21~21.58 wt%로 높다. Ce의 함량이 2.24~3.18 mole%, La의 함량은 1.16~1.38 mole%로 Ce의 함량이 La보다 상대적으로 높은 Ce형 갈럼석으로 판단되며 Nd의 함량은 0.92~

1.09 mole%를 보여준다. 그리고 분석치의 총합이 100%가 되지 못하는데, 이는 미립으로 함유된 REE 원소와 Th-U 광물의 원인으로 생각된다.

토륨(Th) 광물

주사전자현미경에 의한 화학성분 면분석 결과(그림 4), Th-U를 함유한 방사능 물질은 갈럼석 내 광물로 수반되어 상당량의 방사선을 방출하고 있음이 밝혀졌다. 이에 갈럼석 내의 Th 광물이 어떤 상태로 존재하는지 자세히 알아보기 위해 면 분석을 실시하였다(그림 5).

토륨 광물은 전자현미경하에서 최대 10 μm의 크기를 가지며, 많은 양이 발견되었다. 그림 5에서 보듯이, 입상으로 타원 내지 불규칙한 둥근 형태를 보여주며 대개 3~6 μm 크기의 미립으로 존재한다. 토륨 광물은 화학조성상 바깥쪽에 락스를 이루는 누대구조를 보여주는 데, 바깥쪽이 토륨의 함량이 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 형태로 보아 갈럼석에 방사능 성분으로 메타믹트 상태로 들어 있는

Fig. 5. SEM photographs of thorite (ThSiO₄). (A) BSE, (B) EDX spectrum and (C) element mapping image.

것이 아니라 독립된 광물로 갈럼석과 수반되어 산출되는 것을 알 수 있다.

토륨 광물에 대한 EPMA 정량분석을 실시하였다(표 2). 표 2에서 보듯이, Th-U를 함유한 톨라이트(thorite, ThSiO₄)로 밝혀졌다. 톨라이트 내 ThO₂는 65~72.78 wt%의 함량과 UO₂ 5.49~12.78 wt%의 함량을 각각 보여주고 있다. CaO가 0.724~2.609 wt%로 상당량 함유된 것은 톨라이트 입

자가 워낙 미립이라 분석 탐침범이 일부 갈럼석을 성분을 분석한 것으로 사료된다. 이와 같이 톨라이트가 갈럼석과 밀접히 수반되기 때문에, 희토류를 함유하는 갈럼석 자원 탐사에 방사능탐사법을 활용할 수 있으며 나아가 티탄철 광체의 새로운 탐사에도 활용이 가능하다.

Table 2. EPMA analyses of thorite in Wolheongri ilmenite mine area.

Sample No.	Thorite (weight%)							
	thr-3	thr-5	thr-8	thr-8a	thr-8b	thr-8c	thr-8d	thr-10
ThO ₂	72.51	67.30	66.48	65.76	66.76	66.97	66.29	72.77
UO ₂	7.16	11.12	11.18	12.78	11.69	11.88	11.83	5.48
SiO ₂	16.80	17.89	18.17	17.70	17.74	18.27	18.61	18.67
CaO	0.72	1.72	2.24	2.20	2.61	2.36	2.49	2.13
Total	97.20	98.02	98.07	98.44	98.80	99.48	99.22	99.05
Cation (mole%)								
Th	46.255	40.822	39.625	39.520	39.633	39.398	38.682	42.760
U	4.468	6.593	6.518	7.511	6.787	6.834	6.747	3.150
Si	47.104	47.683	47.581	46.747	46.287	47.239	47.731	48.209
Ca	2.173	4.902	6.276	6.222	7.294	6.529	6.840	5.881

결 론

연구 지역은 과거 KDR 신소재개발원이 가행하던 티탄철석 광산이 위치한 하동군 옥종면 월횡리 일대이다. 주변 지질은 선캄브리아기의 지리산 편마암 복합체가 넓게 분포하고 있으며, 이를 회장암체가 관입하고 있다. 이 회장암체 내에 간극누적형 암체에 티탄철 광체가 발달하고 있으며, REE를 포함하는 갈럼석은 갱내에서 폭 15~20 cm, 길이 수 m의 맥으로 산출하며, 주먹크기의 괴상으로도 산출하고 있다. 괴상의 단일광물 또는 석영과 수반되며, 녹염석, 저어콘, 흑운모와 함께 산출된다.

갈럼석은 CaO의 함량은 11.02~12.81 wt%로 낮은 편이며, ΣR_2O_3 는 17.21~21.58 wt%로 높았다. 토륨 광물은 갈럼석 내에 별도의 광물상으로 존재하는 톨라이트로 밝혀졌다. 3~6 μm 크기의 입상으로 누대구조를 보여준다. 화학분석결과 ThO₂는 65~72.78 wt%, UO₂는 5.49~12.78 wt%의 함량을 보였다. 갈럼석과 함께 수반되는 톨라이트는 높은 방사능 이상치를 보여준다. 따라서 톨라이트를 함 REE 갈럼석을 찾는 방사능 탐사를 함에 있어 좋은 지시자로 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 에너지기술평가원의 에너지·자원기술개발 사업-전략융합기술사업 중 ‘국내 희유금속 탐사 및 활용 기술개발’과제(1단계: 2012.01.01.~2014.12.31.)의 1차년도 사업의 일부로서 수행되었다. 심사해주고 교열해 주

신 추창오 박사 및 익명의 심사위원에게 감사드린다.

참고문헌

- Campbell, F.A. and Ethier, V.G. (1984) Composition of allanite in the footwall of the Sullivan orebody, British Columbia. *Canadian Mineralogist*, 22, 507-511.
- Chi, S., Koh, S.M., Ko, I.S., Kim, D.U., Kim, S.Y., Kim, Y.U., Kim, Y.D., Kim, I.J., Ryoo, C.R., Park, S.J., Seo, J.R., Yoo, J.H., Lee, M.J., Lee, J.H., Lee, H.Y., and Heo, C.H. (2008) Reevaluation of strategy mineral resources and development of exploration techniques for ore deposits. KIGAM, GP2007-017-2008(2), 403p.
- Cox, R.A., Wilton, D.H.C., and Košler, J. (2003) Laser-ablation U-Th-Pb in situ dating of zircon and allanite: an example from the October harbour granite, central coastal Labrador, Canada. *Canadian Mineralogist*, 41, 273-291.
- Dollase, W.A. (1971) Refinement of the crystal structures of epidote, allanite, and hancockite. *American Mineralogist*, 56, 447-464.
- Erick, T.S. (2002) The Mess that is “allanite”. *Canadian Mineralogist*, 40, 1411-1419.
- Exley, R.A. (1980) Microprobe studies of REE-rich accessory minerals: implications for Skye granite petrogenesis and REE mobility in hydrothermal systems. *Earth and Planetary Science Letters*, 48, 97-110.
- Finger, F., Broska, I., Roberts, M.P., and Schermaier, A. (1998) Replacement of primary monazite by apatite-allanite-epidote coronas in an amphibolite facies

- granite gneiss from the eastern Alps. *American Mineralogist*, 83, 248-258.
- Franz, G., Thomas, S., and Smith, D.C. (1986) High-pressure phengite decomposition in the Weissenstein eclogite, Munchberger Gneiss Massif, Germany. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 92, 71-85.
- Gaines, R.V., Skinner, H.C.W., Foord, E.E., Mason, B., and Rosenzweig, A. (1997) *Dana's New Mineralogy* (8th ed.). 1195-1205, John Wiley & Sons, New York.
- Gieré, R. (1996) Formation of rare earth minerals in hydrothermal systems. In: Jones, A.P., Wall, F., Williams, C.T. (eds.). *Rare Earth Minerals; Chemistry, Origin and Ore Deposits*. Mineral. Soc. Series, 105-150, Chapman & Hall.
- Gieré, R. and Sorensen, S.S. (2004) Allanite and other REE-rich epidote-group minerals. In *Epidotes* (A. Liebscher & G. Franz, eds.). *Review in Mineralogy and Geochemistry*, 56, 431-493.
- Gromet, L.P. and Silver, L.T. (1983) Rare earth element distributions among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 925-940.
- Hermann, J. (2002) Experimental constraints on phase relations in subducted continental crust. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143, 219-235.
- Hoshino, M., Kimata, M., Shimizu, M., Nishida, N., and Fujiwara, T. (2006) Allanite-(Ce) in granitic rocks from Japan: genetic implications of patterns of REE and Mn enrichment. *Canadian Mineralogist*, 44, 45-62.
- Hoshino, M., Kimata, M., Arakawa, Y., Shimizu, M., Nishida, N., and Nakai, S. (2007) Allanite-(Ce) as an indicator of the origin of granitic rocks in Japan: importance of Sr-Nd isotopic and chemical composition. *Canadian Mineralogist*, 45, 1329-1336.
- Jeong, J.G. (1980) Petrogenesis of anorthosite and related rocks in Hadong-Sancheong district, Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University.
- Jeong, J.G. (1987) Magmatic differentiation of the anorthositic rocks in Hadong-Sancheong area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 23, 216-228.
- Jeong, J.G. and Lee, S.M. (1986) Regional metamorphism of anorthositic rocks in Hadong-Sancheong area. *Memor. for Prof. Sang Man Lee's 60th*, 87-106.
- Jeong, J.G., Kim, W.S., and Watkinson, D.H. (1989) Geologic structure of Hadong anorthositic rocks and associated titanium orebody. *Journal of the Geological Society of Korea*, 25, 98-111.
- Jung, J.S., Kim, J.S., Cho, H., Song, C.W., Son, M., Ryoo, C.R., Chi, S., and Kim, I.S. (2010) Occurrence and deformation of Fe-Ti ores from the Proterozoic Hadong anorthosites, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 19, 31-49.
- Kim, S.Y. and Seo, J.R. (1990) Study on geology and ore deposits for rare metals in Korea. KIER, KR-90-2D-1, 82p.
- Kim, S.Y., Seo, J.R., Yang, J.I., and Kim, S.B. (1991a) Geology and ore deposits of rare elements in Hadong and Uljin Area, Korea. KIER, KR-91-2D-1, 78p.
- Kim, Y.J., Lee, C.S., and Kang S.W. (1991b) Petrochemistry on intermediated-base plutons in Jirisan area of the Ryongnam Massif. *Journal of Korean Earth Science Society*, 12, 100-122.
- Kim, W.S., Jeong, J.G., Lee, K.H., and Watkinson, D.H. (1992) Rare metal occurrences within the anorthosite in the Hadong-Sancheong area, Kyungnam Province, Korea. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 5, 14-21.
- Koh, S.M. (2010) Occurrence of ilmenite deposits in Hadong-Sancheong Area. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 23, 25-37.
- Koh, S.M., Yu, J.H., Kim, Y.U., Lee, H.Y., and Song, M.S. (2003) Evaluation and exploration of titanium and feldspar deposits in Hadong-Sancheong-Hapcheon Area. KIGAM, KR-03(C)-16, 70p.
- Lee, J.M., Jeong, J.G., and Kim, W.S. (1999) The preliminary study on the evolution of Hadong anorthositic rocks and their genetic relations with ilmenite-bearing ore bodies, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 35, 321-336.
- Lee, S.M. (1980) Metamorphic facies analysis for the representatives of meta-morphic belts. *CGMW Bull.*, 25, 21-27.
- Lee, S.M., Na, K.C., Lee, S.H., Park, B.Y., and Lee, S.W. (1981) Regional metamorphism of the metamorphic rock complex in the southeastern region of the Sobaeksan massif. *Journal of the Geological Society of Korea*, 17, 169-188.
- Moon, J.J., Moon S.W., and Jaw, Y.J. (2012) SHRIMP zircon ages of the dioritic rocks from the Hadong area in the southeastern Yeongnam Massif (Abs.). *Fall Conference of the Association of Korean Geoscience Societies*, The Geological Society of Korea, 211.
- Morse, S.A. (1982) A partisan review of Proterozoic anorthosites. *American Mineralogist*, 67, 1087-1100.
- Orlandi, P. and Pasero, M. (2006) Allanite-(La) from Buca Della Vena Mine, Apuan alps, Italy, an epidote-group mineral. *Canadian Mineralogist*, 44, 63-68.
- Park, K.H., Kim, D.Y., and Song, Y.S. (2001) Sm-Nd mineral ages of charnockites and ilmenite-bearing

- anorthositic rocks of Jirisan area and their genetic relationship. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 10, 27-35.
- Seo, J.R., Park, S.W., Lee, P.G., Oh, M.S., and Lee, B.J. (1992) Study of rare metal mineral resources in the Hadong area. KIER, KR-92-1C-2, 72p.
- Sorensen, S.S. and Grossman, J.N. (1989) Enrichment of trace-elements in garnet amphibolites from a paleo-subduction zone: Catalina Schist, Southern California. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 76, 3155-3177.
- Spandler, C., Hermann, J., Arculus, R., and Mavrogenes, J. (2003) Redistribution of trace elements during prograde metamorphism from lawsonite blueschist to eclogite facies: implication for deep subduction-zone processes. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 146, 205-222.
- Kwon, S.T and Jeong, J.G. (1990) Preliminary Sr-Nd isotope study of the Hadong-Sanchung anorthositic rocks in Korea: Implication for their origin and for the Precambrian tectonics. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 341-349.
- Tribuzio, R., Messiga, B., Vannucci, R., and Bottazzi, P. (1996) Rare earth element distribution during high-pressure-low-temperature metamorphism in ophiolitic Fe-gabbros (Liguria, northwestern Italy): implications for light REE mobility in subduction zones. *Geology*, 24, 711-714.

접수일(2012년 12월 16일), 수정일(1차 : 2012년 12월 26일),
 게재확정일(2012년 12월 27일), 책임편집위원 : 신동복