산청 철-티탄 광화대의 발달양상과 연성변형

류충렬^{1*} · 김종선² · 손 문² · 고상모¹ · 이한영¹ · 강지훈³

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부, ²부산대학교 지질환경과학과,
³안동대학교 지구환경과학과

Development Pattern and Ductile Deformation of the Sancheong Fe-Ti Mineralized Zone, Korea

Chung-Ryul Ryoo^{1*}, Jong-Sun Kim², Moon Son², Sang-Mo Koh¹, Han Yeang Lee¹, and Ji-Hoon Kang³

¹Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and
Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University,
Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea

요 약: 하동-산청 회장암체의 북부에 해당하는 산청회장암체 서쪽부인 경남 산청군 금서면 방곡리 일대에는 철-티탄 광체가 발달하고 있다. 광체에는 엽리가 잘 발달하고 있으며, 대체로 남-북 방향에 서쪽으로 중각 내지 저각의 경사를 보인다. 이들 엽리는 2차 엽리로 회장암 내에 발달하는 북동 방향의 1차 엽리를 자르고 있다. 엽리면에는 신장선구조가 잘 관찰되며, 동북동-서남서의 일반적인 방향을 보인다. 광체의 엽리를 자르는 단면에서는 수 cm의 크기의 회장암편들이 심하게 변형되어져 있으며, 철-티탄 광물을 함유하는 암색의 엽기성 물질에 둘러싸여 백색의 안구상의 형태를 이루고 있다. 이는 회장암질암을 함철-티탄 마그마가 파쇄하며 주입할 당시에 각력화 되었던 회장암편들이 이후에 발생한 연성의 전단운동에 의해 변형을 받은 결과로 해석된다. 엽리면에 수직하며 신장선구조에 평행한 단면에서의 전단증거에 의하면, 엽리면을 전단면으로 하며 신장선구조를 따라 상부가 동북동 쪽으로 이동한 강력한 전단작용이 존재함이 특징적이다. 이러한 전단운동에 의해 변형된 특징적인 기하학적인 양상의 이해는 이 지역에 발달하는 광체의 위치와 분포, 그리고 불규칙한 폭 등 기하학적인 양상을 파악하는데 기초적인 것으로 판단된다.

핵심어: 산청회장암체, 철-티탄 광체, 남-북 엽리, 신장선구조, 전단운동

Abstract: Fe-Ti ore bodies occur in the western part of the Sancheong anorthosites around Banggok-ri, Sancheong, Korea. Within ore bodies, a several centimetric size of anorthositic breccia are enclaved by ore-bearing mafic part and deformed strongly as a sigmoidal form by ductile shearing. The ore bodies have a general N-S trending foliations with westward dipping directions. The foliation developed in the ore bodies cut the foliation in anorthosites. The stretching lineations are well developed in the foliated plane of the ore bodies, showing ENE-trending with gentle plunging angle to the ESE direction. The sigmoidal patterns of anorthositic breccia in the ore bodies indicates the top-to-the-eastnortheastward shearing. Thus, in this study area the relationship between the geometric pattern and the ductile deformation is an important fact to understand the Sancheong Fe-Ti mineralized zone, Korea.

Key word: Sancheong anorthosite, Fe-Ti ore body, N-S foliation, stretching lineation, shearing movement

*Corresponding author
Tel: 042-868-3347
E-mail: ryooocr@kigam.re.kr

서 론

하동-산청 회장암체는 영남육괴의 남서부와 지리산 지구의 동단부에 분포한다. 지리산 구조구는 특징적으로 북동 방향의 대규모 전단대 사이에 규제되어 북동 방향으로 길쭉한 평행사변형의 형태를 이루고 있다. 이 구조구의 동쪽 전단부에 하동-산청 회장암체가 남-북 방향으로 발달하고 있으며, 남쪽의 하동회장암체와 북쪽의 산청회장암체로 구분된다(Figs. 1 and 2). 하동-산청에 분포하는 남-북 방향의 회장암체 내에는 같은 방향으로 철-티탄 광체가 단속적으로 발달하고 있으며(Jeong, 1980, 1982; Jeong *et al.*, 1989; Jung *et al.*, 2010; Koh, 2010), 최근에 이들의 지구조 특성에 대하여 논의되기 시작하였다(Chi *et al.*, 2008; Ahn *et al.*, 2009; Jung *et al.*, 2010; Koh, 2010; Kim *et al.*, 2011; Lee and Kang, 2012). 아울러 산청회장암체 내에서도 처음으로 철-티탄 광화대가 확인되었으며, 이에 대한 상세한 지표노두 스케치와 함께 광체의 생성근원으로 백립암의 존재가

제시된 바 있다(Ahn *et al.*, 2009, 2010; Kim *et al.*, 2011).

산청회장암체의 남서부에서 최근 새로이 확인된 철-티탄 광체와 주변 회장암질암은 강력한 연성전단변형을 받았으며, 이러한 운동학적 변형에 의해 특징적인 기하학적 양상을 보이고 있음이 확인되어, 이들 연성 변형에 대한 상세한 구조적인 특성을 기재하고, 지구조의 특성을 논의하고자 한다.

지 질

연구지역인 경남 산청군 금서면 방곡리와 자혜리 일대는 회색의 화강편마암과 우백질 편마암, 회장암질암이 발달하고 있다. 회장암질암 내에는 고철질 백립암과 변성 반력암이 관입하고 있으며, 철-티탄 광체도 단속적으로 분포하고 있다(Figs. 3 and 4).

하동-산청 지역의 회장암질암은 유색광물의 함량과 특징적인 구조에 따라 괴상형(massive type), 층상형(layer type), 간극누적형(intercumulate type), 엽상형

Fig. 1. Geological map around the Sancheong anorthosites and the study area (after Jeong *et al.*, 1989; Kim *et al.*, 2011).

Fig. 2. Geological map around the Hadong-Sancheong area and the study area (compiled by Koh, 2010).

(foliation type) 등 4가지로 분대된 바 있으며(Jeong *et al.*, 1989), 회장암과 반려암질 회장암으로도 구분된 바 있다(Kwon, 1991). 티타늄 광체는 간극누적형 암체에만 발달하는 것으로 알려져 있다.

조사지역의 회장암은 주로 사장석으로 구성되며, 피상 내지는 북동 방향에 고각의 경사를 보이는 엽리가

우세하다(Figs. 5 and 6). 소위 피상의 경우도 엽리면이 발달하나, 구성 물질이 순수하여 육안상 엽리면의 인식이 어려운 상태라 할 수 있다.

연구지역 서편의 마천 일대의 화강편마암은 $1,690 \pm 28$ Ma로 보고된 바 있으며(Lee and Yun, 1994), 하동-산청 회장암체의 연대는 Sm-Nd 동위원소법으로

Fig. 3. Geological map around the Banggok-ri, Sancheong and the study area showing the outcrop localities (modified from Kim *et al.*, 2011).

1,678±90 Ma(Kwon and Jeong, 1990), 1.79±0.09 Ga의 최소 생성연대(Park *et al.*, 2001)가 알려진 바 있다. 최근, 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대측정 결과 하동회장암체에서 1,857±13 Ma(변성시기), 산청회장암체에서 1,852±13 Ma(변성시기), 그리고 고철질 백립암에서 1,902±14 Ma의 연대가 알려졌다(Kim *et al.*, 2011).

방곡마을 앞 오봉천 하상과 큰쌍재골 일대에 동-서 방향의 소규모 관입상으로 백립암체가 발달하고 있다(Figs. 3 and 4)(Kim *et al.*, 2011). 백립암은 세립질의 티탄철석과 현정질 석류석을 유색광물로 가지며, 암색을 보여 주변의 백색인 회장암과는 뚜렷한 차이를 보인다. 백립암 내에는 회장암편이 포획되어져 있고, 동-서 내지는 동북동 방향으로 심하게 신장되어져 신장선구조를 이루고 있으며, 회장암과 백립암의 경계부 역시 같은 방향으로 심하게 신장되어 매우 불규칙한 경계가 특징적이다(Ryoo *et al.*, 2012). 이들 백립암에서 유래된 물질로 보이는 염기성 물질이 회장암 내에 주입되어 철-티탄 광체를 이루고 있다(Kim *et al.*, 2011).

오봉천 하상의 백립암체 부근에는 변성된 소규모의

Fig. 4. Geological map around the Banggok-ri, Sancheong and the study area showing the distribution of Fe-Ti ore bodies and stretching lineation with shear direction (modified from Kim *et al.*, 2011).

반려암이 관찰된다(Figs. 3 and 4). 이들은 모두 심하게 연성변형을 받았으며, 동-서 내지는 동북동-서남서 방향의 신장선구조가 잘 발달하고 있다. 연구지역 서편의 마천 반려암질암의 Rb/Sr 전암연대가 248±9.2 Ma로 전기 트라이아스기에 관입한 암체로 보고된 바 있다(Lee and Yun, 1994). 이들 반려암들에서도 일부는 엽리가 잘 발달하고 있어 방곡리 일대의 변성 반려암과 유사한 양상을 보인다.

조사지역에는 수 cm 내지 수 m의 폭을 보이는 다수의 염기성 또는 산성질 암맥들이 특정한 방향성과 선후관계를 보이며 발달하고 있다. 이들은 광체를 포함하는 연성변형을 받은 암석들을 자르고 있으며, 대체로 연성변형은 받지 않았다. 엽리가 있는 염기성 암맥군(N55°E 방향)에서 약 260 Ma, 북서 주향의 염기성 암맥군에서 222.2±2.8, 산성암맥 220.9±4.6 Ma를 보여, 이들의 연대가 고생대 말-트라이아스기 초입이 확인된 바 있다(Kim *et al.*, 2010).

조사지역 내에는 북북동 방향의 단층이 자혜리에서 오봉천을 가로 질러 오봉마을을 지나며 발달하고 있다(Figs. 3 and 4). 방곡천 하상의 노두에서 좌향의

주향이동운동이 우세한 이 단층을 ‘오봉단층’이라고 명명된 바 있으며(Fig. 2), 이 단층은 더 남쪽으로 지리산 동부의 유평리를 지나 무재치기 폭포 부근에서 무재치기 폭포를 지나는 북동 방향의 선상구조곡에 의해 단절된다(Ryoo *et al.*, 2012).

철-티탄 광체의 지질구조

조사지역에서 방곡리와 자혜리의 방곡천변과 상사계곡, 그리고 상사계곡 북쪽의 쌍재골, 상사계곡 동쪽의 지류 계곡인 작은 쌍재골과 큰 쌍재골 일대에는 회장암질암 내에 철-티탄광체가 엽리상으로 발달하고 있다(Fig. 5). 철-티탄 광체는 주로 수 cm 크기의 회장암편과 이를 둘러싸고 있는 엽기성 기질부로 구성된다. 엽기성 기질부 내에 철과 티탄광물이 육안으로 관찰된다. 따라서 광체의 형성은 회장암체 내로 주입된 엽기성 물질에 의한 것으로 알 수 있다.

조사지역의 광체는 심하게 연성변형을 받아 연장과 폭이 불규칙한 양상을 보임이 특징적이다. 광체 노두는 주로 계곡의 하상 부근에서만 확인되므로, 최대 수 십 m 정도 추적은 가능한 편이나 대체로 수 m 규모로 확인된 상태다. 따라서 광체의 연장성 평가는 현재 불확실한 편이다. 그러나 광체의 폭이 지역에 따라 변할 뿐 만 아니라, 한 노두에서도 폭의 변화가 심하며 첨멸하므로 광체의 연장성은 심한 연성변형에 의해 불규칙적인 상태를 보일 것으로 추정된다.

광체의 폭은 쌍재골 입구 부근에서 12 m로 최대를 보이나, 대체로 수 십 cm - 수 m를 보이며, 여러 조의 광체가 동시에 발달하기도 한다.

Fig. 5. Outcrops of anorthosite and Fe-Ti ore body with stretching lineations (L1), developed in the small Ssangjaegol, Jahye-ri, Sancheong. (a) Anorthosite with foliation (S1) in SC62 site. (b) Fe-Ti ore body and lineation (L1) in SC61. (c) Fe-Ti ore body and (d) lineation (L1) in SC61. (e) Fe-Ti ore body and (f) lineation (L1) in SC56. (g) Fe-Ti ore body and (h) lineation (L1) in SC53 (see Fig. 3 for localities).

Fig. 6. Distribution of foliations observed in the Fe-Ti ore bodies (left), anorthosites (center), and of stretching lineations (right) developed in the northern part of Obong-cheon (SC11 site of Fig. 3), Jahye-ri, Sancheong. Lower hemisphere and equal area projection.

Fig. 7. Distribution of foliations observed in the Fe-Ti ore bodies of the Sangsa valley, Banggok-ri, Sancheong. SC35 (left) and SC41 (right) sites of Fig. 3. Lower hemisphere and equal area projection.

Fig. 8. Distribution of stretching lineations observed in the Fe-Ti ore bodies developed around Banggok-ri and Jahye-ri, Sancheong. Lower hemisphere and equal area projection.

광체 내에는 엽리면이 잘 발달하고 있으며(Fig. 5), 이들의 일반적인 방향은 남-북 방향에 가까우나 북북서에서 북동에 이르기 까지 변화를 보이고(Fig. 6), 서쪽으로 중각 내지 저각의 경사를 보인다.

엽리면에는 연성변형에 따른 신장선구조가 뚜렷하며(Fig. 5), 엽리면을 따라 광체 내에는 수 cm 크기의 회장암편들이 심하게 변형되어 시그모이드 형태나 비대칭적인 등사습곡을 보이기도 하며, 때로는 칼집 습곡의 형태가 관찰되기도 한다. 신장선구조는 대체로 서북서 방향의 선주향이 우세하며, 엽리면의 경사

와 마찬가지로 중각 내지 저각의 침강각을 보인다(Figs. 4, 5, 7 and 8). 엽리면에 수직하며 신장선구조에 평행한 단면에서의 관찰에 의하면 상부가 동북동 방향으로 이동한 전단감각을 보인다.

광체의 경계부가 때로는 명확한 직선상이어서 맥상인 듯 보이기도 하나 엽상구조의 발달 이후에 있었던 준연성의 전단운동이나 단층운동의 결과로 보인다.

철-티탄 광체의 지화학적 특성

조사지역에서 관찰되는 철-티탄 광체의 주원소 화학조성은 Table 1에 나타내었다. SiO_2 의 함량범위는 37-51 wt%의 함량 범위를 보이며, K_2O 는 주로 0.33-0.78 wt%의 함량범위를, MnO 는 0.11-0.40 wt%의 함량범위를 보인다. Al_2O_3 는 10.3-21.8 wt%의 함량 범위를 나타내고, CaO 가 6.6-11.2 wt%의 함량 범위를 보이며, Na_2O 는 0.8-3.3 wt%의 함량범위를 보인다. Fe_2O_3 는 7.2-31.2 wt%의 함량범위를 보이고, TiO_2 는 주로 1.2-13.4 wt%의 함량범위를 보인다.

지점별로 살펴보면, 쌍재골 입구 부근의 노두에서 약 13 wt%와 8 wt% 등의 높은 TiO_2 함량을 보인다(Table 1의 SC11과 SC13). 나머지 지점은 대체로 1-7 wt% 내외의 TiO_2 함량을 보이며, Fe_2O_3 의 경우, 주로 10-30 wt%의 함량을 보인다. 참고로 산청군 금서면 향양리 자막교 부근(SC121)에서는 약 2.5 wt%의 TiO_2 함량을 보이며, 금서면 특리의 특리고 부근(SC131)의 염기성 암맥에서는 약 4.5 wt%의 TiO_2 함량을 보인다(Table 1).

Table 1. Chemical compositions analysed by XRF on the Fe-Ti mineralized ore bodies developed in the Banggok-ri area, Sancheong (see Fig. 3 for sample localities)

Sample No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Igloss
SC04	47.78	19.94	12.84	8.28	2.51	0.38	3.25	3.88	0.17	0.52	0.04
SC11	37.28	10.35	25.05	6.59	3.95	0.33	1.33	13.37	0.40	1.06	-0.39
SC13	40.97	12.72	21.78	8.09	3.66	0.41	1.52	8.51	0.30	1.45	0.26
SC14	41.25	13.37	18.70	10.07	3.37	0.34	1.92	7.25	0.29	2.90	0.05
SC15	49.40	20.06	11.63	9.60	2.36	0.51	2.82	2.46	0.17	0.47	0.35
SC16	49.44	17.26	15.35	8.57	3.68	0.36	2.65	1.45	0.25	0.40	0.23
SC17	48.34	15.38	17.44	7.73	3.40	0.75	2.10	3.10	0.26	0.78	0.36
SC20	49.33	14.09	19.47	7.84	5.64	0.37	1.76	0.78	0.30	0.22	0.45
SC21	42.95	16.96	16.22	8.75	2.27	0.59	2.48	7.93	0.20	1.22	-0.45
SC35	47.43	15.85	17.24	8.80	3.75	0.83	2.04	3.18	0.25	0.60	0.20
SC36	41.30	15.38	16.10	11.16	2.64	0.34	2.25	7.22	0.22	2.92	-0.07
SC40	41.62	15.05	17.37	10.32	2.90	0.44	2.00	7.14	0.24	2.52	-0.10
SC41	51.57	21.78	7.23	9.63	1.51	1.08	3.34	1.62	0.11	0.58	1.10
SC42	47.05	19.29	12.45	8.65	1.90	0.56	2.93	5.53	0.17	0.67	0.35
SC43	49.02	20.12	11.06	9.04	2.04	0.74	3.06	2.97	0.17	0.64	0.82
SC44	45.53	13.63	19.76	8.66	4.58	0.37	1.89	3.88	0.31	1.13	0.22
SC48	51.54	17.92	12.82	8.47	3.79	0.47	2.12	0.80	0.19	0.14	1.80
SC51	43.32	14.19	19.33	9.30	3.70	0.44	1.87	5.28	0.28	1.81	-0.26
SC53	51.48	18.65	10.18	11.09	4.56	0.57	2.09	0.20	0.16	0.07	0.84
SC61	40.83	8.84	24.80	8.10	6.12	0.19	0.79	7.93	0.38	1.68	0.17
SC65	51.43	19.78	7.89	10.91	2.75	0.78	2.63	1.18	0.12	1.00	1.19
SC75	42.96	10.64	31.20	4.68	4.83	0.43	0.96	3.74	0.36	0.45	-1.27

논의와 결론

산청-하동 회장암체의 북부에 해당하는 산청회장암체 서부인 경남 산청군 금서면 방곡리 일대에 철-티탄 광체가 발달하고 있다. Ahn *et al.* (2009)과 Kim *et al.* (2011)는 산청회장암체의 서쪽 연변부의 회장암을 관입한 우흑질 백립암과 티탄광체를 발견하고, 산청회장암체 내에 발달하는 철-티탄 광체는 모암인 회장암질암과의 경계특성과 내부변형 정도에 따라, 규칙 관입광맥형과 불규칙 광맥군형으로 구분하였다. 전자는 회장암질암과 일정한 방향의 관입경계를 이루며 내부에는 뚜렷한 연성전단변형이 인지되는 반면, 후자는 구불구불하고 불규칙한 관입경계를 보이며 내부 연성전단변형은 거의 인지되지 않는 것으로 보였다. 그리고 광체는 회장암질암 엽리의 생성 이후에 관입하였음과, 백립암이 주변 철-티탄 광체의 모암임을 제시하였다.

산청회장암체 내의 철-티탄 광체에는 엽리면이 잘 발달하고 있으며, 대체로 남-북 방향에 서쪽으로 중각

내지 저각의 경사를 보인다. 이들 엽리는 2차 엽리로 회장암 내에 발달하는 1차 엽리를 자르고 있다. 엽리면에 발달하는 신장선구조는 동북동-서남서의 일반적인 방향을 보인다.

철-티탄 광화대 구간에서는 수 cm의 크기의 회장암편들이 심하게 변형되어 철-티탄 광물을 함유하는 엽기성 물질에 둘러싸여 백색의 안구상의 형태를 이루고 있다. 이는 회장암질암을 함철-티탄 마그마가 파쇄하며 주입할 당시에 각력화 되었던 회장암편들이 이후에 발생한 전단운동에 의해 연성변형을 받은 결과로 해석된다. 또한 엽리면을 전단면으로 하며 신장선구조를 따라 상부가 동북동 쪽으로 이동한 전단운동의 존재를 지시하는 전단증거를 보인다. 이러한 양상은 조사지역 남측에 남-북 방향으로 발달하는 차노카이트(Lee, 1997; Park *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2004)도 비슷한 연성변형의 연장선상에 있어, 유사한 지구조적 발달과 정치과정을 나타낼 것으로 보인다.

방곡리 방곡마을 앞 오봉천 하상에는 회장암과 백립암 모두 강력한 연성전단변형을 보이고 있다. 그러

나 회장암과 백립암의 경계가 별다른 변형이 없이 관입된 양상을 깨끗하게 보인다는 것은 변형 이후의 관입 가능성을 지시한다고 볼 수 있다. 한편 광체는 심하게 변형되어 있으므로 소위 백립암의 관입 부분은 광체와는 관계없는 후기의 관입일 가능성이 높다.

광체의 노두는 주로 방곡리 일대의 계곡의 하상 노두나 부근에서만 확인되므로, 광체의 연장성 평가는 현재 불확실한 편이다. 그러나 광체의 폭이 지역에 따라 변할 뿐 만 아니라 한 노두에서도 폭의 변화가 심하며 첨멸하기도 한다. 따라서 광체의 연장성은 심한 연성변형의 결과, 불규칙적인 상태를 보일 것으로 추정된다. 광체의 폭은 쌍재골 입구 부근에서 12 m로 최대를 보이나, 대체로 수 십 cm - 수 m를 보이며, 여러 조의 광체가 동시에 발달하기도 한다. 그러므로 전단운동에 의해 변형된 특징적인 기하학적인 양상의 이해는 이 지역에 발달하는 광체의 위치와 분포, 그리고 폭의 불규칙한 변화 등 기하학적인 양상을 제대로 파악하여, 시추위치와 광량 등을 결정하고 산정하는데 가장 우선시되어야 할 기초적인 자료로 판단된다.

사 사

이 논문은 한국지질자원연구원이 한국에너지기술평가원의 사업으로 수행한 2013년도 ‘국내 희유금속자원 탐사 및 활용기술개발’ 과제의 일환으로 수행된 것임을 밝힙니다. 이 논문을 심사하여 주신 강희철 박사과 김성욱 박사께 감사드립니다.

References

- Ahn, S.-H., Kim, J.-S., Cho, H., Son, M., Kim, I.-S. and Ryoo, C.-R., 2009, Newly reported Fe-Ti ores and dark greyish granulite in the Proterozoic Sancheong anorthositic rocks, Korea. *Proceedings of the Joint Conference of the Geoscience and Technology of Korea (Fall)*, 160.
- Ahn, S.-H., Kim, J.-S., Cho, H., Song, C.-W., Son, M., Ryoo, C.-R. and Kim, I.-S., 2010, Classification and relative chronology of dyke swarms in the Proterozoic Sancheong anorthositic rocks, South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 13-30.
- Chi, S.-J., Koh, S.-M., Park, S. J., Ko, I. S., Seo, J.-R., Kim, D.-O., Yoo, J. H., Kim, S.-Y., Lee, M. J., Kim, Y. U, Lee, J.-H., Kim Y.-D., Lee, H.-y., Kim, I.-J., Heo, C.-H. and Ryoo, C.-R., 2008, Revaluation of strategy mineral resources and development of exploration techniques for ore deposits. *Report of Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*, GP2007-017-2008(2), 403p.
- Jeong, J.-G., 1980, Petrogenesis of anorthosite and related rocks in Hadong-Sancheong district, Korea. Ph. D. dissertation, Seoul National University, 153p.
- Jeong, J.-G., 1982, Petrology studies on anorthositic rocks in Hadong-Sancheong district, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 18, 83-108.
- 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.-J. and Kim, I.-S., 2010, Occurrence and deformation of Fe-Ti ores from the Proterozoic Hadong anorthositic rocks, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 19, 31-49.
- Kim, J.-S., Cho, H., Ahn, S.-H., Song, C.-W., Son, M. and Kim, I.-S., 2010, SHRIMP U-Pb age dating and its implication in the Sancheong anorthositic rocks and dyke swarm, Yeongnam Massif, Korea. *Proceedings of the Joint Conference of the Geoscience and Technology of Korea (spring)*, 125-126.
- Kim, J.-S., Ahn, S.-H., Cho, H., Song, C.-W., Son, M., Ryoo, C.-R. and Kim, I.-S., 2011, Occurrences of Fe-Ti ore bodies and mafic granulite in the Sancheong anorthositic rocks, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 20, 115-135.
- Koh, S.-M., 2010, Occurrences of ilmenite deposits in Hadong-Sancheong area. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 23, 25-37.
- Kwon, S.-J., 1991, Petrological study on Hadong-Sancheong anorthositic rocks near Deokcheon River, Sancheonggun, Gyeongsangnamdo, Korea. M.A. dissertation, Yonsei University, 130p.
- Kwon, S.-T. and Jeong, J.-G., 1990, Preliminary Sr-Nd isotope study of the Hadong-Sancheong anorthositic rocks in Korea: implication for their origin and for the Precambrian tectonics. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 341-349.
- Lee, D.-S. and Kang, J.-H., 2012, Geological Structures of the Hadong Northern Anorthosite Complex and its surrounding Area in the Jirisan Province, Yeongnam Massif, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 21, 287-307.
- Lee, S.-W., 1997, Research on the regional metamorphism and isotope age of metamorphic complex of southwestern Sobaeksan Massif. Nulweon Cultural Foundation, Research Report, 46p.
- Lee, S.-W. and Yun, S.-H., 1994, Petrological study and Rb/Sr whole rock age dating on gabbroic rocks in the Macheon area, northern Jirisan, Korea. 27th Proceedings of the Korean Society of Economic and Environmental

- Geology, 32.
- Lee, Y.-T., Lee, S.-W. and Ock, S.-S., 2004, Petrology of charnockite in Sancheong area. Journal of the Korean Earth Science Society, 25, 251-264.
- 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.
- Ryoo, C.-R., Kim, J.-S. and Kang, J.-H., 2012, Geometric pattern and ductile deformation of the Sancheong Fe-Ti mineralized zone, Korea. Proceedings of the Korean Earth Science Society, 20-31.
-
- 2013년 6월 5일 접수
 2013년 6월 7일 심사개시
 2013년 6월 21일 채택