홍천 철-희토류광체의 발달양상

이한영* · 류충렬

한국지질자원연구원, 광물자원연구부

Developmental Aspects of Hongcheon Fe-REE Ore Body

Han Yeang Lee* and Chung Ryul Ryoo

Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources(KIGAM), Mineral Resources Division

요약: 홍천 자은리에 분포하는 탄산염암류 기원의 철-희토류 광화대는 북부, 중부, 그리고 남부의 3개 광체가 남-북 방향으로 단속적으로 발달하고 있는데 지질구조 분석을 통해 이들의 분포와 연장특성을 파악하였다. 북부광체 및 중부광체 일대의 편마암에서의 엽리는 북북동 방향을 보이나, 광체의 남쪽으로 가면서 북동에서 동북동 방향으로 방향이 바뀌며 남부광체 부근에서는 다시 남-북 방향을 보이고 있다. 기하학적으로 분석되는 이 일대의 습곡은 자은교에서 새마을교 까지 북서쪽으로 오목하게, 완만하게 열린 습곡(open fold)으로 습곡축이 북서쪽으로 약 45° 침강하는 향사를 이루며, 새마을교 서측의 약수터 부근에서는 습곡축이 북서 방향으로 약 45° 침강하는 소규모의 배사를 이루고 있다. 이들 습곡은 약수터에서 새마을교 쪽으로 달리는 서북서 방향의 우수향 주향이동단층에 의해 단층끝림의 효과도 받은 것으로 추정된다. 엽리의 자세로 예측되는 습곡구조를 따라 일부 새로운 광체가 확인되므로 현재 추정층으로 피복되어져 있는 자은리 남쪽 지표상에서 미확인된 광체들이 중부와 남부 광체 사이에 엽리방향과 경사를 고려하면 거꾸로 된 기억자(ㄱ) 형태로 잠두고 있을 것으로 추정된다. 이 지역에서 구조적으로 해석된 광체의 추정연장선 파악은 광체 확보를 위한 시추위치 선정과 매장량 산정에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

핵심어: 광체, 습곡, 우수향 주향이동단층, 단층끝림효과, 추정연장선

Abstract: Fe-REE deposits occurred in Jaenri, Hongcheon formed by carbonatitic melts consist of 3 parts such as northern, middle and southern ore bodies showing discontinuous distribution, and extension shape of ore bodies can be figured through field survey and geometric analysis. Foliations in gneiss around northern and middle ore bodies represent NNE, whereas toward south its direction changes gradually from NE to ENE and finally N-S direction appears in southern ore body. From Jaegungyo to Saemaegungyo geometric analysis from field work gives that fold shape in this area is open synclinal fold concavely and gently to NW with 45° northwestward plunging axis, in contrast small scale anticline with 45° northwestward plunging axis in Yagsooteo area near western part of Saemaegungyo. Dragging effect could be occurred on these folds by WNW trending dextral strike-slip fault from Yagsooteo to Saemaegungyo. New ore body can be confirmed from folding structure estimated by trend of foliation, and thus unidentified ore body may be exist under alluvial surface from middle to southern ore body and its distribution could show reversed "ㄱ", one of Korean consonants, considering with estimated strike and dip of foliations. This estimated extension of ore body figured out by structural analysis in the studied area works an important role for measuring of ore reserve and selecting of drilling site to find new ore body.

Key words: ore body, fold, dextral strike-slip fault, dragging effect, estimated extension

*Corresponding author

Tel: 042-868-3103

E-mail: hanlee@kigam.re.kr

서 언

홍천 두촌면 자은리 일대의 철-희토류 광상은 북부와 남부광체로 나누어지며 장남천을 따라 남북방향으로 2 km 대상으로 분포하고 있다. 그리고 이들 북부광체 사이에는 하상에 조그마한 타형으로 분포하는 중부광체의 노두를 관찰할 수 있으나 개발할만한 광체의 폭을 가지고 있지는 않다. 북부와 남부광체는 이전에 소규모 철광산으로 개발되었으나 지금은 폐광으로 방치되어 있다. 본 광체의 모암에는 다양한 탄산염광물들과 희토류, Nb, Ba, Sr의 함량이 높아 국내에서 발견되는 일반적인 금속광상의 암체와는 확연히 다른 특이한 암상을 보여주기 때문에 본 광상을 형성하는 암상의 종류와 성인을 파악하여야만 본 지역의 철-희토류광상의 형성을 추정할 수 있었다. 다행히도 이들 광체에 대한 광물암석학적 지구화학적 성인연구는 Kim *et al.*(2001), Lee *et al.*(2002), Park and Lee(2003) 그리고 Oh *et al.*(2010)에 의하여 선행되어 상세하게 밝혀졌으며, 본 암은 탄산염암용융체(carbonatitic melt)에서 유래된 것으로 일반적인 철질탄산염암(Fe-carbonatite)과는 차이가 나는 포스코라이트(phoscorite)로 밝혀졌다. 본 연구에서는 지난 2년간 매장량 파악을 위한 시추작업을 수행하면서 현장에서 수집된 모암과 주변암들의 노두관찰결과를 구조적으로 해석하여 북부와 남부광체 사이에 분리된 중부광체의 연속성을 파악하고자 한다.

일반지질

조사지역의 일반지질은 Lee *et al.*(2002)에 의하여 기술되어 있으며 간략하게 소개하면 아래와 같다. 흑운모 편마암, 각섬석-흑운모 편마암, 화강암질 편마암으로 구성된 선캄브리아기 경기편마암류 복합체가 본 역에 분포하고 있으며 지질조사는 Shin *et al.*(1975), Lee and Lee(1989), Lee *et al.*(1991)에 의하여 선행 조사되었다. 특히 Lee *et al.*(1991)는 이 지역 변성암류의 최고변성온도 및 압력을 650°C, 5-6 kb로 상부 각섬석상에 속하는 변성상으로 규명하였다. 흑운모 편마암은 장남천의 동부지역에 분포하며 주로 흑운모, 석영, 장석으로 구성되고 유색과 무색의 광물대가 잘 관찰되며 N30-70°W, 15-60°SW의 주향과 경사를 보인다. 흑운모-각섬석 편마암은 장남천의 서부지역에 분포하며 흑운모 편마암과는 점이적이며 흑운모, 각

섬석, 사장석으로 주로 구성된다. 각섬석의 선상배열로 엮리가 현저하며 앵피블라이트가 협재한다. 중골입구 하천 가장자리와 두촌중학교 뒤편에 분포하는 조립질 화강암은 편리를 보이며 석영은 신장되어있고 장석들은 변질작용에 의한 견운모화의 특징을 보인다(Fig. 1).

광체의 암석학적 특성

남부 및 북부광체로 나누어지는 광상의 암체는 대부분 다량의 자철석과 탄산염광물들을 함유하나 북부광체 하상노두 한 곳과 남부광체의 국부적인 맥상에서 자철석이 거의 없는 부분이 산출되며 전체적으로는 대상형태를 보인다. 주변암의 틈을 따라 주입되어 반웅테를 형성하기도 하고 접촉부에는 편리를 따라 층층관입 형태로 관입하거나 열극을 충전한 형태들이 관찰된다. 광체는 주 구성광물이 돌로마이트-안개라이트, 자철석이며, 부 구성광물은 마그네사이트-능철석, 모나자이트, 스트론티아나이트, 휘구소나이트, 콜롬바이트, 금운모, 인회석, 아지린회석, 중정석, 황철석, 황동석등이 수반된다. 이러한 광물조합은 Fe-카보나타이트의 조성광물과도 흡사하나 높은 Fe 함량과 금운모의 수반으로 포스코라이트에 해당된다 하겠다(Park and Lee, 2003). 이들 암체 중 자철석이 거의 없는 부분을 Oh *et al.*(2010)는 동일기원의 탄산염암 마그마에서 불혼화용액에 의한 카보나타이트로 구분하였다. 이들 암체주변에는 재결정화된 알바이트, Na-앵피블, Na-휘석으로 구성된 변질기원의 페나이트가 대상으로 분포하고 있다. Lee *et al.*(2002)의 연구결과에 의하면 모나자이트는 희토류 함유광물로 돌로마이트-안개라이트, 능철석, 스트론티아나이트 등의 탄산염광물들과 밀접하게 연정으로 나타나며 이들에 둘러싸여 용식된 것도 관찰되어 모나자이트와 탄산염광물들은 동일마그마 기원의 안정된 온도에서 형성된 것으로 보인다. 입자크기는 0.02-2 mm로 균열이 발달된 것과 균열이 없는 미립의 신선한 2종류로 구분된다. 미세균열은 일반적으로 탄산염암멜트가 정체되어 냉각 정출되면서 많은 양의 CO₂가 수용압력을 이기지 못하고 빠져나갈 때 파쇄작용을 일으켜 미세균열이 형성되는데(Le Bas, 1987), 파쇄작용 이전에 형성된 자철석은 미세균열이 잘 발달되어 있고 모나자이트는 균열이 잘 발달된 것과 없는 것들이 나타나는 것으로 보아 파쇄작용 이전뿐만 아니고 이후에도 연속적으로

Fig. 1 Geological map and developmental aspects of the Hongcheon Fe-REE ore body (modified from Park *et al.*, 2003; Ryoo and Lee, 2011).

정출된 것으로 보인다. 자철석은 Ti함량이 없는 순수한 성분을 보여(Lee *et al.*, 2002) 매우 낮은 온도까지 정출이 진행되었다고 보여진다. 탄산염광물들은 위에서 언급한 돌로마이트-안개라이트, 능철석-마그네사이트-능망간석의 고용체성분들이 나타나며 자철석의 함량이 빈약한 암상에서 $\text{Sr}(\text{Sr}/\text{Sr}+\text{Ca})_{\text{값}}$ 이 0.84-0.98

의 스트론티아나이트가 분포한다(Lee *et al.*, 2002). 경하에서 백운모의 특징과 비슷한 금운모는 탄산염암의 관입접촉부와 탄산염암 본체주변부에 나타나며 담록색을 띤다. $\text{Mg}_{\text{값}}(\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe})_{\text{이}}$ 평균 0.74이며 Al 함량은 높고 대표적인 분자식은 $(\text{K}_{.86}\text{Al}_{.12}\text{Na}_{.02})(\text{Mg}_{.74}\text{Fe}_{.26}\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH},\text{F})_2)$ 이다.

화학적 성분은 일반적인 Fe-탄산염암(Wooley and Kempe, 1989)에 비해 주성분에서 높은 Fe_2O_3 (26 wt%)와 SiO_2 (7.12 wt%), 낮은 CaO (13.56 wt%) 함량이 특징이며, 미량원소에서는 Nb (93 ppm), Zr (9 ppm), Zn (97 ppm)의 함량이 매우 낮으며 (Table 3 and 5 in Park and Lee, 2003) SiO_2 증가에 따른 미량원소들의 변화는 소수의 원소를 제외하고는 (V, Ni는 뚜렷한 증가) 분산이 심하여 뚜렷한 변화 경향을 나타내지 않는다. 희토류 원소는 평균 5 wt%로 일반적인 Fe-탄산염암보다는 매우 높으며 La-Sm의 경희토류가 부화되어 있고 (La/Lu 값: 596-16,797) Eu 이상치는 Eu/Sm은 0.18-0.25로 별다른 이상은 없으나 결과적으로 경희토류의 심한 농집과 중희토류의 결핍 현상은 매우 높은 분별 정도를 나타내고 있다. 홍천 광체 모암인 탄산염암의 $\delta^{13}\text{C}$ (vs. PDB)과 $\delta^{18}\text{O}$ (vs. SMOW) 안정 동위원

소 값은 각각 -3.89~-9.31%, 7.96~12.81%로 전형적인 화성기원을 보여주며 4개의 모나자이트 입자에서 구한 U/Pb 연대는 충분한 결과는 아니지만 한 개의 입자에서 850 Ma의 원생대로 나타나나, 정확한 연대 파악을 위해서는 좀 더 많은 개수의 연대 측정 결과가 앞으로 있어야 한다.

광체의 지질구조

철-희토류 광체와 주변 모암인 편마암에서 잘 발달하는 엽리는 칼집형 습곡과 같은 변형 구조와 함께 광화작용이 있는 이후의 강력한 전단이나 습곡 작용의 존재를 나타내며 (Fig. 2) 칼집형 습곡의 경우, 북서-남동 방향의 신장선 구조와 함께 발달하고 있으며, 북서에서 남동 방향으로의 이동 방향성을 보인다. 홍천광

Fig. 2. Sheath fold (left) and refolding of sheath fold (right) in the gneiss indicating very high deformation, developed in the eastern part of Junggol, Hongcheon.

Fig. 3. Asymmetric feldspar porphyroblasts in the gneiss indicating the top-to-the north shearing, developed in the eastern part of Junggol, Hongcheon.

Fig. 4. Tight fold developed in the Fe-REE ore body (left), Wondong-ri, Hongcheon. Fault plane showing horizontal striation (right), developed in the northwestern part of the Saemal, Hongcheon. L1 : striation.

Table 1. List of foliations in the Hongcheon Fe-REE deposits

No.	Dip direction and Dip of foliation	No.	Dip direction and Dip of foliation	No.	Dip direction and Dip of foliation
1	328/60	26	256/34	51	266/40
2	124/48	27	228/25	52	264/40
3	232/35	28	265/25	53	236/36
4	274/30	29	250/60	54	264/50
5	276/56	30	272/54	55	270/40
6	272/60	31	275/55	56	218/30
7	190/40	32	282/50	57	267/55
8	274/48	33	172/60	58	285/80
9	306/60	34	286/50	59	292/62
10	335/32	35	256/45	60	278/55
11	342/45	36	240/43	61	282/50
12	302/45	37	265/32	62	290/40
13	315/54	38	262/42	63	315/45
14	338/56	39	280/30	64	338/70
15	328/45	40	280/45	65	264/84
16	290/43	41	250/40	66	276/45
17	272/84	42	272/50	67	218/37
18	230/60	43	250/50	68	335/54
19	338/70	44	270/30	69	230/36
20	242/40	45	208/30		
21	222/26	46	235/35		
22	232/65	47	188/28		
23	176/10	48	232/35		
24	268/58	49	274/30		
25	066/80	50	208/32		

화대 동부에서 잘 발달하는 편마암 내의 또 다른 전단증거는 장식 변성반정과 그 주변의 비대칭적인 양상에 의하면 상부가 북으로 이동한 전단을 지시한다 (Fig. 3). 광체를 포함하는 모암에서 뿐 만 아니라 철-희토류 광체에서도 엽리가 잘 발달하고 있어 (Fig. 4),

이들 광화작용이 있는 이후의 강력한 전단이나 습곡 작용의 존재를 지시하고 있다.

조사지역의 광체와 그 주변의 편마암에서 잘 발달하는 엽리를 측정한 결과는 Table 1과 같으며, 이를 스트레오 투영망에 처리한 결과는 Fig. 5와 같다. 가

Fig. 5. Distribution of foliation developed around Hongcheon ore deposits. Projection on the lower-hemisphere of stereonet (data from Table 1).

장 우세한 엽리의 방향은 남-북 내지는 북북서 방향이며 서측으로 저각 내지 중각의 경사를 보인다. 이러한 주 방향의 엽리와는 달리 북동 내지는 동북동과 북서 방향의 엽리들도 국지적으로 발달하고 있다.

중부 광체 일대에 발달하는 광체 주변암인 편마암에서의 엽리는 중부 광체 부근에서는 북북동 방향을 보이나, 남쪽과 서쪽으로 가면서 북동에서 동북동 방향으로 방향이 바뀌며 남부 광체 부근에서는 다시 남-북 방향으로 바뀐다(Fig. 1). 엽리의 자세로 예측되는 습곡구조를 따라 일부 새로운 광체가 확인되므로, 현재 충적층으로 피복되어져 자은리 남쪽 지표상에서 미확인된 광체들이 중부와 남부 광체 사이에 잠두하고 있을 것으로 추정된다. 이 일대의 습곡은 중부 광체가 있는 자은교에서 새말과 두촌초등학교 사이의 새마을교 까지 북서쪽으로 오목하게, 완만하게 열린 습곡으로 습곡축이 북서쪽으로 약 45° 침강하는 향사를 이루고 있다(Fig. 1). 그리고 새말 북서쪽 하천변의 약수터 부근에서도 서북서 방향으로 약 45° 침강하는 습곡축을 가지는 소규모의 배사가 발달하고 있다. 이들 습곡구조는 약수터에서 새마을교를 지나 경수 마을 쪽으로 달리는 서북서 방향의 우수향 주향이동단층(Fig. 5)에 의해 단층꺾림의 효과도 일부 받은 것으로 추정된다. 따라서 이 지역 잠두광체 추정발달 양상은 거꾸로 된 기억자(ㄱ)형태로 중부에서 남부광체로 연결되어질 것으로 보인다.

토의 및 결론

경기육괴 일대는 고생대 동안 대륙 또는 지괴 사이의 충돌을 경험한 것으로 해석되고 있다. 이러한 충돌은 심한 변형작용을 동반하였으며, 고생대 초 이전의 암체들은 대부분 심한 대륙충돌 변형의 효과를 보이게 된다. 이러한 고생대 말에 발생한 송림조산운동과 함께 중생대에 후속된 대보조산운동과 불국사조산운동의 효과도 대부분의 한반도에 걸쳐 작용하였으며 적어도 3회의 주요 구조운동이 존재함을 의미한다. 충돌조산운동의 한 중심에 위치하는 경기육괴의 홍천지역도 예외는 아니다. 따라서 홍천 지역의 선캠브리아기 편마암들과 함께 철-회토류 광체에 잘 발달하는 엽리와 미세습곡은 이들 광화작용이 있는 이후의 강력한 전단이나 습곡작용의 존재를 지시한다. 북부 광체에서 중부 광체를 거쳐 남부 광체에 이르기까지 광화대는 주변의 편마암들과 함께 칼집형 습곡이나 열린 습곡 등 다양한 형태의 습곡을 보이며, 엽리를 또한 방향성을 달리하며 지질도 규모의 습곡의 존재를 지시하고 있다. 이러한 연성변형은 대보와 그 이전 구조운동의 산물로 해석되며, 적어도 2번의 연성운동이 중첩한 것으로 파악된다. 이들 운동은 북서-남동 방향의 칼집습곡, 비대칭 등시습곡과 전단대 등으로 구분된다. 특히, 광체 주변암인 편마암에서의 엽리는 중부 광체 부근에서는 북북동 방향을 보이나, 남쪽과 서쪽으로 가면서 북동에서 동북동 방향으로 방향이 바뀌며 남부 광체 부근에서는 다시 남-북 방향으로 바뀐다. 엽리의 자세로 예측되는 습곡구조를 따라 일부 새로운 광체가 확인되므로 현재 충적층으로 피복되어져 있는 자은리 남쪽 지표상에서 미확인된 광체들이 중부와 남부 광체 사이에 엽리방향과 경사를 고려하면 거꾸로 된 기억자(ㄱ)형태로 잠두하고 있을 것으로 추정된다. 이 지역에서 구조적으로 해석된 광체의 추정연장선은 광체 확보를 위한 시추 위치 선정과 매장량 산정에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Kim, S.J., Lee, H.K., Yin, J., and Park, J.K., 2001, Fe-REE Mineralization of the Hongcheon-Jaen District. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 319-328.
- Le Bas, M.J., 1981, Carbonatite magmas. *Mineralogical Magazine*, 44, 133-140.
- Lee, C.H. and Lee, S.H., 1989, Petrological studies on the

- genesis of the Hongcheon iron deposits, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 25, 239-258.
- Lee, H.Y., Koh, S.M., Hong, S.S., Kim, J.H., 1991, Metamorphism in the Hongcheon area, Korea. 1. Petrology, pressure, and temperature. Journal of the Geological Society of Korea, 27, 339-356.
- Lee, H.Y., Park, J.K., and Hwang, D.H., 2002, Petrography of Hongcheon Fe-REE deposits. Journal of the Petrological Society of Korea, 11, 90-102.
- Oh, Y.B., Park, J.R., Shin, D.B., and Lee, M.-J., 2010, Petrography of Hongcheon carbonatite-phoscorite complex. Journal of the Geological Society of Korea, 46, 367-380.
- Park, J.K. and Lee, H.Y., 2003, Petrochemistry of the Hongcheon Fe-REE ore deposit in the Hongcheon area, Korea. Journal of the Petrological Society of Korea, 12, 135-153.
- Ryoo, C.-R. and Lee, H.Y., 2011, Review on the geological structure of the Hongcheon Fe-REE mineralized zone, Korea. Proceedings of the 2011 Fall Meeting of the Korean Earth Science Society, 36-40.
- Shin, B.W., Hong, M.S., Lee, Y.D., and Park, B.S., 1975, Geological map of Korea, Jaen Sheet (1:50,000), Geological Survey of Korea.
- Woolley, A.R. and Kempe, D.R.C., 1989, Carbonatites: Nomenclature, average chemical compositions, and element distribution., Unwin Hyman, London, 1-14.

2012년 10월 31일 접수
 2012년 11월 8일 심사개시
 2012년 12월 13일 채택