

대남광상에서 산출되는 유체포유물의 연구

유봉철¹⁾ · 이길재^{1)*} · 이종길¹⁾ · 수호톨가¹⁾ · 이현구¹⁾

1. 서론

철은 인류문명에 있어 가장 큰 역할을 한 원소로써 현재 사용되는 금속의 95% 이상을 차지하고 있다. 전세계적으로 철의 주요 생산국은 중국, 브라질, 호주, 인도, 러시아, 우크라이나, 미국 및 스웨덴 등이며 철은 기계기구제조공업, 조선, 자동차공업 및 건설업 등 다양한 분야에 널리 사용되고 있다. 우리나라의 2000년도 철광의 매장량은 3,348 만톤이며 생산량('30~'00)은 2,370만 M/T이나 주로 호주, 브라질, 인도 및 캐나다 등지에서 대부분을 수입하고 있다.

국내의 대부분의 철광상은 성인적으로 마그마 분화, 접촉교대 또는 열수교대, 풍화잔류, 변성 및 열수맥상형으로 산출되며 광화작용시기는 시생대, 쥐라기 및 백악기 및 제3기 등 다양하다. 현재 철을 생산하는 광산은 신에미 및 내화광산이나 품위와 생산량이 낮은 편이다. 대남광상은 백악기 우백질화강암 내에 발달된 EW내지 NW의 단층을 따라 배태되는 철광상으로 백악기 이후의 화성활동 및 이와 관련된 지체구조적 사건과 밀접하게 관련된다. 이 광상의 주채굴대상 광물은 적철석이며, 소규모로 노천채굴 하였으며 1958년에서 1962년까지 9,250 톤을 생산하였다. 이 광상에 대한 지금까지의 연구보고는 Kim and Kim(1982), KMPC(1989) 등이 있으며 이들 보고서에서는 간략하게 지질 및 광상에 대해서만 보고하고 있다. 따라서 이 연구는 대남광상에서 산출되는 유체포유물의 연구를 통하여 이 광상을 형성한 열수유체의 조성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 주변지질 및 광상

대남광상의 주변지질은 Kim and Kim(1982), Chang et al.,(1990) 및 Lee et al.,(1993)에서 보고되어 있어 여기에서는 간략하게 그 개요만을 설명하고자 한다. 이 광상의 지질은 쥐라기 화강암과 이를 부정합으로 피복한 백악기의 동화치층 및 이들을 관입한 백악기 화강암 및 암맥류로 구성된다. 쥐라기 화강암은 광상의 동측에 루우프 팬던트로 분포한다. 이 암석은 부분적으로 장석류가 반정으로 관찰되며 세립의 광물립을 포함하는 포이킬리틱구조를 갖는다. 백악기 동화치층은 광상의 서측에 분포하며 사암, 적색세일 및 역암으로 구성되어 있다. 이 층의 층후는 최대 500 m 정도이며 백악기 화강암과 인접한 부분에선 혼펠스화 되어있다. 백악기 화강암은 이 광상일대에 넓게 분포하며 주로 우백질화강암으로 구성되며 일부 각섬석 내지 흑운모화강암이 관찰된다. 이 암석은 모두 중립 내지 조립질로서 등립의 광물립에 의하여 괴상으로 산출되며 전형적인 반자형의 입상조직을 갖는다(Lee et al., 1993).

광상은 우백질화강암 내에 2개의 맥상광체로 구성되며 동광체와 서광체로 구별하였다. 동광체는 EW 주향에 65~70 NW 경사를 갖으며 맥폭은 최대 14 m 정도이나 평균 10 m 정도이다. 이 광체는 과거 연장 45 m, 심도 5 m 정도로 노천채굴하였으며 이 광체의 동측 연장부에서 2개의 노두가 확인되며 이 광체의 연장은 대략 100 m 정도이다. 서광체는 동광체의 서측에 인접한 광체로 N70W 주향과 55~60NE 경사를 갖으며 과거 소규모 노천채굴하

주요어 : 대남광상, 지체구조, 유체포유물, 산출상태, 냉각/가열실험, 광화유체

1) 충남대학교 지질환경과학과(gilljae.lee@gmail.com)

였다. 이 광체의 맥폭은 최대 10 m이나 평균 5 m 정도이며 연장성은 150 m 정도이다. 이들 광체의 Fe 평균품위는 37.7% 이다. 이들 광체에서 산출되는 광물은 대부분이 적철석, 석영, 장석류, 운모류이며 소량 황철석 및 자류철석 등이다.

3. 유체포유물

유체포유물 연구는 대남광상의 함 적철석 석영맥에서 산출되는 백색석영 및 자형의 투명석영을 대상으로 연마박편을 제작하여 실험하였다. 유체포유물의 산출상태, 가열 및 냉각실험은 Nikon 현미경에 부착된 Linkam THMSG 600을 이용하여 측정하였다. 유체포유물 측정 이전에, Linkam THMSG 600은 USGS에서 제작된 표준시료(H_2O , $H_2O + CO_2$)를 이용하여 보정을 실시하였다. 측정오차는 냉각실험시 $\pm 0.2^\circ C$, 가열실험시 $\pm 0.5^\circ C$ 이다.

대남광상에서 산출되는 유체포유물은 실온($25^\circ C$)에서 관찰되는 상의 종류, 성분에 따라 CO_2 -rich 포유물, CO_2 - H_2O 포유물 및 aqueous 포유물로 분류된다. 여기에서 CO_2 -rich 포유물은 I형 포유물, CO_2 - H_2O 포유물은 II형 포유물 및 aqueous 포유물은 III형 포유물로 명명하였다. CO_2 -rich 포유물은 L_{CO_2} 로만 구성되어 있으며 CO_2 - H_2O 포유물은 L_{CO_2} - L_{H_2O} (IIa형 포유물)와 L_{CO_2} - V_{CO_2} - L_{H_2O} (IIb형 포유물)로 구성되어 있다. aqueous 포유물은 L_{H_2O} - V_{H_2O} (IIIa형 포유물) 및 L_{H_2O} - V_{H_2O} -mica(IIIb형 포유물)로 구성되어 있다.

I형 포유물은 백색석영 내에서 II형 포유물과 함께 산출되며 II형 포유물에 비해 산출빈도가 많다. I형 포유물의 형태는 negative form 및 반원형이며 크기는 $60 \mu m$ 이내이다. IIa형 포유물은 백색석영내에서 I형 및 IIb형 포유물과 함께 산출되며 IIb형 포유물보다 산출빈도가 높다. IIa형 포유물의 형태는 I형 포유물의 형태와 같으며 크기는 $50 \mu m$ 이내이다. IIa형 포유물의 L_{CO_2} 물체적은 0.15~0.9까지 분포한다. IIb형 포유물은 백색석영 내에서 I형 및 IIa형 포유물과 함께 산출되나 산출빈도는 적다. IIb형 포유물의 형태는 I형 및 IIa형 포유물과 같으며 크기는 $40 \mu m$ 이내이다. 이 포유물의 물체적은 0.2~0.3까지 분포한다. IIIa형 포유물은 투명석영 내에서 IIIb형 포유물과 함께 산출된다. 이 포유물의 형태는 negative form, 인장형, 판상 및 불규칙형으로 산출되며 크기는 $80 \mu m$ 이내이다. 이 포유물의 V_{H_2O} 의 물체적은 0.3이내로 액상포유물이다. IIIb형 포유물은 IIIa형 포유물과 함께 투명석영에서 산출된다. 이 포유물의 형태는 IIIa형 포유물과 유사하며 크기는 $60 \mu m$ 이내이다. 이 포유물의 V_{H_2O} 물체적은 0.3 이내로 액상포유물이다.

대남광상에서 산출되는 백색석영 및 투명석영 내의 유체포유물의 냉각/가열 실험 결과, I형 포유물은 냉각시 $-102 \sim -95^\circ C$ 에서 V_{CO_2} 가 응축되며 $T_{i(CO_2)}$ 는 $-84 \sim -82^\circ C$ 이다. I형 포유물의 $T_{m(CO_2)}$ 는 $-61.5 \sim -57.4^\circ C$ 로서 CO_2 이외에 다른 휘발성성분이 존재함을 알 수 있으며 $T_{h(CO_2)}$ 는 $-44.3 \sim 9.5^\circ C$ 로서 폭넓게 분포하고 액상으로 균일화된다.

IIa형 포유물은 V_{CO_2} 의 응축온도가 $-99 \sim -92^\circ C$ 이며 $T_{i(CO_2)}$ 는 $-87 \sim -81^\circ C$ 이다. IIa형 포유물의 $T_{m(CO_2)}$ 는 $-60.3 \sim -57.0^\circ C$ 이며 $T_{h(CO_2)}$ 는 $-17.4 \sim 24.4^\circ C$ 로써 모두 액상으로 균일화된다. IIa형 포유물의 $T_{m(clathrate)}$ 는 $6.9 \sim 11.4^\circ C$ 로서 염농도로 환산하면 0.0~5.9 wt.%이며 $T_{m(clathrate)}$ 값이 $>10^\circ C$ 의 값을 갖는 포유물에선 CO_2 이외에 CH_4 와 같은 휘발성 성분들이 존재함을 알 수 있다. IIa형 포유물은 가열시 decrepitation되어지는 포유물이 많으며 L_{CO_2} 의 물체적에 의하여 액상 또는 기상으로 균일화된다. IIa형 포유물의 균일화온도는 $262 \sim 455^\circ C$ ($T_{htotal(l)} : 262 \sim 455^\circ C$, $T_{htotal(v)} : 299 \sim 361^\circ C$, $T_{htotal(d)} : 176 \sim 277^\circ C$)이다. IIb형 포유물의 $T_{m(CO_2)}$ 는 $-57.1^\circ C$ 이며 $T_{h(CO_2)}$ 는 $26.5 \sim 26.9^\circ C$ 로써 모두 액상으로 균일화된다. IIb형 포유물의 $T_{m(clathrate)}$ 는 $6.6 \sim 7.2^\circ C$ 로서 염농도로 환산하면 5.4~6.5 wt.%이다. IIb형 포유물의 균일화온도는 $325 \sim 346^\circ C$ ($T_{htotal(l)} : 346^\circ C$, $T_{htotal(v)} : 325^\circ C$)이다.

IIIa형 포유물의 실온에서 V_{H_2O} 의 몰체적은 <0.3 로서 모두 액상 포유물이다. V_{H_2O} 의 몰체적은 Bodnar(1983)가 제시한 방법에 의해 계산하였으며 오차범위는 $\pm 5\%$ 이다. 이 포유물의 V_{H_2O} 의 응축온도는 $-37 \sim -31^\circ\text{C}$ 이며 $T_{i(\text{ice})}$ 는 $-26.4 \sim -18.6^\circ\text{C}$ 이다. 이것은 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 이 포유물의 $T_{m(\text{ice})}$ 는 $-3.1 \sim 0.0^\circ\text{C}$ 로서 염농도로 환산하면 $0.0 \sim 5.1 \text{ wt.}\%$ 이다. IIIa형 포유물의 균일화온도는 $182 \sim 266^\circ\text{C}$ 이다. IIIb형 포유물은 고상이 존재하며 이 고상은 평행하게 쪼개짐이 발달하며 평행소광을 하는 것으로 보아 운모이며 외부광물이다. 이 형 포유물의 몰체적은 <0.3 이며 액상포유물이다. 이 포유물의 $T_{i(\text{ice})}$ 는 $-24.2 \sim -23.1^\circ\text{C}$ 으로 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 이 포유물의 $T_{m(\text{ice})}$ 는 $-2.8 \sim -0.7^\circ\text{C}$ 로서 염농도로 환산하면 $1.2 \sim 4.7 \text{ wt.}\%$ 이다. 이 포유물의 균일화온도는 $185 \sim 235^\circ\text{C}$ 이며 모두 액상으로 균일화된다.

4. 토론

대남광상에서 산출되는 백색석영에서 관찰되는 I형 및 II형 포유물의 $T_{m(\text{CO}_2)}$ 와 $T_{h(\text{CO}_2)}$ 의 상관관계를 도시해 보면 정의 상관관계를 갖는데 이것은 CO_2 phase 내에 CO_2 이외에 CH_4 ,와 같은 휘발성 물질의 추가로 인해 $T_{h(\text{CO}_2)}$ 값의 하락을 의미한다. 또한 II형 포유물에 대한 $T_{m(\text{CO}_2)}$ 와 $T_{m(\text{clathrate})}$ 의 상관관계를 살펴보면 약간의 부의 상관관계를 갖는데 이것은 휘발성물질과 salt함량이 반비례 관계임을 의미한다. $T_{m(\text{CO}_2)}$ 와 $T_{h(\text{CO}_2)}$ 값은 I형 포유물보다 II형 포유물이 높은 값을 갖는다. 이것은 I형 포유물이 II형 포유물에 비해 CO_2 이외의 휘발성물질의 함량이 높으며 밀도는 낮음을 의미한다. I형 포유물에 대한 X_{CO_2} , 및 X_{CH_4} 값은 $0.82 \sim 0.95$, $0.05 \sim 0.18$ 이다. IIa 및 IIb형 포유물의 $X_{\text{H}_2\text{O}}$, X_{NaCl} , X_{CO_2} , X_{CH_4} 는 각각 $0.22 \sim 0.94$, <0.01 , $0.05 \sim 0.72$, $<0.01 \sim 0.06$ (IIa형 포유물), $0.61 \sim 0.93$, <0.01 , $0.06 \sim 0.38$, $<0.01 \sim 0.01$ (IIb형 포유물)이다. II형 포유물에 대한 $X_{\text{CO}_2} + X_{\text{CH}_4}$ 와 염농도의 상관관계를 살펴보면, 포유물내 $X_{\text{CO}_2} + X_{\text{CH}_4}$ 의 함량이 감소됨에 따라 염농도는 증가하는 경향을 보인다. 이것은 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{NaCl}$ 계 유체가 immiscibility 됨에 따라 aqueous phase 내에 salt들이 분별되기 때문이다(Bowers and Helgeson, 1983).

가열/냉각 실험으로부터 구한 자료($T_{m(\text{CO}_2)}$, $T_{m(\text{clathrate})}$, $T_{m(\text{ice})}$, $T_{h(\text{CO}_2)}$)로부터 I, IIa 및 IIb형 포유물의 V_{bulk} , d_{bulk} 는 $41.5 \sim 55.7 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $0.78 \sim 0.97 \text{ g/cm}^3$ (I형 포유물), $20.0 \sim 42.6 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $0.86 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ (IIa형 포유물) 및 $21.1 \sim 36.1 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $0.78 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$ (IIb형 포유물)이다. 투명석영에서 산출되는 IIIa 및 IIIb형 포유물의 V_{bulk} 및 $d_{\text{H}_2\text{O}}$ 는 차이가 없으며 전체적인 값은 $20.4 \sim 23.0 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $0.80 \sim 0.89 \text{ g/cm}^3$ 이다.

유체포유물의 포획압력은 관찰되는 포유물의 종류에 따라 여러 가지 열역학적 상태방정식을 이용하여 구할 수 있다. II형 포유물의 가열/냉각 실험으로부터 구한 자료를 기초로 구한 포획압력은 $842 \sim 2,240 \text{ bar}$ 이다.

대남광상에서 산출되는 유체포유물에 대한 균일화온도와 염농도의 관계성을 살펴보면, II 및 III형 포유물은 균일화온도가 감소함에 따라 염농도는 약간 증가한다. 이것은 유체의 불혼합이 있었음을 의미한다. 이 광상의 광화유체는 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{NaCl}$ (균일화온도 : $262 \sim 455^\circ\text{C}$, 염농도 : $0.0 \sim 6.5 \text{ wt.}\%$)계에서 광화작용이 진행됨에 따라 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ (균일화온도 : $182 \sim 266^\circ\text{C}$, 염농도 : $0.0 \sim 5.1 \text{ wt.}\%$)계로 진화되었다.

5. 참고문헌

Bodnar, R.J. (1983) A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids. *Economic Geology*,

v. 78, p. 535-542.

- Bowers, T.S. and Helgeson, H.C. (1983) Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H_2O-CO_2-NaCl on phase relations in geologic systems: Equation of state for H_2O-CO_2-NaCl fluids at high pressures and temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 47, p. 1247-1275.
- Chang, K.H. Woo, B.G. Lee, J.H. Park, S.O. and Yao, A. (1990) Cretaceous and early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang basin, S. Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, v. 26, p. 471-487.
- Kim, M.S. and Kim, S.Y. (1982) Regional investigation on Yong Hae mineralization area. Korea Institute of Energy and Resources, Miscellaneous report, v. 12, p. 7-20.
- Korea Mining Promotion Corporation (1989) Drilling survey report of Ore Deposits. v. 12, p. 286-288.
- Lee, Y.J. Kim, J.W. and Chung, W.W. (1993) Evolution trends of biotite and hornblende in granitic rocks from Yonghae-Yongdok area, northeastern Gyeongsang basin, Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 26, p. 349-361.