

중국 호남성 시죽원다금속광상의 유체포유물 연구

尹京武¹⁾, 이현구¹⁾, 김상중¹⁾

1. 서 언

시죽원 다금속광상은 양자강(楊子江, Yangzijiang) 이남 지방인 화남(華南, Huanan)의 호남성 침주(湖南省 郴州, Hunan Chenzhou)시 동남쪽 16 km 지점에 위치한다. 이 광상은 1957년 호남성 지질국 소속 408 지질팀에 의해 발견된 후 많은 조사와 탐사가 진행되었고 현재는 스카른 및 그라이젠 광상으로 알려진 W, Sn, Mo, Bi 및 F 광상이다. 1967년 이후에는 해발 385, 490, 514, 536 및 558 m에 경도를 개설하여 현재까지 탐광과 채광을 병행하고 있다.

시죽원 광상의 광화작용은 주변에 분포하는 화강암체와 관련된 것으로 보고되어 있으며, 이들 화강암체는 과거의 연구에 의하면 4개의 시기(중-조립질 반상 흑운모화강암→중-조립질 흑운모 화강암→세립질 흑운모 화강암→반암류)로 분류되었다. 그러나 야외조사, 실내실험 및 연대측정 등을 통해서 필자들은 3개의 시기(중-조립질 흑운모 화강암(143~149 Ma)→세립질 흑운모 화강암(137 Ma)→반암류(129 Ma)로 나누었으며, 시죽원 다금속광상의 스카른 및 그라이젠 광화작용과 관련된 화강암체는 중-조립질 흑운모 화강암과 밀접한 관계를 갖으며, 본 광상에서 관찰되는 열수석영맥은 백악기 반암류와 관련된 것이다.

본 연구에서는 화강암 및 그라이젠 시기의 석영, 스카른 시기의 석류석에서 관찰되는 유체포유물에 대해 균일화 온도 및 염농도를 측정하였다.

2. 지질 및 광상개요

시죽원 다금속광상의 주변지질은 선캠브리아기의 변성퇴적암, 캠브리아기의 퇴적암류, 대본기의 석회암, 쥬라기의 화강암류 및 백악기의 화강반암류와 염기성암으로 구성된다.

선캠브리아기의 변성퇴적암류는 이암과 사암으로 구성되며 상호 점이적인 관계이다. 대본기 탄산염질암은 도마진(跳馬灘, Tiaomajian)층, 기재교(棋梓橋, Qiziqiao)층, 사전교(余田橋, Shetianqiao)층 및 석광산(錫鑛山, Xikuangshan)층으로 나뉜다. 이들을 구성하는 암석은 주로 갈색, 회백색 함력사암, 역암, 이질석회암, 두상석회암, 돌로마이트질 석회암, 단괴상 석회암으로 구성되어 있다. 쥬라기 천리산(千里山, Qianlishan) 화강암복합체는 시죽원 광화대의 중앙에 위치하며 분포면적이 약 10 km²이다. 이 복합체는 쥬라기의 관입암체인 2종류의 화강암류로 구성되며, 이들은 백악기의 반암류 및 염기성암류에 의해 관입 및 절단된다.

시죽원 광상은 하나의 거대한 렌즈상 광체로 이루어져 있으며, 광체의 규모는 폭 600 m, 길이 1,200 m 및 두께 300 m이고 가장 두꺼운 곳은 500 m이다. 매장량은 약 3억톤이며 광석의 평균품위는 각각 0.57 WO₃, 0.10~0.28 Sn, 0.09~0.12 Mo, 0.07~0.15 Bi, 5.72~25.58 CaF₂ wt.%이다.

시죽원 광상에서 산출되는 광석광물로는 회중석, 철망간중석, 석석, 휘수연석, 휘창연석, 자철석, 황철석, 황동석, 미확인 Bi-Te-S계 광물, 미확인 우라늄광물 및 미확인 희토류광물 등이다. 맥석광물과 스카른광물로는 석류석, 휘석, 베수비아나이트(vesuvianite), 각섬석, 규회석, 형석, 장식류광물, 석영, 녹니석, 황옥, 전기석, 방해석 및 녹립석 등이 산출된다. 모암변질로는 스카른화, 그라이젠화, 형석화, 규화, 녹니석화 및 견운모화 작용 등이 관찰된다.

3. 연구결과

염농도

연구지역에 분포하는 중-조립질 흑운모 화강암 (1기)과 세립질 흑운모 화강암 (2기)에서 산출되는 석영을 대상으로 냉각실험을 통하여 염농도가 측정되었다. 이 화강암에서는 주로 type b-1, b-2형 포유물이 관찰되고 있으며, type c와 d형 포유물은 소량 관찰된다. 석영내에서 관찰되는 1기 중-조립질 흑운모 화강암의 b-1형 포유물의 염농도는 4.1~13.7 wt. %이며, b-2형 포유물의 염농도는 5~11 wt. %이다. c형 포유물의 염농도는 60~62 wt. %이며 d형 포유물의 염농도는 4.2~5.1 wt. %이다. 2기 세립질 흑운모 화강암에서는 b-1형 포유물의 염농도가 3.7~10.4 wt. %이며, b-2형 포유물은 관찰되지 않는다. c형 포유물의 염농도는 51 wt. %이다. d형 포유물의 염농도는 5.1~5.4 wt. %이다. 스카른의 분대에 따라서 석류석을 대상으로 염농도를 측정하였다. 자철석-휘석-석류석대에서는 주로 b-1형 포유물만 관찰되고 b-2, c, d형 포유물은 관찰되지 않는다. 염농도는 3.8~4.6 wt. %이다. 베수비아나이트-석류석대에서는 b-1, b-2, c 및 d형 포유물이 관찰되며, 염농도는 각각 b-1형; 2.2~11.1, b-2형; 5.2, c형; 58~63.5, d형; 6.7~7 wt. %이다. 면상과 맥상 그라이젠이 분포되고 있고 여기서 산출되는 석영내의 포유물에 대해서 염농도를 측정하였다. 여기서는 b-1, b-2, c, d형 포유물이 관찰되고 있으며, 면상 그라이젠의 염농도 (wt. %)는 각각 b-1형; 5~12.9, b-2형; 7.2~8.5, c형; 59~59.5, d형; 13.~13.5이다. 맥상 그라이젠에서 측정된 염농도 (wt. %)는 각각 b-1형; 4.2~12.3, b-2형; 4.6~5.7, c형; 47, d형; 4.4~7.3이다.

균일화온도

균일화온도는 염농도를 측정한 동일시료의 석류석을 대상으로 실시하였다. 자철석-휘석-석류석대에서 b-1형 포유물만 관찰되고 있으며, 측정된 균일화 온도는 605~620 °C 범위를 갖는다. 베수비아나이트-석류석대의 균일화 온도는 각각 b-1형; 400~497, b-1형; 430~443, c형; 520~560, d형; 310~374 °C이다. 그라이젠의 균일화온도는 염농도를 측정한 동일시료의 석영을 대상으로 실시하였다. 면상 그라이젠의 균일화 온도는 각각 b-1형; 390~455, b-2형; 480~485, c형; 340~385, d형; 451~455 °C이다. d형 포유물의 CO₂의 균일화 온도는 30.1 °C이고, 거의 순수한 임계온도를 갖는다. b-2형의 포유물이 가장 높은 온도범위를 갖는다. 맥상 그라이젠의 균일화온도는 b-1형; 250~350, b-2형; 370, c형; 420~430, d형; 250 °C 정도이다. IV형 포유물의 CO₂의 균일화온도는 면상 그라이젠과 마찬가지로 30.1 °C로서 거의 순수한 임계온도를 보인다.

균일화 온도와 염농도의 관계

스카른은 화강암 접촉대로부터 멀어질수록 균일화 온도 및 염농도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 균일화 온도와 염농도의 상관관계를 보면 대체로 균일화 온도의 증가함에 따라 염농도도 증가하는 경향이 보인다. 자철석-휘석-석류석대에는 단순하게 b-1형 포유물만 관찰되며 베수비아나이트-석류석대에는 b-1, b-2, c, d형 포유물이 관찰된다. 스카른대에서는 이처럼 다양한 포유물의 종류가 관찰되고 있고, 특히 액상으로 균일화되는 포유물과 기상으로 균일화하는 포유물이 공존하는 것으로 볼 때 비등의 증거가 관찰되므로 유체포유물을 통해 구해진 온도에 대한 압력보정이 필요치 않다. 균일화 온도와 염농도 상관관계에서 보여주는 바와 같이 초기에는 주로 온도하강과 함께 염농도가 저하하는 경향을 보이고 있으나, 450 °C 부근에서는 비등에 의한 현상이 관찰되고 있다. 따라서 스카른대에서는 비등 및 냉각에 의한 영향으로 스카른 광물화가 진행되었다고 생각된다. 그라이젠에는 b-1, b-2, c 및 d형 포유물 등 다양하게 관찰되고 있으며, b-1 및 b-2형 포유물이 공존하는 비등의 증거가

관찰되고 있어서 유체포유물의 압력보정은 필요치 않다. 균일화 온도와 염농도의 상관관계에서 보는 바와 같이 면상 그라이젠이 맥상 그라이젠보다 다소 염농도 및 균일화 온도가 높고, 균일화 온도가 증가함에 따라 염농도도 증가하는 경향을 보인다. 이처럼 온도하강과 더불어 염농도가 감소하는 경향은 냉각효과에 의한 결과로 생각된다. 이러한 냉각효과에 의해서 광물의 결정화가 진행되었다고 생각된다.

광화유체의 압력

Sourirajan and Kenndy이 제시한 그림에 도시한 결과를 보면 스카른의 자철석-휘석-석류석대에서 관찰되는 b-1형의 균일화 온도와 염농도가 605~620 °C, 3.8~4.6 wt. %이고 이를 도시하면 압력은 820~850 bar이다. 베수비아나이트-석류석대는 401~450 °C, 3.5~8.2 wt. %이고, 압력은 270~410 bar이다. 이러한 결과는 화강암 접촉대로부터 멀어질수록 압력이 감소한다는 것을 제시한다. 그라이젠에서 관찰되는 b-1형의 균일화 온도와 염농도가 각각 400~450 °C, 6.3~11.1 wt. %이며, 이러한 결과로 도시하면 압력은 270~410 bar이다.

주요어 : 시죽원다금속광상, 스카른, 그라이젠, 유체포유물

1) 충남대학교 지질학과