

무주 수왕광산에서 산출되는 섬아연석의 황동석 병변에 관한 연구

윤 석 태*

전남대학교 사범대학 지구과학교육과, 500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300

Chalcopyrite Disease in Sphalerite: A Case of the Soowang Ore Deposits in Muju, Republic of Korea

Seok-Tai Youn*

Department of Earth Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract: The Soowang deposits occur in the quartz veins that were filled fissures in the middle Cretaceous porphyritic granite and/or the Precambrian Sobaegsan gneiss complex. Paragenetic studies suggest that the vein filling can be divided into four identifiable stages. Sphalerites were deposited by the cooling fluids at stages I, II, and III. The results of microscopic observation and EPMA analysis suggest that the chalcopyrite dots and disease in sphalerite are replacement products by later hydrothermal solution at the early stage III. The inferred processes of chalcopyrite disease are as follows: (1) Fe enrichment to the margins and along the cracks of the Fe-poor sphalerite by Fe-rich solution, (2) Formation of chalcopyrite dots in the Fe-enriched sphalerite formed at the stage II, and Fe reduction of sphalerite near the chalcopyrite dots by Cu-bearing solution, (3) Formation of "chalcopyrite disease" penetrating the compositional zoning of sphalerite at the early stage III.

Keywords: Soowang deposits, sphalerite, replacement, hydrothermal solution, chalcopyrite disease

요 약: 수왕광산은 중생대 백악기 중기의 반상화강암이나 선캄브리아기의 소백산 편마암 복합체에 발달한 열극을 충전한 석영맥에서 산출된다. 광물 공생군에 대한 연구 결과 광화작용은 4차례에 걸쳐 일어났다. 섬아연석은 광화작용이 진행되는 동안 광화 I, II, III기에 각각 정출하였다. 현미경 관찰과 전자현미분석 결과 섬아연석에서 나타나는 황동석 점적과 황동석 병변은 광화 III기 초에 열수용액의 교대작용에 의하여 생성되었을 것으로 생각된다. 황동석 병변의 생성 과정은 아래와 같다. (1) Fe가 풍부한 용액이 Fe가 결핍된 섬아연석의 가장자리나 틈을 통해 Fe 부화 (2) 광화 II기에 Fe가 결핍된 섬아연석에 황동석 점적을 형성하고 Cu를 함유한 용액에 의해 황동석 점적 주변의 섬아연석에 Fe 감소 (3) 광화 III기 초에 황동석 병변을 형성하였다.

주요어: 수왕광산, 섬아연석, 교대작용, 열수용액, 황동석 병변

서 론

전라북도 무주군 설천면과 충청북도 영동군 용화면 경계부근에는 중생대 백악기의 불국사 화강암류에 속하는 반상화강암체를 중심으로 약 20여개의 금은광맥이 부존하는 소위 설천 금광상구(Kim, 1971)에 속하는 지역 중의 하나이다. 수왕광산(구 나림광산)은 이 광화대 중에서 가장 동측에 위치하며, 전북 무주

군 설천면 나림리에 속한다. 이 광산은 1990년에 중앙인더스트리(주)가 휴광중인 나림광산을 인수한 다음 인접한 길영광산을 통합하여 수왕광산으로 개명하여 개발을 위한 시추조사를 실시하였으나 현재는 휴광중인 상태이다. 이 지역의 지질에 대하여는 1:50,000 설천지질도폭(윤석규와 박병권, 1968)과 무주지질도폭(홍승호 외, 1980)이 발간되어 있다.

윤석태와 박희인(1991, 1993, 1994, 2004)은 이 지역의 반상 화강암체 주변에 밀집 분포하는 금은광상을 대상으로 하여 반상화강암과 성인적으로 밀접한 관계를 갖는 금은 광화작용의 특성을 밝히기 위하여 반상 화강암체 주변에 부존하는 용화광상, 월전광상,

*Corresponding author: styoun@jnu.ac.kr
Tel: 82-62-530-2510
Fax: 82-62-530-2519

월성광상, 수왕광상에 대하여 연구 보고한 바 있다.

이 연구는 수왕광산의 광맥중 구 나림광산에서 개발한 주맥(이하 나림본맥이라 부르기로 함)을 대상으로 하여 수왕광산 주변의 지질, 광상의 산출상태, 광석의 광물조성과 화학조성, 광물공생관계 등을 검토하여 금은 광상의 성인을 고찰하고, 특히 여러 차례의 광화작용을 거쳐 만들어진 섬아연석에 대한 연구를 실시하여 섬아연석에 나타나는 황동석 병변에 대하여 성인을 검토하는데 연구의 목적이 있다.

지질 및 광상 개요

연구 지역의 일반 지질과 금은 광화작용의 관계화성암에 해당하는 중생대 백악기의 반상화강암의 암석화학에 대하여는 윤석태와 박희인(2004)이 자세히 보고하였다. 이 연구의 대상은 수왕광산에서 산출되는 섬아연석의 연구이므로 수왕광산 부근의 지질에 대하여만 간단히 기술하기로 한다.

연구 지역의 지질은 이 지역에 넓게 분포하는 선캄브리아 시대의 소백산 편마암복합체와 이를 후기에 관입한 각섬암과 백악기의 반상화강암, 그리고 규장암 및 염기성 암맥으로 구성되어 있다(Fig. 1). 소백산 편마암복합체는 이 지역에 넓게 분포하고 있으며, 국부적으로 차이는 있지만 주로 흑운모 편마암, 미그마타이트질 편마암, 우백질 편마암, 주입편마암 등으로 다양하게 구성되어 있다. 가장 양적으로 우세한 것은 미그마타이트질 편마암인데, 이 암석 내에는 가끔 운모편암, 규암 등이 협재되어 있다. 각섬암은 후

기에 편마암류를 렌즈상으로 관입하고 있으며, 월성광상과 수왕광산 갱내에서도 소규모로 산출된다. 금은 광화작용과 관련이 있는 반상화강암은 편마암복합체를 후기에 관입하고 있다. 이 암체는 EW방향으로 렌즈상으로 산출되나 월전리 부근에서 NS계 단층에 의해 절단되어 약 500 m 전이되어 나타난다. 단층을 기준으로 동서측 암맥들 모두 반상화강암으로 되어 있으며, 수왕광상 갱내에서도 발견된다. 암맥의 동측 연변부로 가면서 석기가 세립 치밀한 화강반암으로 변하고 편마암류와의 접촉부에서는 유상구조가 뚜렷한 규장질암으로 점변한다. 따라서 암체 연변부에 급냉대가 형성되어 있는 것은 이 반상화강암체가 지하 얕은 곳에 관입한 것임을 나타내는 증거이다. 이 반상화강암에 들어있는 흑운모의 K-Ar 절대 연령은 98.7 ± 3 Ma이다(윤석태와 박희인, 2004).

수왕광산에는 구 나림광산에서 개발된 나림본맥과 길영광산에서 개발된 길영맥이 있다. 이 두 광맥은 미그마타이트질 편마암, 우백질편마암, 각섬암과 반상화강암 내에 발달된 것으로 주향은 N35~40W에 80NE로 경사한다. 이 두맥이 en echelon 상의 맥인지는 현재로는 확인할 수 없다. 이 연구에서는 섬아연석이 광화 I, II, III기에 걸쳐 산출되는 나림본맥에 대하여만 기재하기로 한다. 수왕광상에 대한 광상학적인 연구는 윤석태와 박희인(2004)에 의해 연구 보고된 바 있기 때문에 간단히 기술하고자 한다.

나림본맥의 모암은 편마암류, 각섬암, 반상화강암 등 다양하다. 그러나 주요 광맥은 우백질 편마암과 반상화강암 내에서 특히 팽대하여 chambered vein의

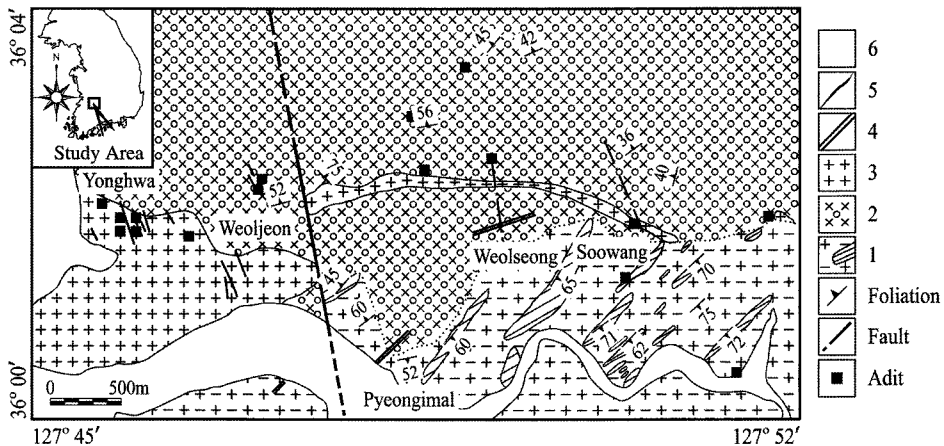


Fig. 1. Geologic map of the Soowang mining district (1: Sobaeksan gneiss complex, 2: Amphibolite, 3: porphyritic granite, 4: felsite, 5: Vein, 6: Alluvium).

Table 1. Characteristics of each stage ore from the Soowang deposits

Stage	I	II	III	IV
Ore minerals	Mt, Hm, Rt, Py Sl, Gn, Asp, Po, El, Arg	Py, Sl, Gn, El, Arg, Fr	Py, Sl, Gn, Cp, El, Arg, Fr, Pyr, Bou, Ag	Py
Gangue mineral	Sid, Qt	Qt, Ank	Qt, Chal, Cal, Dol, Bar	Bar, Cal
Vein structure	massive, band	comb, vug	comb, vug	comb, vug
Color of sphalerite	dark black opaque Cp diseased	reddish brown transparent Cp diseased	honey colored transparent	-

Abbreviations; Mt=magnetite, Hm=hematite, Rt=rutile, Py=pyrite, Po=pyrrhotite, Asp=arsenopyrite, Sl=sphalerite, Cp=chalcopyrite, El=electrum, Arg=argentite/acanthite, Fr=freibergite, Pyr=pyrargyrite, Ag=native silver, Bou=bounonite, Qt=quartz, Chal=chalcedony, Sid=siderite, Bar=barite, Cal=calcite, Ank=ankerite

형태를 갖는 것이 특징이다. 광맥은 대체적으로 주향 방향으로 약 100 m, 지표 노두로부터 수직으로 약 60 m 깊이까지 개발되어 있으며, 0.3~1.0 m의 폭을 갖는다. 갱도는 제 1갱과 이보다 30 m 하부에 제 2갱이 개설되어 있고 제 1갱에서 부광부를 따라 상향 채광된 부분은 지표까지 관통되어 있다. 이 광맥은 생성시기, 광물조성, 구조와 조직을 달리하며 서로 끊고 끊기는 관계를 갖는 광맥들로 구성된 복성맥(複成脈)으로 닭벼슬(cockade) 구조, 빗구조, 정동 등이 발달하고 있다. 광맥과 우백질 편마암과 반상화강암은 견운모화되어 있다. 이 견운모의 K-Ar 연령은 97.1 ± 3.60 Ma로서 이 광산 서쪽에 있는 용화광산의 모암변질물인 견운모의 K-Ar 연령(95.79 ± 1.2 Ma)과 대체로 같다(윤석태와 박희인, 2004).

연구 결과 및 고찰

광석과 광물공생관계

수왕광산에서 산출되는 광석들은 광맥의 산출상태와 광석현미경의 관찰을 통하여 종합하면 4차례에 걸쳐 광화작용을 받았음을 보고하였다(윤석태와 박희인, 2004). 각 시기의 광맥은 광석광물과 맥석광물의 종류, 광석의 구조, 섬아연석의 색 등의 차가 뚜렷하여 쉽게 구별할 수 있다(Table 1). 이 연구는 섬아연석에 들어있는 황동석의 병변에 대한 연구이므로 섬아연석의 산출상태와 조직에 초점을 맞추어 광석에 대한 기제를 하고자 한다.

I기의 광석은 회색석영과 탄산염광물을 맥석으로 하여 괴상의 유희광물과 산화광물로 구성되어 있으며, 소량의 능철석이 산출된다. 섬아연석의 색은 흑색으

로 II, III기의 섬아연석의 색과 쉽게 구별할 수 있다(Fig. 2-a). 자철석과 적철석이 가장 초기에 정출한 광물들로서 엽편상 조직을 갖는 두 광물은 서로 interlocking하고 있으나 적철석은 자철석을 부분적으로 교대하기도 한다. 자류철석은 단사형의 것으로 황철석과 함께 산출되며 후기에 백철석화되어 있다. 유희광물은 유비철석, 황철석, 섬아연석, 황동석 등이 산출된다. 황철석은 부분적으로 심히 파쇄되고 파쇄된 틈은 후기의 에렉트럼이나 유염광물로 충전되어 있다(Fig. 2-h). I기의 섬아연석은 황동석의 점적을 다량 포함하고 있는 것이 특징이다(Fig. 2-b, e, f, g).

II기의 광석은 I기의 광석을 절단하거나, I기의 광석 편을 포함하고 있다(Fig. 2-a). II기 광맥은 변질된 모암 편을 많이 포함하고 빗 구조, 정동 등이 특징적으로 발달하고 있다. 섬아연석은 방연석, 황동석, 반투명 석영과 산출되는데, 섬아연석은 연한 적갈색이고 반투명한 것이 특징이다(Fig. 2-b). II기 섬아연석은 소량의 점적상 황동석을 포함한다(Fig. 2-f). 황철석은 초기에는 섬아연석, 방연석과 함께 공생하고 있으나 후기에는 방연석 결정 주위를 둘러싸고 있는 것이 많다.

III기의 광석은 광석의 구조에 있어서는 II기 광석과 아주 유사하다. 그러나 섬아연석의 색깔이 벌꿀색을 띠며, 육안적으로 황동석이 전기의 광석에 비해 많이 관찰되는 것이 특징이다(Fig. 2-b). 특히 섬아연석은 황동석의 점적을 포함하지 않는다(Fig. 2-c). 이 광맥은 II기의 광석편이나 모암편을 다량 포함하며 빗구조와 정동이 발달한다. II기의 광석편을 다량 포함하는 부위에서는 적갈색 섬아연석과 담황색 섬아연석이 혼재한다. III기의 광석에서는 자연은과 농홍은

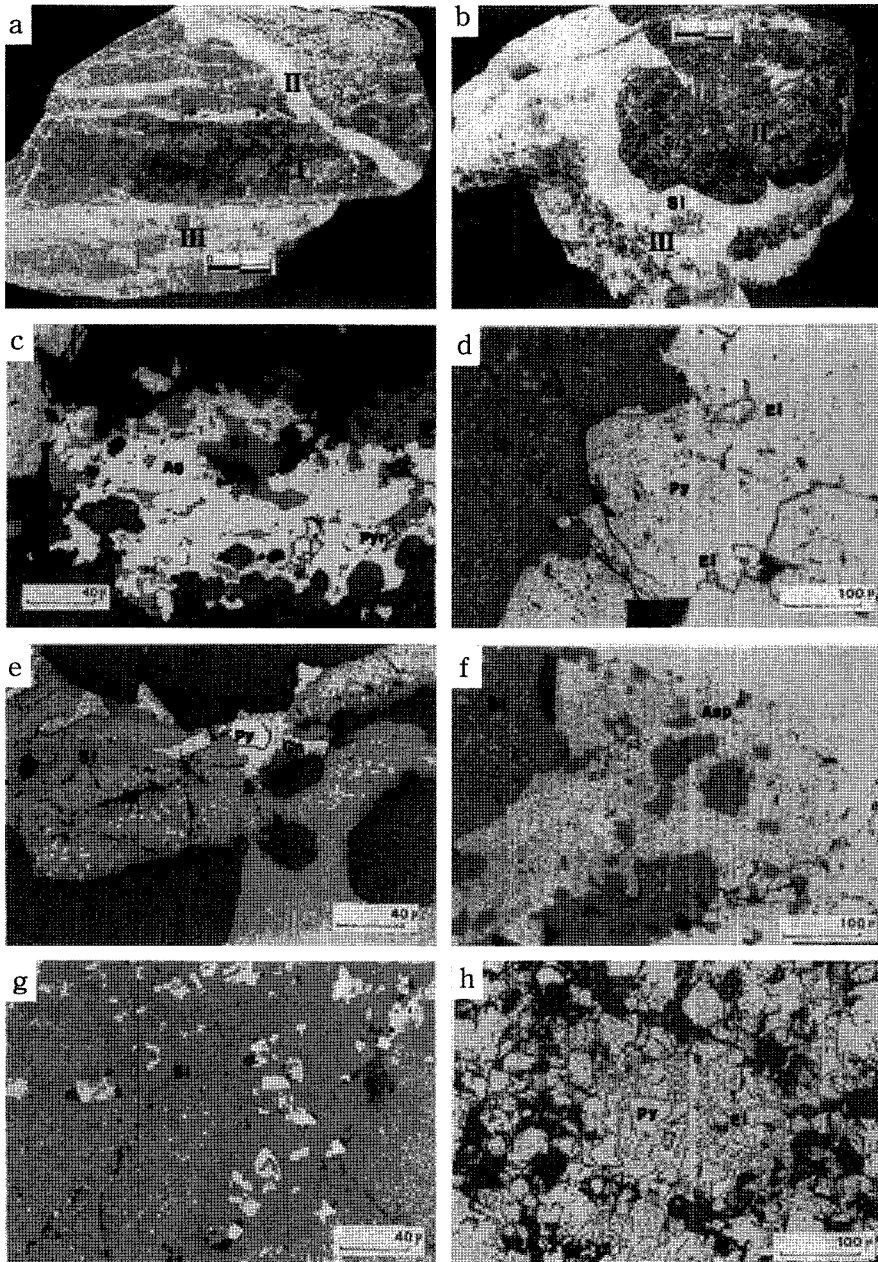


Fig. 2. Microphotographs showing the mineral paragenesis from the Soowang deposits. a: Siderite and base-metal sulfides of stage I are cut by stage II vein. Narim mine. b: Amber colored sphalerite and grey colored galena of stage II are cut by stage III quartz, honey colored sphalerite and galena. Narim mine. c: Intergrowth of native silver and pyrargyrite. d: Electrum of stage II fills interstices in pyrite of stage I. e: Coexisting sphalerite, chalcopyrite, galena and pyrite of stage I. f: Intergrowth of arsenopyrite, pyrite and galena of stage I is cut by sphalerite, chalcopyrite and electrum of stage II. g: Typical chalcopyrite disease of sphalerite and chalcopyrite. h: Pyrite of stage II is cut by numerous veinlets of stage III electrum.

석, 보오노나이트 등의 유염광물이 산출된다.

IV기는 백색석영과 함께 미량의 황철석, 증정석, 방해석, 돌로마이트, 앵커라이트의 정출기로서 그 밖

의 광석광물의 침전은 없었다. 석영은 I, II, III기의 광석내의 균열을 맥상으로 충전하고 있다. 탄산염광물도 전기 광석내의 열극을 채우기도 하고 정동석영

Stage	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV
Magnetite	—			
Hematite	—			
Rutile	—			
Pyrite	—	—	—	—
Marcasite	—	—		
Arsenopyrite	—			
Sphalerite	—	—	—	
Galena	—	—	—	
Pyrrhotite	—			
Chalcopyrite	—	—	—	
Argentite	—			
Native silver	—			
Electrum	—			
Freibergite	—			
Pyrargyrite	—			
Bournonite	—			
Barite				—
Quartz	—	—	—	—
Calcite	—			
Siderite	—			
Ankerite	—			

Fig. 3. Paragenetic sequence for vein minerals of the Soowang deposits.

위에 overgrowth 하기도 한다. 중정석, 황철석도 정동석영 결정표면에 성장한 광물들이다. 섬아연석의 정출이 없는 광화시기이다.

광화기의 광석에 변질된 모암편과 전기의 광석편이 다량 포함되어 있고 각기의 광석 간에 서로 끊고 끊기는 관계가 뚜렷한 것으로 보아 각기의 광화작용 사이에는 균열작용(fracturing)이나 파쇄작용(shattering) 등의 사건이 있었다. 각광화기의 광맥들의 특징을 섬아연석과 관련하여 종합한 것이 Table 1이다. 그리고 광맥을 구성하고 있는 광물들을 광화 I기에서 IV기에 걸쳐 광물공생관계를 모식적으로 표시하면 Fig. 3과 같다.

섬아연석의 황동석 병변

유화광물 중에서 섬아연석은 광화 I, II, III기에 정출되었다. 광화 I기의 섬아연석은 피상으로 산출되며, 황철석, 황동석, 자류철석 등과 공존하며 산출된다. 황동석의 점적을 다량 포함하고 있는 것이 특징이다. 광화 II기에 정출한 섬아연석은 연한 적갈색이고, 반투명한 것이 특징이다. 이 시기의 섬아연석은 방연석, 황동석, 황철석 등과 공존하며 산출되는데, 황동석 점적이 소량 나타난다. 광화 III기에 정출한 섬아연석은 벌꿀색을 띠는 것이 특징이며, 황동석의 점적이 나타나지 않는다.

섬아연석은 전술한 바와 같이 광화 I, II, III기에 정출하였다. 육안 관찰 결과 광화 시기별로 섬아연석의 색은 차이가 뚜렷하다. 즉 I기 섬아연석의 색은 흑색, II기의 것은 적갈색, III기의 것은 벌꿀색으로 쉽게 식별할 수 있다. 양면 연마편을 투과광으로 보았을 때의 섬아연석의 색은 I기의 것이 흑색·적색, II기와 III기의 것은 각각 황갈색과 담황색이다. I기 섬아연석의 평균 FeS 함량은 18.25 mole%인데 반하여 II, III기의 것은 각각 1.81 mole%, 0.11 mole%로서 조기의 것일수록 FeS의 함량이 높다(Table 2).

광화 I기와 II기의 섬아연석은 황동석의 점적을 가지나, III기의 것은 황동석의 점적을 갖지 않는다. 특히 I기의 것은 다량의 황동석 점적을 포함하고 있어서, 섬아연석의 색깔이 흑색 불투명해진 것이 많다. 황동석 점적의 크기는 40 μm에서 1 μm 이하의 것까지 있다. 이 황동석의 점적은 섬아연석 결정의 경계나 벽개 또는 열개를 따라 밀집하여 맥상 집합체를 이루고 있다(Fig. 4-a, b, d). 또 황동석 점적의 밀집 생성 후 부피의 변화로 생긴 틈이 존재하기도 한다(Fig. 4-d). 이와 같은 조직은 Barton(1978)이 일본의

Table 2. Electron microprobe analyses(wt.%) of Sphalerite from the Main Vein of the Soowang deposits

Sample No.	N.	Zn	Fe	Cu	Cd	Mn	S	Total	FeS mole (%)	Description
SA-1	1	54.40	10.65	0.00	0.40	0.17	34.02	99.64	18.65	Cp inclusion free & red colored; stage I
SA-2	1	56.32	8.12	0.52	0.46	0.15	32.60	98.17	14.44	Orange colored, adjacent to Cp disease
SA-3	4	54.55	6.02	5.17	0.53	0.12	33.11	99.50	11.44	Colorless, Cp diseased
SB	8	54.28	10.42	0.03	0.60	0.17	33.99	99.87	18.25	Cp inclusion free; stage I
SC	4	65.47	1.03	0.00	0.39	0.00	32.45	99.34	1.81	Cp inclusion free; stage II
SD	6	66.96	0.06	0.00	0.26	0.01	32.27	99.56	0.11	Cp inclusion free; stage III
SE	4	65.14	0.63	0.05	0.82	0.00	33.67	100.31	1.12	
SF	2	64.96	0.54	0.02	0.81	0.02	33.32	99.67	0.97	Bleached SI along Cp diseased

N.: Number of analyses, SI: Sphalerite, Cp: Chalcopyrite

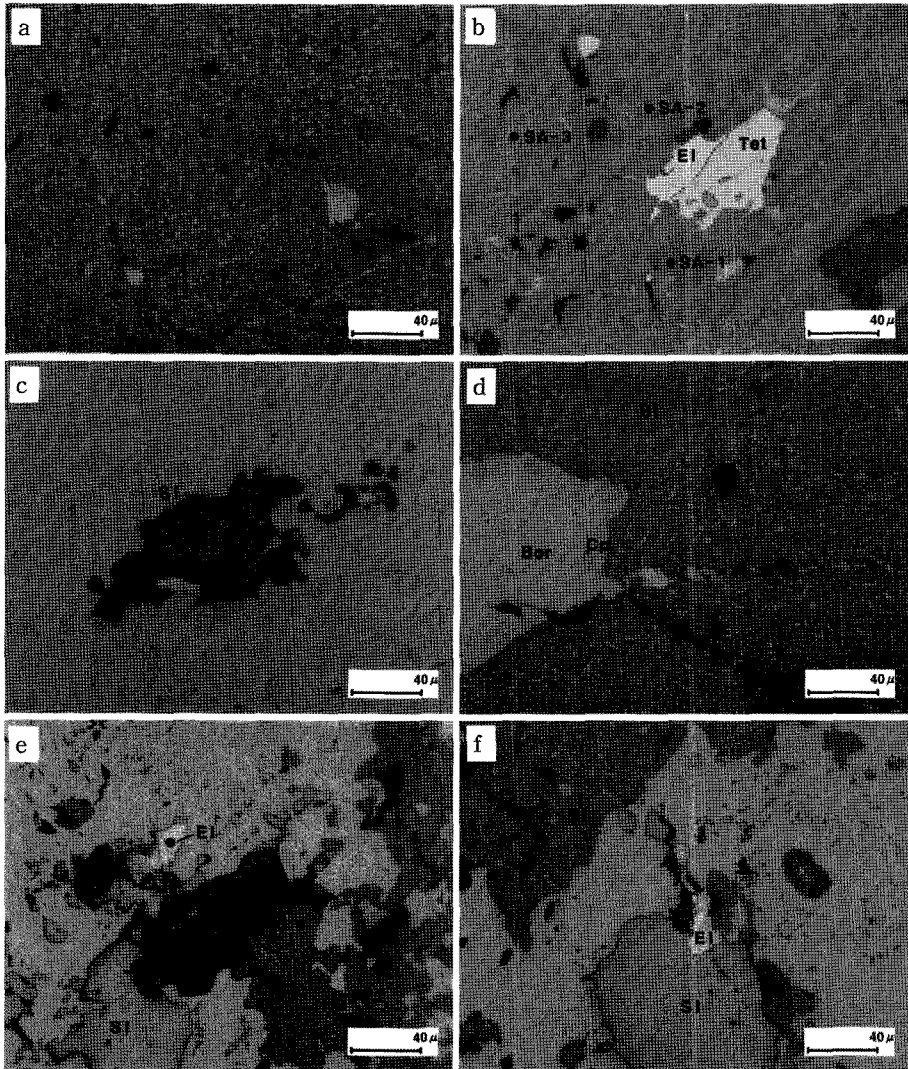


Fig. 4. Enlarged microphotographs showing the detail of “chalcopyrite disease” of sphalerite. a: Typical “chalcopyrite disease” of sphalerite of stage I. b: SA-1; chalcopyrite inclusion free, SA-2; adjacent to chalcopyrite disease, SA-3; chalcopyrite diseased. c: chalcopyrite disease of sphalerite of stage II. d: Flambayant and beac chain texture of sphalerite of stage III. e, f: Sphalerite of stage III; chalcopyrite inclusion free

광상에서 산출되는 섬아연석에서 보여지는 황동석의 점적상 조직에 대하여 기재한 소위 chalcopyrite disease와 같다.

나림본맥에서 산출되는 신선한 I기 섬아연석의 색은 붉은 벽돌색이고 FeS의 평균 함량은 18.65 mole%인데 반하여 황동석 점적이 밀집한 부위의 섬아연석은 담황-무색으로 탈색되어 있고 FeS 평균 함량은 11.44 mole%이다. 그러나 황동석 점적의 밀도가 낮거나 밀집부에서 떨어진 부위의 색은 등색 황동석 색이고 FeS 평균함량은 14.44 mole%이다. 황동석

점적의 밀집도가 높을수록 섬아연석(主晶; host crystal)의 Fe함량은 낮아진다(Table 2).

I기 섬아연석에서 극히 미세한 황동석 진(塵)의 밀집부가 맥상 또는 불규칙한 모양을 갖는 부위를 반사광으로 보면 반사이방성을 갖고 투과광으로 보면 불투명하다(Fig. 4-a). Fe함량이 낮은 무색투명한 섬아연석이 황동석 점적이 조밀하게 밀집하여 거의 불투명한 부분과 공생하는 bimodal texture(Barton and Bethke, 1987)도 관찰된다. 황동석 병변을 심하게 받은 I기 섬아연석은 후기에 Fe 함량이 낮은 섬아연석

(0.78-3.34 FeS mole%)에 의해 교대되어 양자는 리아스식 해안과 같은 경계를 갖는다(Fig. 4-e). Fe 함량이 낮은 섬아연석은 방연석과 밀접히 공생하며 밀메카이트(myrmekite)조직을 갖기도 한다(Fig. 4-e). Fe 함량이 낮은 섬아연석-방연석의 공생군은 에렉트럼을 수반하기도 한다. 황동석 병변화된 I기 섬아연석은 III기 말의 황동석 또는 황동석-보오나이트, 황동석-테트라헤드라이트 세맥에 의하여 절단되어 있다(Fig. 4-d). 이 경우 황동석 등을 수반하는 세맥과의 접촉부에 황동석 병변이 더 현저하게 발달하지는 않는다.

한편 II기 섬아연석은 파쇄된 광물편의 둘레나 벽개(Fig. 4-e), 석영 세맥이나 틈을 따라 좁은 범위 내에서 황동석이 병변화되어 있다. I기 섬아연석의 경우와 같이 섬아연석 입자 전체가 황동석 병변으로 불투명하여진 예는 없다. II기 섬아연석 내에 발달한 황동석 병변대내의 황동석 점적은 불꽃모양이나 bead chain(Fig. 4-d)의 모양을 갖기도 한다. II기와 III기 섬아연석의 접촉부 경계에서는 II기 섬아연석 쪽에서만 미약하게 황동석 병변화된 것을 볼 수 있다. 따라서 황동석 병변은 III기 초에 있었던 것으로 보인다.

고온에서 생성된 천연산의 섬아연석 중에는 황동석 점적이나 blebs가 불규칙하게 산재하거나 일정한 결정학적 방향으로 배열하고 있는 것을 흔히 볼 수 있다(Fig. 4-a). 섬아연석중의 황동석 점적의 성인에 대하여는 일반적으로 용리(exsolution)로 해석되어 왔으나, 최근의 Cu-Fe-Zn-S계 합성실험 결과 천연에서 산출되는 섬아연석에 포함된 황동석 점적은 그 양이 그 섬아연석 생성온도에서의 CuS의 평형용해도 범위를 훨씬 넘는 것이 대부분임이 밝혀졌다(Hutchison and Scott, 1981; Wiggan et al., 1980; Kojima and Sugaki, 1984; 1985; 1987). 따라서 용리 이외의 성인에 대하여도 검토하게 되었다.

Barton(1978)은 섬아연석 중에 포함된 황동석의 점적상 조직을 황동석 병변이라 부르고 이는 섬아연석 생성 후 함Cu 열수용액에 의한 교대작용으로 생성된 것으로 보고하였으며, 황동석의 형성에 필요한 Fe는 섬아연석에서 공급되었다고 주장하였다(Barton and Bethke, 1987). Sugaki et al.(1987)은 Barton et al.(1987)의 해석을 실험적으로 확인하였다. 한편 Tadashi(1988), Kojima(1992)는 황동석 병변이 함Cu 또는 함Cu, Fe 열수용액에 의한 교대작용 뿐 아니라 섬아연석과 황동석의 동시 침전에 의하여도 생성됨을

보고하고 있다.

나립본맥의 I기 섬아연석에서 보여지는 황동석 병변은 교대작용이 뚜렷하고 같은 섬아연석 결정 내에서도 황동석의 점적 밀집부로 갈수록 섬아연석의 FeS 함량이 낮아지는 것으로 보아 황동석 점적 등은 Barton(1978)과 Barton and Bethke(1987)이 주장한 바와 같이 함Cu 열수용액의 Cu^{2+} 와 섬아연석의 Fe로써 생성된 것으로 해석된다. 따라서 황동석 병변은 FeS 함량이 높은 섬아연석에서 더욱 우세하게 발달하고 있는 것이다.

한편 II기 섬아연석 중의 황동석 점적 중에는 상술한 바와 같이 불꽃이나 bead chain 모양을 갖는 것을 많이 볼 수 있다. 이 황동석 점적은 섬아연석 입자의 가장자리, 벽개, 석영 세맥 그 밖의 틈을 따라 존재하는 것으로 보아 bead chain 등의 성인도 용리(Barton et al., 1987)보다는 교대작용에 의한 것으로 보는 것이 타당하여 보인다.

섬아연석의 성질과 에렉트럼의 산상

에렉트럼은 맥석 중에 독립된 광물입자로 산출되기도 하고 황철석 중에 포유물로 산출되는 것, 섬아연석 중에 포유물로 산출되는 것이 있다. 이중 산출빈도는 석영 혹은 섬아연석 중에서 산출되는 것이 높다. 광화시기를 달리하는 광석이 혼재하는 경우 에렉트럼을 수반하는 석영이나 황철석은 일반적으로 현미경하에서 광화시기를 판별하기 어려운 경우가 많다. 그러나 섬아연석에 수반되는 것은 섬아연석의 색, 황동석 점적의 양으로 볼 때 현미경 하에서 쉽게 구분할 수 있다.

섬아연석에 수반되는 에렉트럼은 I기 섬아연석 중 황동석 병변을 당한 부위에 산출되는 것과 황동석 병변을 당한 부위가 방연석이나 황철석과 밀접히 공생하는 Fe 함량이 낮은 섬아연석에 의하여 교대되거나 veinning 된 부위에 한하여 산출된다. 섬아연석 중의 황동석 점적들이 용리에 의하여 생성된 것이라면 점적상 황동석에 수반되어 그 밀집부에서 산출되는 에렉트럼의 광물공생 관계에서의 위치는 I기 섬아연석과 함께 생성된 것으로 해석될 것이다. 그러나 전술한 바와 같이 점적상 황동석은 III기에 있었던 황동석 병변의 산물이고, 이를 교대한 방연석 또는 황철석과 공생하는 Fe 함량이 낮은 섬아연석도 III기 생성물이다. 따라서 이에 수반되는 에렉트럼도 III기 생성물이다.

결 론

수왕광상에서 산출되는 섬아연석에 대한 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 수왕광상의 광화작용은 4차례에 걸쳐 일어났으며, 섬아연석은 광화 I, II, III기에 정출하였다.
2. 섬아연석의 색깔은 광화 I기는 흑색, 광화 II기는 적갈색, 광화 III기는 벌꿀색이다.
3. 전자현미분석결과 광화 I, II, III기 섬아연석의 FeS 평균 함량은 각각 18.25, 1.81, 0.11 mole%로서 광화 후기로 가면서 낮아지는 경향이 있다.
4. 광화 I기와 II기의 섬아연석에서는 황동석 병변이 나타나지만 광화 III기의 섬아연석에서는 나타나지 않는다.
5. 광화 I기 섬아연석의 FeS 평균함량은 18.65 mole%이지만, 황동석 병변이 밀집한 부위에서는 11.44 mole%, 황동석 병변의 밀도가 낮은 부위에서는 14.44 mole%로서 밀도가 높을수록 Fe 함량이 낮아지는 경향이 있다.
6. 광화 II기와 III기 섬아연석의 접촉부 및 경계에서는 II기 섬아연석에만 미약한 황동석 병변이 있는 것으로 보아 황동석 병변은 III기 초에 있었던 것으로 생각된다.
7. 광화 I기 섬아연석에 황동석 병변의 교대조각이 뚜렷하고, 동일한 섬아연석 결정 내에서 점적밀도가 높을수록 FeS 함량이 낮아지는 점, 그리고 광화 II기의 황동석 점적이 불꽃모양이나 bead chain 모양을 갖는 것으로 보아 황동석 병변은 III기 초에 교대작용에 의하여 생성되었을 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2004년도 전남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었으며, 연구비를 지원해 주신 전남대학교에 감사드린다. 또한 이 논문을 심사해 주시고 미비점에 대한 지적과 건설적인 비평을 해주신 익명의 2분 심사위원들께 감사드린다.

참고문헌

윤석규, 박병권, 1968, 설천지질도폭설명서. 국립 지질 조사소, 20.
 윤석태, 박희인, 1991, 용화광산의 금은광화작용. 광산지질,

24, 107-129.

- 윤석태, 박희인, 1993, 월성광산의 금은광화작용. 한국지구과학회지, 14, 263-273.
 윤석태, 박희인, 1994, 용화지역에 분포하는 백악기 화강암에 포함된 유체포유물에 관한 연구. 자원환경지질, 27, 231-236.
 윤석태, 박희인, 2004, 무주 수왕광상의 금은광화작용. 한국지구과학회지, 25, 484-494.
 홍승호, 이병주, 김원영, 1980, 무주지질도폭설명서. 자원개발연구소, 40.
 Barton, P.B.Jr. and Bethke, P.M., 1987, Chalcopyrite disease in sphalerite: Pathology and epidemiology. American Mineralogist, 72, 451-467.
 Barton, P.B.Jr. 1978, Some ore textures involving sphalerite from the Furutobe mine, Akita Prefecture, Japan. Mining Geology, 28, 293-300.
 Hutchison, M.N. and Scott, S.D., 1981, Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system. Economic Geology, 76, 143-153.
 Kim, O.J., 1971, Metallogenic epochs and provinces of south Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 7, 37-59.
 Kojima, S., 1992, The nature of chalcopyrite inclusions in sphalerite: Exsolution, coprecipitation, or "diseased"? - A discussion. Economic Geology, 87, 1191-1192.
 Kojima, S. and Sugaki, A., 1984, Phase relations in the central portion of the Cu-Fe-Zn-S system between 800°C and 500°C. Mineralogical Journal, 12, 15-28.
 Kojima, S. and Sugaki, A., 1985, Phase relations in the central portion of the Cu-Fe-Zn-S system between 500°C and 300°C under hydrothermal conditions. Economic geology, 80, 158-171.
 Kojima, S. and Sugaki, A., 1987, An experimental study on chalcopyritization of sphalerite induced by hydrothermally metasomatic reactions. Mining Geology, 37, 373-380.
 Sugaki, A., Kitakaze, A., and Kojima, S., 1987, Bulk compositions of intimate intergrowths of chalcopyrite and sphalerite and their genetic implications. Mineralium Deposita, 22, 26-32.
 Tadashi, M., 1988, Compositional zoning and "chalcopyrite disease" in sphalerite contained in the Pb-Zn-quartz-calcite ore from the Mozumi deposit of the Kamioka mine, Gifu Prefecture, Japan. Mining Geology, 38, 393-400. (in Japanese)
 Wiggins, L.B. and Craig, J.R., 1980, Reconnaissance of the Cu-Zn-Fe-S system: Sphalerite phase relationship. Economic geology, 75, 742-752.

2008년 10월 16일 접수
 2008년 11월 28일 수정완료 접수
 2008년 12월 4일 채택