

## 북창광상의 유체포유물 및 황안정동위원소 연구

정재일\* · 김선영\* · 나춘기\*\* · 이인성\*\*\* · E.M. Ripley\*\*\*\*

### Fluid Inclusion and Sulfur Stable Isotope of Buckchang Deposit, Korea

Jae-Il Chung\*, Seon-Young Kim\*, Choon-Ki Na\*\*, In-Sung Lee\*\*\* and E.M. Ripley\*\*\*\*

**ABSTRACT** : The Buckchang deposits which is located in the Ockcheon metamorphic zone, are emplaced along N20-30°E trending fissure sets. So it is a sort of fissure-filling ore deposits. The results of mineral paragenetic studies suggest two stages of hydrothermal mineralization; stage I: base-metal sulfides stage, stage II: late base-metal sulfides, electrum and silver-bearing sulfosalts stage. The silver-bearing sulfosalts occurred as the Buckchang mine are mainly argentite and, minor of canfieldite, tetrahedrite, etc. Au : Ag ratios of the electrums show a highly limited range of nearly 1:1 in atomic %. The temperature, salinity and pressure of the Buckchang deposits estimated from fluid inclusion and sulfur isotope studies are as follows; stage I: 174~250°C, 0.35~4.01 NaCl eq. wt. %, 0.40~1.00 Kbar, stage II: 138~222°C, 1.9~8.4 NaCl eq. wt.%, 0.22~0.53 Kbar. The estimated oxygen and sulfur fugacity during stage I mineralization, based on phase relation of associated minerals, range from  $10^{-39.7}$ ~ $10^{-44.7}$  atm. and  $10^{-13.4}$ ~ $10^{-18.1}$  atm., respectively. All these evidences suggest that the Buckchang deposits are polymetallic epithermal ore deposits.

### 요 약

북창광산은 옥천 변성대에 위치하며 N20~30°E 방향의 기존 열극구조를 충진하여 배태된 열극 충진 광상이다. 공생광물군에 대한 연구결과 광화작용은 크게 2 시기로 나눌 수 있다. I기: 대부분 유화광물의 생성시기, II기: 후기 유화광물, 엘렉트럼 및 함은광물의 생성시기. 북창광산에서 산출되는 은광물은 주로 휘은석이며 그외 소량으로 canfieldite, tetrahedrite 등이다. 또한 엘렉트럼은 Au-Ag의 원자량비에서 거의 1 대 1에 가까운 매우 한정된 조성을 보였다. 북창광산의 생성온도, 염농도 및 압력은 유체포유물 및 유황동위원소를 이용하여 측정되었으며 다음과 같다. I기: 174~250°C, 0.35~4.01 NaCl

eq. wt%, 0.40~1.00 Kbar, II기: 138~222°C, 1.9~8.4 NaCl eq. wt%, 0.22~0.53 Kbar로 나타난다. 초기 광화작용동안 산소분압 및 유황분압은 공생광물군의 상평형 관계에 근거하여, 각각  $10^{-39.7}$ ~ $10^{-44.7}$ atm.  $10^{-13.4}$ ~ $10^{-18.1}$  atm.으로 나타난다. 이와 같은 연구결과 북창광산은 Polymetallic epithermal type의 광상으로 생각된다.

### 서 언

전라북도 완주군 운주면 일대에는 백악기의 화성암체를 중심으로 북창, 전주일, 구계 광산등 일련의 금·은 광화대가 발달되어 있다. 이 지역에 분포되어 있는 금은 광상은 대부분 옥천 변성 퇴적암에 발달된 열극을 충진한 함금·은 석영맥으로 배태되어 있다. 이러한 분포 특징으로부터 백악기의 화성암이 이들 금·은 광상을 수반하는 관계 화성암으로서 주된 역할을 하였을 것으로 추정할 수 있다. 북창광산에서 남쪽으로 수 km 떨어진 곳에 전주일 광산이 있으며, 전주일 광산으로부터, 남쪽으로 십여 km 떨어진 곳에 구계 광산이 발달되어 있어, 남북 방향으로 일련의 광상이 발달되고 있음을 인지할 수 있기 때문에, 이 지역에서는 단층선과 같은 지질규제에 의한 대단위 광

\* 전북대학교 (Department of Geology, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea)

\*\* 목포대학교 환경공학과 (Department of Environmental Eng., Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea)

\*\*\* 기초과학지원연구소 (Isotope Research Group, Korea Basic Science Institute, Taejeon 305-333, Korea)

\*\*\*\* Dept. of Geological Sciences, Indiana University, Bloomington, IN 47405, U. S. A.

상구가 형성되었을 가능성이 많은 지역일 것으로 예상된다. 북창광산의 경우 전주일 광산의 함금·은석영맥의 연장선 부근에 발달되어 있어 전주일 광산의 성인과 유사할 것으로 추정되고 있다. 이 논문은 전라북도 완주군 운주면 장선리 (북위 36°07', 동경 127°20') 부근에 위치한 북창광산의 금·은광화작용에 대한 연구 결과이다. 북창광산과 인접하며, 현재 휴광중인 전주일 광산에 대한 지화학적, 광상학적 연구 (김재형, 1982; 김승오, 1986; 윤정환 등, 1988; So *et. al.*, 1987)가 있으나, 북창광산에 대한 연구는 전무한 상태이다. 북창 광산의 주변 지질은 홍승호, 최위찬 (1978)의 금산 지질도폭이 발간되어 있다.

이 연구의 목적은 북창광산 주변의 지질, 광상 및 광석의 산출상태, 광석광물의 구성과 화학조성, 광물공생관계, 유체포유물 및 유황동위원소 등을 검토하여 본광산의 광화작용의 특징을 고찰함에 있다.

## 일반지질

북창광산의 주변지질은 광범위하게 분포하는 시대미상의 옥천 변성퇴적암류와 남동쪽에서 이들을 부정합으로 덮고 있는 백악기 화산 쇄설성 퇴적암, 이들을 백악기에 관입한 장석 화강암 및 석영반암으로 구성된다 (Fig. 1). 본 지역의 변성 퇴적암류는 하부로 부터 마진리층, 창리층, 문주

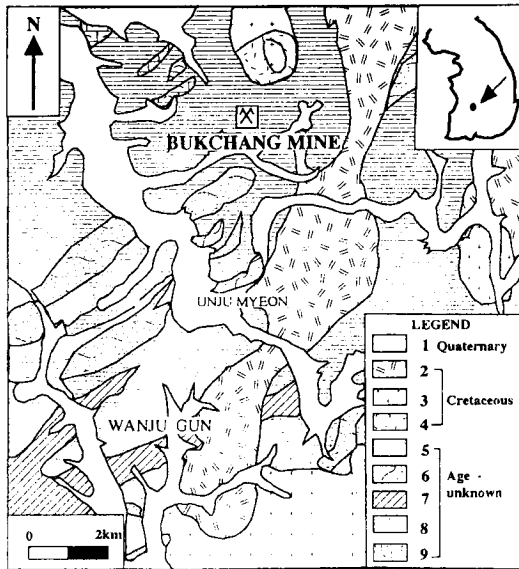


Fig. 1. Geologic map of the Bukchang mine area. 1; Alluvium, 2; Quartz porphyry, 3; Pink feldspar granite, 4; Seodaesan tuff, 5; Bibong formation, 6; Odaesan quartzite, 7; Munjuri formation, 8; Changri formation, 9; Majeonri formation.

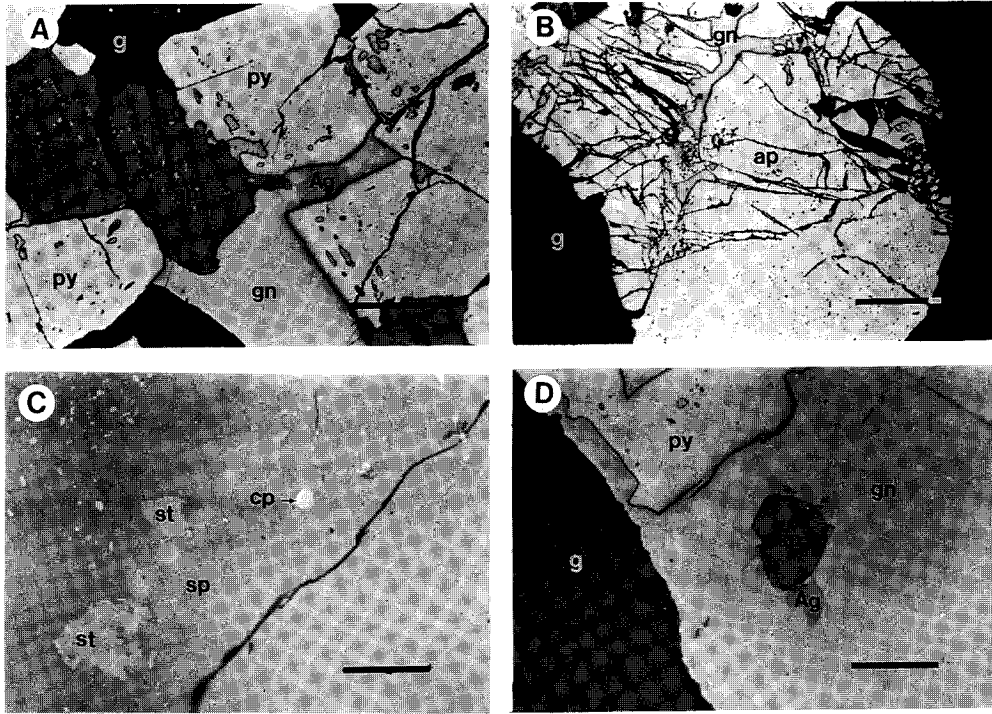
리층 및 오대산층으로 이루어져 있으며 서로 정합적인 관계로 피복되거나 피복하고 있다. 이 중 연구지역에서 가장 넓은 분포를 보이는 것은 창리층으로 본 광산을 구성하는 광맥은 주로 창리층을 관입하는 화성암류를 따라 배대되어 있다. 창리층의 주 구성암석은 흑색 천매암 내지 흑색 점판암이지만 부분적으로 흑색 변질 셰일, 담회색 결정질 석회암, 각섬암, 운모질 천매암 등이 협재하며 합판대가 발달한 곳도 있다. 주 암상인 천매암과 점판암의 주 구성광물은 석영, 장석, 흑운모, 각섬석, 녹염석, 견운모, 탄질물 및 불투명 광물이며, 전체적으로는 미립 조직으로 운모류의 압연배열이 발달되어 있다. 이 층은 주로 사질 운모 편암과 사질 천매암으로 구성된 문주리층에 의해 정합적으로 덮이며 두 층사이의 지질경계가 명확하지 않다.

장석 화강암은 주천면 일대의 암주의 일부로서 불규칙하게 주변 암체를 관입하고 있다. 주로 홍색 장석 화강암으로 형성되어 있다. 암상은 조립질 입상 조직 (granular texture)을 보여 준다. 정장석의 특유한 색깔로 암석 전체가 홍색으로 보인다. 주 구성 광물은 석영, 정장석, 사장석 흑운모이다.

석영 반암은 홍색장석화강암을 관입하고 있는 것이 야외에서 관찰되기 때문에, 연구 지역에서는 최후에 관입한 관입암이다. 연구 지역에서는 동쪽에서 남북으로 넓고 길게 분포되어 있다. 석영 반암은 주로 세립질 석기에 3 mm 정도의 석영 또는 장석 반정을 가지는 반상 조직을 보여 준다. 일부 지역에서는 미문상 반암 (granophyre)상을 보이며, 드물지만 화강 반암상을 보이기도 한다. 미문상 반암은 보통 담황색, 홍색, 담회색 등을 띠는 세립질 입상 조직을 보이며, 때로 반상 조직을 갖기도 한다.

## 광상개요

북창 금·은광상은 옥천 변성퇴적암류인 창리층 (slate, black shale, phyllite, calc slate)에 발달된 열극을 따라 함금은 석영맥이 충전된 맥상의 열수광상으로서 수지상, 망상 또는 충전상으로 발달하고 있다. 함금은 석영맥은 휘은광, 황철광 및 소량의 방연광, 섬아연광 등이 수반되어 있으며 부분적으로 형석이 나타나는 곳도 있다. 본 광상에는 N16~20°E의 주향에 50~62°NW의 경사를 가지는 단일 맥이 발달되어 있으며 연장은 약 3km정도이고 맥폭은 0.1~1.6 m 정도로 매우 심한 팽축을 보인다. 석영맥중에는 주향방향에 연하여 탄질물이 협재되어 있으며 빗살구조 및 호상구조가 관찰되기도 한다. 이 빗살무늬구조에는 수정이 현저히 성장 발달되어 있으며 탄질물이 석영역을 피복하고 있기도 한다. 이들 탄질물은 광



**Fig. 2.** Photomicrographs of the polished sections (one polar), showing the mode of occurrence of ore minerals. Bar scale indicates 100 µm in length. Abbreviations: ap; arsenopyrite, Ag; Ag-bearing mineral, cp; chalcopyrite, g; gangue mineral, gn; galena, py; pyrite, sp; sphalerite, st; stannite.

염상의 양상을 보여주며 불규칙한 혼재양상을 보여주며 탄질물층 및 접촉부에 황철석이 산재되어 있기도 한다. 석영맥은 그 침벌부에서 0.1 mm의 veinlet로 세분되어 분포하는 양상을 보여주기도 한다. 맥 주변부에는 현저한 각력대가 발달되어 있다. 모암변질로는 규화작용이 비교적 현저하며 미약하게 탄산염화 작용, 녹니석화작용 및 견운모화작용 등도 관찰된다. 또한 모암의 파쇄대를 따라 충전된 회백색 또는 드물게 연분홍색을 띤 석영을 배태되어 있어 그 주변의 세립질 백색 석영과 그 성인을 달리하고 있는듯이 보인다.

**광석광물**

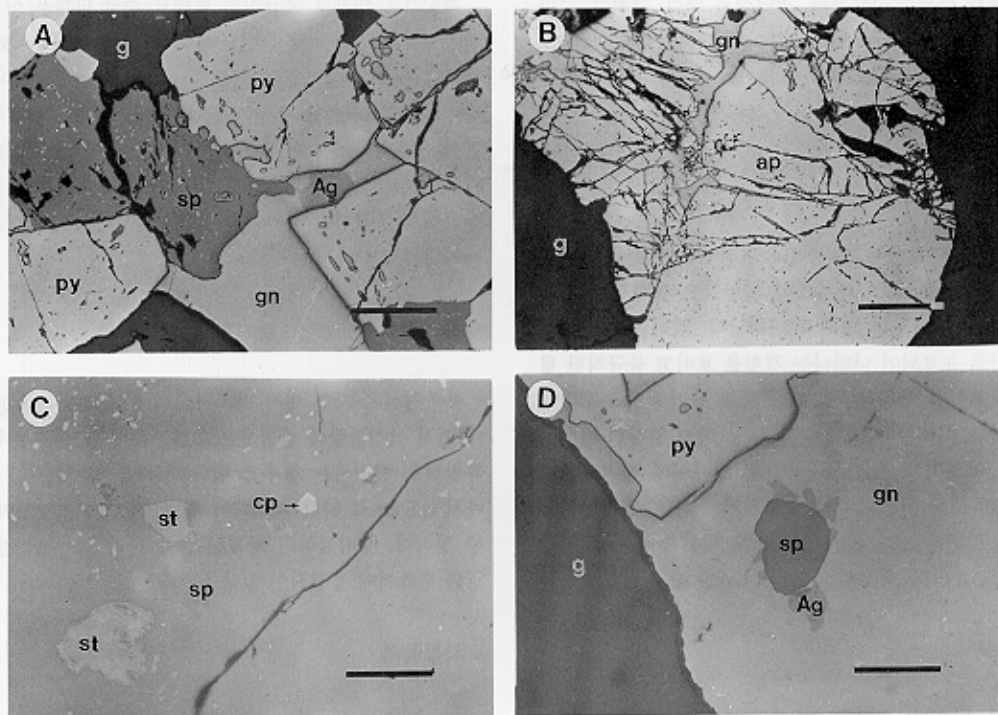
본 광상에서 산출되는 광석광물로는 방연석, 섬아연석, 황동석, 유비철석, 자류철석, 황석석, 자철석, 백철석, 에렉트립과 매우 다양한 함은광물 등이 있으며 맥석광물로는 석영, 형석, 방해석, 견운모, 녹니석 등이 있다. 주요 광석광물의 산출상태와 특성은 다음과 같다 (Fig. 2).

**황철석**

황철석은 매우 다양한 산출상태를 보이며 대부분 광석광물중에서 가장 우세하게 산출되는 광물이다. 황철석은 그 산출상으로 보아 전후기에 걸쳐 산출되었다. 황철석의 크기는 0.1~3 mm이며 대부분 세립질 타형이나 자형으로도 산출된다. 맥석중에 단독으로 정출되는 황철석은 반자형 내지 자형이 우세하다. 초기에 정출한 황철석은 대부분 파쇄구조를 보이며 그 파쇄된 틈 사이로 방연석, 섬아연석, 황동석, 함은광물 등이 충전되어 있기도 하며 후기에 정출한 황동석이나 섬아연석에 의해 교대되어 있기도 한다.

**방연석**

방연석은 본 광상의 광맥 전역에 폭 넓게 분포하고 있으며 황동석과 밀접하게 수반되어 나타난다. 대부분 황철석, 섬아연석의 입자 경계면이나 갈라진 틈 (crack)을 따라 충전되어 있다. 황동석내에 반자형으로 나타나기도 하며, 맥석이나 황철석을 포획하기도 하고 섬아연석에 포획되어 나타나기도 한다. 또한 황철석의 파쇄면을 따라 교대되어 있는 경우도 있어 전기 (stage I) 후반 내지 후기



**Fig. 2.** Photomicrographs of the polished sections (one polar), showing the mode of occurrence of ore minerals. Bar scale indicates 100  $\mu\text{m}$  in length. Abbreviations: ap; arsenopyrite, Ag; Ag-bearing mineral, cp; chalcopyrite, g; gangue mineral, gn; galena, py; pyrite, sp; sphalerite, st; stannite.

에 정출한 광물로 사료된다. 방연석과 맥석, 황철석, 섬아연석의 경계면을 따라 함은광물이 교대되어 있는 경우도 있다. 방연석의 화학조성은 Table 1에 나타나며 거의 미량원소를 함유하지 않고 있음이 특징이다.

### 섬아연석

섬아연석은 황동석, 황철석과 밀접히 수반되어 산출된다. 산출상태는 매우 다양하나 일반적으로 타형이 가장 우세하며 massive한 형태로 나타난다. 섬아연석은 황동석과 서로 교호되어 나타나는 경향을 보이고 불규칙한 형태로 황철석과 황동석내에 교대 또는 용리상으로 포함되기도 하며, 특히 용리조직이 crack을 따라 일정한 배열을 보임이 특징적이다. 맥석광물인 석영사이에 산점상으로 나타나며 또한 석영에 의해 교대되기도 한다. 섬아연석중의 FeS 함량은 0.97~3.01 atomic % 범위를 보이며, 미량의 Mn, Cu, Cd를 함유하고 있다 (Table 2).

### 황동석

**Table 1.** Electron microprobe analyses of galenas from the Buckchang mine.

Sample No.	Atomice %						
	Pb	Ag	Cu	Fe	Cd	Sb	S
1	51.34	0.00	0.00	0.86	0.02	0.01	47.48
2	50.45	0.09	0.10	0.20	0.07	0.03	48.98
3	50.25	0.20	0.23	0.00	0.25	0.28	49.23
4	50.30	0.01	0.12	0.01	0.00	0.02	49.35
5	48.60	0.12	0.27	1.17	0.15	0.00	49.88

**Table 2.** Electron microprobe analyses of sphalerites the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %							Atomice %					
	Zn	Fe	Cu	Cd	Mn	S	Total	Zn	Fe	Cu	Cd	Mn	S
1	61.11	2.96	0.48	0.41	0.34	34.25	100.55	45.49	2.54	0.36	0.18	0.30	51.14
2	63.42	2.92	0.61	0.34	0.38	33.94	101.59	46.19	2.49	0.45	0.15	0.32	50.40
3	62.96	3.01	0.61	0.46	0.27	33.76	101.07	46.12	2.58	0.46	0.20	0.23	50.42
4	62.96	2.54	0.54	0.39	0.41	34.26	101.10	45.94	2.17	0.40	0.17	0.35	50.97
5	63.06	2.69	0.77	0.24	0.25	34.00	101.01	46.11	2.30	0.58	0.10	0.21	50.70
6	62.56	2.82	0.83	0.32	0.39	34.15	101.07	45.67	2.41	0.62	0.14	0.34	50.83
7	62.53	3.05	1.09	0.21	0.30	34.05	101.23	45.20	2.62	0.83	0.09	0.26	51.00
8	63.53	2.88	0.64	0.49	0.21	33.53	101.28	46.55	2.47	0.49	0.21	0.18	50.10
9	62.93	3.48	1.99	0.29	0.33	32.64	101.66	46.22	2.99	1.51	0.21	0.29	48.88
10	63.33	3.55	2.08	0.13	0.31	33.36	102.76	45.86	3.01	1.55	0.05	0.27	49.26
11	61.49	3.37	2.02	0.25	0.21	32.93	100.27	45.53	2.92	1.54	0.11	0.18	49.72
12	61.59	2.92	2.42	0.30	0.65	32.66	100.54	45.61	2.53	1.85	0.13	0.57	49.32
13	62.31	2.84	2.38	0.22	0.66	33.19	101.60	45.59	2.44	1.79	0.09	0.58	49.52
14	62.36	2.68	2.32	0.33	0.62	32.90	101.21	45.89	2.31	1.76	0.14	0.54	49.36
15	62.62	1.49	0.78	0.36	0.44	35.00	100.69	45.62	1.27	0.59	0.15	0.38	51.99

황동석은 대체로 불규칙한 형태로 주로 타형을 이루며 섬아연석과 밀접하게 관련되어 나타나며, 산점상으로 산출되고 대부분 섬아연석에 포획된 타형의 미립자들이 특징적으로 나타난다. 황동석은 황철석을 교대하거나 섬아연석과 용리구조를 이루고 있으며 방연석에 의해 교대되기도 한다. 또한 함은광물을 포획하기도 하며 드물게는 방연석을 포획하여 나타나거나 맥석들사이에 산점상으로 나타나기도 한다.

### 유비철석

유비철석은 자형 내지 반자형으로 광상 전반 (stage I)에 걸쳐 맥석광물에 산점상으로 분포하며 그 접촉부에 자류철석을 수반하는 경우가 많다. 입자의 크기는 0.1 mm에서 0.5 cm로 약간 파쇄되어 있고, 광학적 이방성이 아주 강하다. 유비철석의 파쇄된 틈을 따라 맥석광물인 석영과 방해석이 충전되어 있다.

### 자류철석

자류철석은 수 m의 세립결정으로 대부분 황철석에 포획되어 나타나며, 드물게는 황동석 및 섬아연석에 포획되어 소량 산출된다. 경우에 따라서는 유비철석의 경계면을 따라 정출되는 것도 있다. 산출상태는 매우 다양하며 대부분 산점상으로 산출되나 결정입자가 집중되어 있는 경우도 있다. 드물게는 자형의 황철석, 유비철석을 교대하기도 하며, 부분적으로 백철석 또는 황철석으로 변질되어 있는 경우도 있다.

**합금 · 은광물**

북창광장에서 산출되는 합금은광물의 종류로는 에렉트럼 (Table 3), 휘은석 (Table 4) 그리고 Canfieldite 등 Ag-Sn-S계 (Table 5) 및 Tetrahedrite 등 Ag-Sb-S계 유염광물 (Table 6)이다. 광물들에 대한 생성환경 등은 추후 별도논문으로 발표하고자 하며 본 논문에서는 산출상

태만을 언급한다. 합금은광물은 매우 다양한 형태로 산출되며 그 크기는 3 μm~60 μm로 다양하다. 일반적인 산출 상태는 불규칙한 형태로 황철석과 황동석 또는 방연석의 틈을 따라 가는 선상으로 충전되어 있으며 맥석광물에 수반되어 있는 경우도 있다. 보통 합은광물은 방연석의 경계를 따라 가장 뚜렷하게 산출되는 특징을 보인다. 방연석 및 석아연석내에 포획상으로 산출하는 합은광물은 입자의 크기가 3~6 μm이며 주로 등근형의 입자가 산점상으로 흩어져 있는 반면 황철석, 황동석, 방연석 또는 맥석광물의 경계 및 틈을 충전하여 산출되는 것은 대체로 입자가 길쭉하며 폭 2~5 μm, 길이 10~60 μm로 큰 편이다. 에렉트럼은 석영 입자의 경계나 정동석영의 공극중에서 산출된다. 이들 에렉트럼의 화학조성은 Table 3에 보이는 바와 같이 Ag와 Au의 조성비가 거의 1:1에 근사함이 특징적이다. Au의 함량은 46~51 Atomic % 범위를 보여 그 조성변화가 비교적 적은 경향을 보인다.

그 외 광석광물로는 Stannite가 방연석과 황동석의 경계

**Table 3.** Electron microprobe analyses of electrum the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %			Atomice %	
	Au	Ag	Total	Ag	Fe
1	64.03	35.55	99.58	49.66	50.34
2	63.59	37.86	101.45	47.91	52.09
3	6.12	33.78	89.90	51.36	48.64
4	65.87	34.54	100.41	51.09	48.91
5	60.98	38.81	99.79	46.25	53.75
6	63.20	38.15	101.35	47.57	52.43

**Table 4.** Electron microprobe analyses of argentites the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %						Atomice %				
	Ag	Fe	Cu	Sn	S	Total	Ag	Fe	Cu	Sn	S
1	85.97	1.16	1.26	0.47	11.04	99.90	67.21	1.75	1.67	0.33	29.04
2	83.57	0.92	1.13	0.25	14.08	99.95	64.76	1.23	1.84	0.38	31.80
3	83.47	0.82	1.40	0.53	12.18	98.40	61.97	1.31	1.42	0.17	35.13
4	71.89	1.15	0.00	9.87	17.01	99.92	51.38	1.59	0.00	6.46	41.16
5	70.78	1.06	0.00	9.08	17.10	98.02	50.91	1.47	0.00	6.46	41.16

**Table 5.** Electron microprobe analyses of canfieldites the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %							Atomice %					
	Ag	Fe	Cu	Zn	Sn	S	Total	Ag	Fe	Cu	Zn	Sn	S
1	69.70	1.63	1.46	1.55	9.44	17.71	101.49	47.73	2.16	1.70	1.75	5.88	40.80
2	68.25	1.37	1.74	0.90	10.73	18.23	102.67	46.60	1.81	2.02	1.01	6.66	41.90
3	67.06	1.02	0.93	0.00	11.68	19.81	100.50	45.45	1.33	1.07	0.00	7.20	45.18
4	66.17	0.88	1.72	0.70	11.22	19.23	99.92	45.07	1.16	1.99	0.75	6.94	44.08
5	60.87	1.55	1.11	0.00	14.22	23.19	101.54	38.84	1.91	1.20	0.00	8.25	49.80
6	56.87	0.91	1.09	0.00	15.17	25.53	99.57	35.51	1.09	1.152	0.00	8.61	53.64
7	52.67	1.48	1.02	0.00	15.67	27.32	98.16	32.22	1.75	1.06	0.00	8.71	56.25
8	47.78	0.90	1.34	0.00	27.23	22.44	99.69	31.43	1.15	1.50	0.00	7.20	49.65

**Table 6.** Electron microprobe analyses of tetrahedrites the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %							Atomice %					
	Ag	Sb	Cu	Fe	Zn	S	Total	Ag	Sb	Cu	Fe	Zn	S
1	20.05	26.03	22.62	4.00	6.13	22.02	100.85	11.56	13.30	22.14	4.45	5.83	42.72
2	17.98	25.51	23.74	3.82	6.71	22.81	100.57	10.21	12.84	22.89	4.19	6.29	43.59
3	17.71	26.00	24.52	4.34	5.61	23.28	101.46	9.93	12.91	23.34	4.70	5.19	43.93
4	17.01	25.06	24.64	4.07	6.35	22.87	100.00	9.65	12.59	23/73	4.46	5.94	43.64

를 충전하거나 방연석내에 산점상으로 소량 산출되며 초기 생성으로 판단되는 자형의 자철석이 수 m의 크기로 황철석, 자류철석 등과 공존하여 산출되기도 하며 EPMA에 의한 화학조성은 Table 7과 같다. 자류철석은 후기에 정출된 자형의 석영 또는 섬아연석에 의해서 교대되어 있으며 대부분 불규칙한 타형으로 백철석이 소량 산출된다.

### 광물공생관계

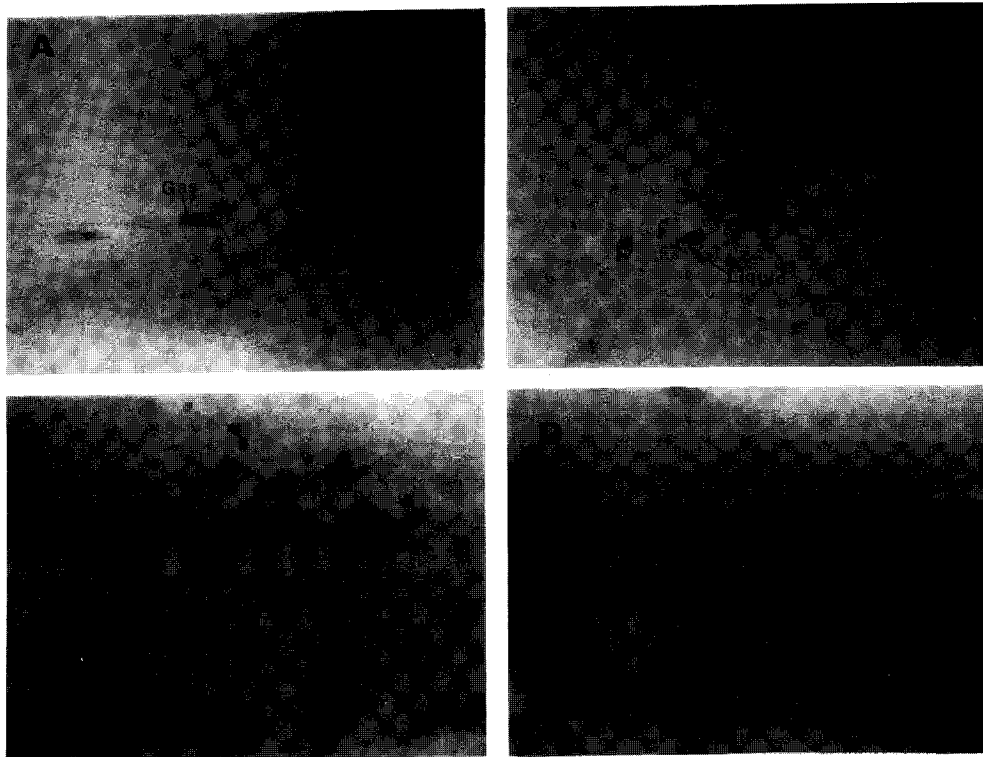
북창광상에서 산출되는 광석광물들에 대한 야외조사 및 현미경관찰 등을 통하여 검토해본 결과 광화작용은 크게 2기로 나누어 지며 함금은 광물의 침전은 주로 광화

II기에 이루어졌음을 알 수 있다.

광화 I기는 암회색의 석영과 대부분의 유화광물들이 정출된 시기이다. 맥은 다량의 황철석과 소량의 유비철석, 황동석, 섬아연석등을 포함하는 유화물로 이루어져 있고 반자형의 자철석과 산점상의 석영립이 약간 수반된다. 유비철석은 맥석광물 내에 자형으로 존재하기도 하며 변형되어 타형으로 나타나기도 한다. 일부는 황철석 내에 자형 내지 반자형으로 존재하고 있고, 그 경계면에 자형의 자류철석이 관찰되기도 하여 비교적 초기에 정출되었음을 시사한다. 황철석은 섬아연석, 황동석등과 밀접히 공존하며 서로 포획하기도 하고 포획당하기도 하는 산출양상을 보이고 있어 이들이 거의 비슷한 시기에 정

**Table 7.** Electron microprobe analyses of stannites the Buckchang mine.

Sample No.	Weight %						Atomice %				
	S	Fe	Sn	Cu	Zn	Total	S	Fe	Sn	Cu	Zn
1	31/05	10.81	26.99	27.52	4.92	101.29	50.21	10.37	12.18	23.20	4.03
2	29.33	11.38	25.89	26.78	4.65	98.03	50.01	11.14	11.92	23.04	3.89
3	29.10	11.17	27.07	27.19	4.27	98.80	49.63	10.94	12.47	23.40	3.57
4	28.70	1.87	27.46	16.27	4.91	98.21	49.47	10.75	12.78	22.85	4.15
5	28.66	10.88	26.71	17.10	5.60	98.95	48.96	10.67	12.36	23.36	4.69



**Fig. 3.** Photomicrographs showing fluid inclusions from the Buckchang Deposit.

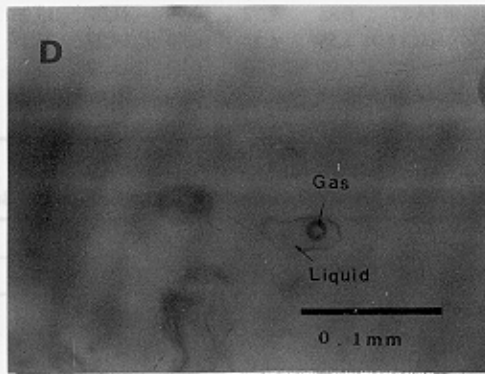
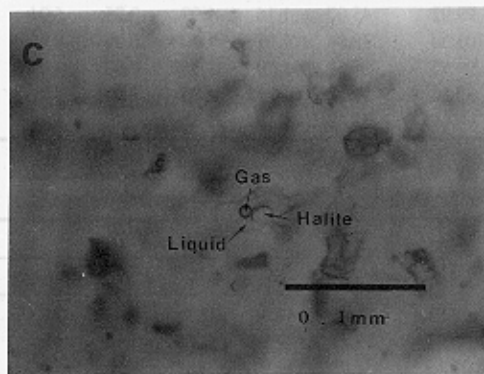
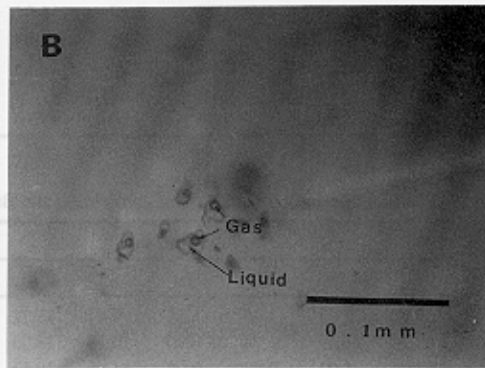
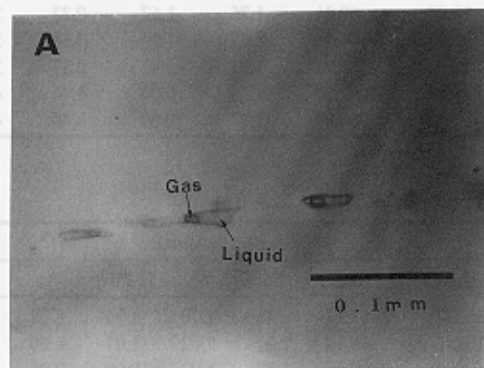


Fig. 3. Photomicrographs showing fluid inclusions from the Buckchang Deposit.



출되었음을 시사한다. 대부분의 섬아연석은 황동석의 포획물 (inclusion)을 관찰할 수 있어 섬아연석은 황동석과 거의 같은 시기에 정출되기 시작하여 보다 후기까지 계속 정출되었음을 알 수 있다. 광화 I기에 정출된 황철석은 대부분 심한 파쇄구조를 보이고 있어 광화 I기의 광물들이 정출된 후 광범위한 파쇄작용이 진행되었음을 시사한다.

광화 II기는 괴상의 유백색 석영과 소량의 유화광물 그리고 엘렉트럼, 휘은석, Ag-Sn-S계 및 Ag-Sb-S계 유염광물등의 함·금은광물이 정출된 시기이며 대부분 광화 I기 광물의 파쇄구조를 따라 충전되어 있다. 함·금은광물은 방연석이나 섬아연석에 포획되어 있기도 하며 방연석내에 산점상으로 나타나기도 한다. 드물게는 황동석이나 황철석의 파쇄된 미세열극을 따라 충전하기도 하며 황동석의 일부를 교대하여 산출되기도 한다.

이 시기는 세립의 백색 석영과 함께 소량의 황철석 그리고 방해석 및 형석 등이 정출되는 시기로 전기의 각력상 황철석과 석영입자 경계부와 파쇄된 열극 사이를 세맥으로 충전하면서 나타나기도 한다.

각 광화시기에 따라 정출된 광물과 정출순서를 종합하여 광물의 공생관계를 표시하면 Fig. 4와 같다.

### 유체포유물

연구지역 광상생성시의 광화유체의 성질과 광상생성조건을 규명하기 위하여 유체포유물 연구를 실시하였다. 유체포유물 연구는 북창광상의 광맥을 구성하고 있는 광물

	Stage I	Stage II
Pyrite	_____	_____
Galena	_____	_____
Sphalerite	_____	_____
Chalcopyrite	_____	_____
Arsenopyrite	_____	_____
Pyrrhotite	_____	_____
Magnetite	_____	_____
Marcasite	_____	_____
Stannite	_____	_____
Ag-bearing minerals	_____	_____
Calcite	_____	_____
Quartz	_____	_____
Fluorite	_____	_____

Fig. 4. Paragenetic sequence of minerals from the Buckchang mine.

들 중 광화 I기와 II기 석영 내의 유체포유물을 대상으로 실시하였다. 일반적으로 유체포유물은 크기, 형태, 산출상태에 근거하여 분류된 초생포유물과 2차포유물이 동일시료에서 관찰되지만 유체포유물 연구는 초생포유물 및 2차포유물로 판단되는 것만을 대상으로 실시하였다.

석영 중에 관찰되는 유체포유물은 대부분이 액상과 기상의 2상 포유물이며 드물게 액상, 기상, 고상을 포함하는 다상의 포유물도 나타난다. 2상 및 다상포유물의 기상 충전도는 5~30% 정도이며 상온에서 CO<sub>2</sub>를 함유한 포유물은 관찰되지 않았다. 유체포유물의 형태는 대부분 부정형이 많았으며 시료에 따라 타원형 (oval shape)과 원형도 관찰되나 그 수는 많지 않다. 크기는 대부분 5~50 μm 정도이며 일반적으로 10~20 μm 크기가 대부분이다 (Fig. 3). 유체포유물의 균질화온도 측정은 각각의 포유물에 대해 3회 이상 반복측정을 하였으며 재현오차는 2% 이내였다.

### 유체포유물의 분류

산상별 석영 중의 유체포유물의 종류는 실온에서 관찰되는 상의 종류와 충전도, 가열 및 냉각실험시 유체포유물의 상변화 거동에 따라 I, II형 포유물로 분류된다.

I형 포유물은 시료 중에서 가장 보편적으로 보이며 유체포유물로서 I, II기의 석영에서 모두 관찰된다. I형 포유물은 액상과 기상의 2상으로 구성되어 있으며 가열실험시 액상으로 균일화된다. II형 포유물은 액상, 기상, 고상으로 구성되어 있는 다상 포유물로서 그 숫자가 많지 않으며, 고상을 제외한 기상의 충전도는 I형 포유물과 거의 유사하다. 고상은 정방형의 압염 (halite)과 불투명광물로 되어 있다. II형 포유물 역시 가열실험시 액상으로 균일화되며 상온이나 냉각실험시 액체 CO<sub>2</sub>나 CO<sub>2</sub>수화물은 관찰되지 않았다.

### 균일화 온도 및 염 농도

가열실험에 의한 석영 중의 유체포유물의 균일화 온도 범위는 광화작용의 시기에 따라 크게 두 군으로 분류된다 (Fig. 5). 광화 I기의 석영 중에 포함된 유체포유물의 균일화 온도는 3개의 시료를 측정된 결과 174~235°C이다. 광화 II기에 정출된 석영 중에 포함된 유체포유물의 균일화 온도는 2개의 시료에 포함된 유체포유물을 측정된 결과 I형 포유물이 138~218°C이고, 고상을 포함하는 II형 포유물은 염의 용해온도 (220~368°C)보다 비교적 낮은 온도범위인 154~175°C에서 기상이 액상으로 충전되는 균일화 온도를 보여 광화 후기로 가면서 균일화 온도가

낮아지는 경향을 보인다. 이러한 현상은 각 시기를 대표하는 광석광물의 정출에 온도의 하강이 중요하게 작용하였음을 시사한다.

염농도는 염농도에 따른 빙점강하의 차이를 이용하여 구하였다 (Potter *et al.*, 1978). 북창광상의 광화 I, II기 석영 내 유체포유물의 염농도는 각각 0.35~4.01 wt.%, 1.90~8.40 wt.%의 범위를 보여 광화 I, II기 유체포유물 간의 염농도는 대부분이 중복되는 범위를 보인다.

**유황안정동위원소**

광석광물중에 공존하는 황화광물의 유황안정동위원소비는 광화유체의 생성기원과 광상생성온도를 고찰하기 위한 중요한 도구로 사용되어 왔다. 본 연구에서는 광화

용액의 기원과 광상의 생성온도를 추적하기 위해 광화 I, II기의 정출광물인 황철석-섬아연석-방연석에 대해 유황동위원소비를 측정했다. 대상광물로 부터 황성분의 추출은 Sn(II)-Strong Phosphoric Acid (280±10°C)와의 환원반응으로, 분석용의 가스 (SO<sub>2</sub>) 정제는 유리제 진공라인 (<10<sup>-5</sup>Torr)을 이용하여 통상적인 방법에 따라 수행했다 (Sasaki *et al.*, 1979). 유황동위원소비는 CDT (Canyon Diablo Troilite)를 표준시료로 가스질량분석기 (Finnigan MAT Delta-E)를 이용하여 3회 이상 반복 측정하였다. Table 8에 나타낸 바와 같이 황철석의 δS<sup>34</sup> 값은 +5.68~+5.72%, 섬아연석의 δS<sup>34</sup> 값은 +4.50~4.58% 이고, 광화 I, II기에 걸쳐 항상 이들과 공존하는 광물인 방연석의 δS<sup>34</sup> 값은 +3.99~+5.08%이다. 북창광상에서 산출되는 유화광물 시료의 δS<sup>34</sup> 값은 +3.99~+5.72%로서 비교적 좁은 범위를 보여 이들 유황의 기원이 산성화성암과 관계하고 시사함과 아울러 광화 I,II기에 걸쳐 정출하는 방연석의 유황동위원소비가 황철석의 그것과 매우 근소한 차(<2%)를 보임이 특징이다. 이는 본 광상의 생성 온도에 비추어 볼때 정상적인 평형상태하의 황철석-방연석간 동위원소분배 (>4%)에 미치지 못하는 값으로 광화 작용이 진행되는 동안 광화유체가 불평형적 상태하에 있었거나 정출고결후 동위원소비가 재평형 혹은 교란되었을 가능성을 시사한다.

유황동위원소 지질온도계는 평형상태하의 광화유체로부터 정출하여 공존하는 광물쌍 사이에 존재하는 유황동위원소의 분배를 토대로 하여 얻을 수 있다 (Sasaki, 1971; Kajiwar, Korouse, 1971; Ohmoto, Rye, 1979). 본 연구에서 얻어진 공존유화광물 쌍간의 동위원소분배는 광화 I기의 ΔδS<sup>34</sup><sub>py-sp</sub> 값이 1.10, 광화 II기의 ΔδS<sup>34</sup><sub>py-sp</sub> 값이 1.22로 나타났다. 이들 광물 쌍을 정출시킨 광화유체가 평형상태하에 있었으며 고결 후 동위원소의 재분배가 일어나지 않았다고 하는 가정과 함께 이들 값을 Kajiwar, Korouse (1971)의 식에 대입하여 광상의 생성온도를 계

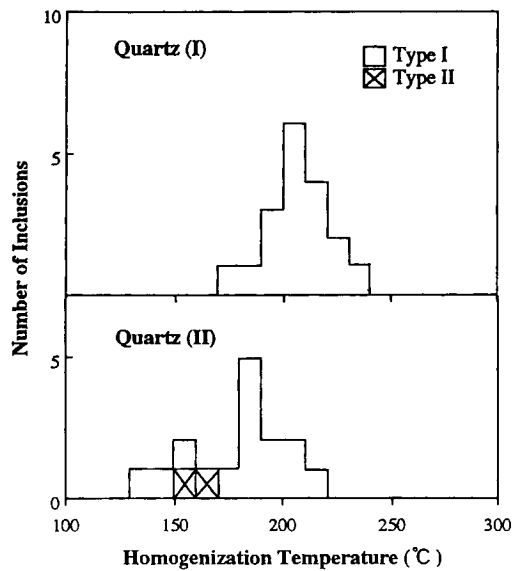


Fig. 5. Histogram showing of fluid inclusions in stage I, II quartz of the Buckchang mine.

Table 8. Sulfur isotopic compositions and calculated temperatures by isotopic geothermometry of sulfide minerals from the Buckchang mine.

Stage	Mineral	Mineral assemblage	δS <sup>34</sup> (%)±σ	Δδ S <sup>34</sup> x-y	Ti(°C)
I	x	Pyrite	+5.68±0.11	1.10	249
	y	Sphalerite	+4.58±0.10		
II	x	Pyrite	+5.72±0.08	1.22	222
		Sphalerite	+4.50±0.12		
I - II		Galena	+4.73±0.06		?
			+4.27±0.14		
			+3.99±0.12		
			+5.08±0.07		

Py; Pyrite, Sp; Sphalerite, Cp; Chalcopyrite, Gn; Galena, Po; Pyrrhotite, Ag; Ag bearing minerals

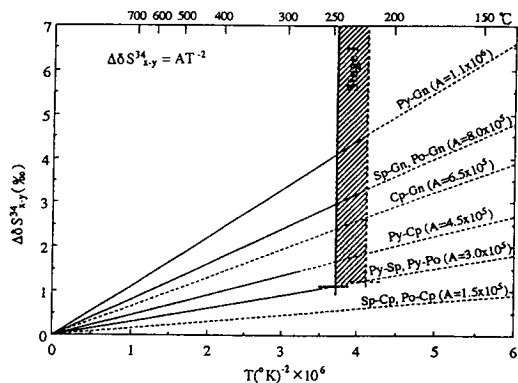


Fig. 6. Sulfur isotopic fractionation between sulfide mineral pairs depends on the temperature. Also shown the sulfur isotopic data of each mineralizing stage in the Buckchang deposits. Abbreviations; cp; chalcopyrite, gn; galena, po; pyrrhotite, py; pyrite, sp; sphalerite.

산한 결과 (Table 8; Fig. 6), 광화 I기의 생성온도가 249°C, 광화 II기가 222°C이다. 이들 온도는 각 광화기 석영 중에 함유되어 있는 유체포유물의 균일화온도 영역의 최상한과 비교적 잘 일치하고는 있으나 고결 후 동위체의 재분배 가능성을 전적으로 배제할 수 없음을 지적해 두고자 한다.

### 광화작용에 대한 고찰

북창광상의 합금은 석영맥의 발달을 규제한 열극계는 주변 모암인 변성퇴적암류에 발달하고 있는 다양한 주향의 선구조중 N13~25°E 주향의 균열구조와 같은 계열로서 본 광상의 광화작용은 기존의 열극구조와 밀접하게 관련되어 있음을 시사한다. 또한 본 지역 서남부에 대상 분포하는 백악기의 석영반암의 관입 규제방향 (N30°E)이 광맥과 유사한 구조적 특징을 보이며 주변에 다른 화성암류가 나타나지 않는 것으로 보아 본 암체가 북창광상의 관계 화성암일 가능성을 강하게 시사하나 이를 확정하기 위해서는 보다 구체적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

북창광상의 생성온도는 유체포유물의 균일화 온도 및 유황안정동위원소 지질온도계에 의해 측정된 결과를 종합하면 광화 I기가 250~210°C, 광화 II기가 이보다 약간 낮은 온도범위인 220°C전후로 추정된다. 그러나 광화 I, II기의 석영중에 존재하는 유체포유물의 형태가 대부분 부정형이며 황철석-방연석 혹은 섬아연석-방연석 광물쌍의 유황동위원소 지질온도계가 황철석-섬아연석 광물쌍의 것과 매우 상이한 결과를 보인다는 점등을 고려할때

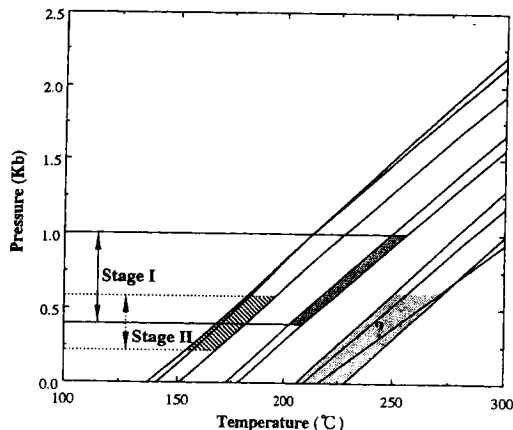


Fig. 7. The calculated isochores of stage I and II fluid inclusions in quartz from the Buckchang deposits and the P-T conditions for each mineralizing stage of the Buckchang deposits determined by combining calculated isochores and sulfur isotope geothermometric data.

이들로부터 추정된 상기 온도가 변질작용등에 의해 교란된 결과의 온도일 가능성 역시 전적으로 배제할 수 없다. 또한 Scott (1973), Hutchison, Scott (1981)등에 의해 제시되어 광상의 생성온도 추정에 일반적으로 이용되는 섬아연석-황철석-유비철석의 광물공생군 상평형관계 역시 본 광상의 광화 I, II기에 걸쳐 정출된 섬아연석중의 FeS mole %가 0.97~3.01로 매우 낮아 적용할 수 없는 조성적 특징을 보이고 있다. 이상의 특징으로 미루어 북창광상의 생성온도를 정확히 추정하기 위해서는 보다 더 자세한 검토가 필요하다고 사료된다.

광상생성 당시 광화유체의 압력조건은 광물의 생성온도와 광화유체의 염농도를 가지고 추정할 수 있다 (Hass, 1971; Potter, Brown, 1977; Potter *et al.*, 1978; Nicholls, Crawford, 1985). 북창광상에서 산출되는 유체포유물의 자료를 Nicholls, Crawford (1985)의 프로그램에 입력하여 작성한 P-T isochores로부터 추정된 광화 I기의 광화유체 압력은 두개의 시료로부터 대략 1.00~0.40 Kb를 보인다. 광화 II기를 대표하는 유체포유물의 자료로부터 구한 P-T isochores는 0.53~0.22 Kb의 압력범위를 보여 광화유체의 압력이 광화 I기에 비해 매우 낮아졌음을 시사한다 (Fig. 7). 또한 대부분의 P-T Isochores가 300°C이하에서는 압력추정이 불가능한 특징을 보였으나 이를 외삽법으로 연장시켜 본바 북창광상의 추정 생성온도 범위에서 광화 II기와 유사한 범위의 압력을 보이고 있음이 특징적이다.

광화 I기에 산출되는 황철석-자류철석-자철석의 광물공생관계와 광상생성온도를 근거로 작성된 Fe-S-O계의 f<sub>s2</sub>-

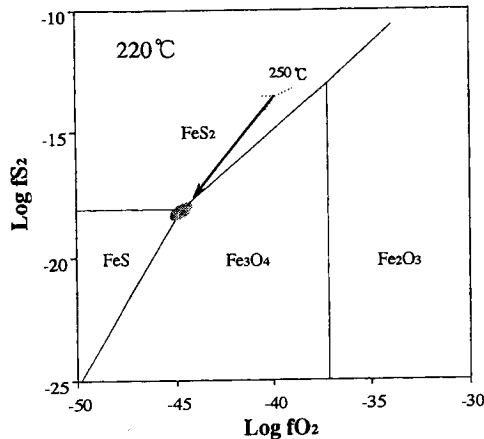


Fig. 8. Fugacity of sulfur vs. fugacity of oxygen diagram at 220°C showing regions stability of pyrite + pyrrhotite+magnetite assemblage from the stage I mineralization of the Buckchang mine.

$f_{O_2}$  관계도로 광화 I기의 산소 및 유황분압을 추정해 본 결과, 광화 I기 평균온도 220°C에서 산소와 유황분압은 각각  $10^{-44.7}$  atm.와  $10^{-18.11}$  atm.이며 유황동위원소로 구한 250°C에서는 각각  $10^{-39.7}$  atm.와  $10^{-13.4}$  atm.의 분압을 보인다 (Fig. 8). 광물의 정출순서를 고려해 볼 때, 광화작용이 진행되는 동안 광화유체의 온도하강과 함께 유황 및 산소분압도 점진적으로 감소하였을 것으로 추정된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 북창광상의 금·은광화작용은 epithermal 형의 환경에서 생성되었으며 일부 (혹은 전부) 후성 변성작용을 받았을 것으로 추정된다.

## 결론

북창 금은광상의 광화작용에 대한 연구결과 다음과 같은 특징으로 요약된다.

1. 북창광상은 시대미상의 변성퇴적암류 중에 발달하는 N16~20°E계의 기존 열극을 충진하여 배대된 열극충진열수광상이다.
2. 광화작용은 대략 I기와 II기로 분류되며 합금은광물은 주로 II기에 정출되었다. 산출되는 주요 합금은광물은 에렉트럼, 휘은석, Ag-Sb계 및 Ag-Sn계의 유염광물이다.
3. 유체포유물의 유형은 액상과 기상으로 이루어진 type I이 대부분으로 광화 I, II기에 공통적으로 포함되어 있으며 고상을 함유하는 type II가 후기 석영 중에서 소수 발견된다. 이들은 모두 액상으로 균일화되는 특징을 보인다.
4. 북창광상에서 산출되는 유화광물 시료의  $\delta S^{34}$  값은

+3.99~+5.72‰로서 비교적 좁은 범위를 보여 이들 유형의 기원이 산성화성암과 관계하고 있음을 시사한다.

5. 유체포유물과 유황안정동위원소로 추정된 광상생성 온도는 광화 I기가 250~174°C, 광화 II기는 222~138°C의 범위를 보인다. 광화유체의 NaCl 상당염농도는 광화 I기가 0.35~4.01 wt.%, 광화 II기가 1.90~8.40 wt.%로 대부분 중첩되나, 광화 후기로 가면서 약간 높아지는 경향을 보인다.

6. 유체포유물의 특성에 의해 추정된 광화기간동안의 압력범위는 광화 I기가 0.40~1.00 Kb, 광화 II기가 0.22~0.53 Kb이다.

7. 광화 I기의 유황분압은  $10^{-13.4}$ ~ $10^{-18.1}$  atm.이고 산소분압은  $10^{-39.7}$ ~ $10^{-44.7}$  atm.이다. 유황분압과 산소분압은 광화작용이 진행됨에 따라 점차 감소하였을 것으로 추정된다.

8. 이상의 생성환경으로부터 북창광상은 천열수형의 광상일 것으로 추정된다.

## 사 사

이 연구는 1995년 전략광물 센터 연구비와 1993년도 한국과학재단 핵심전문 (931-0400-018-2) 연구비와 기초과학연구소 학술연구조성지원 연구과제 (BSRI-96-5425) 연구비에 의하여 연구된 것임을 밝히며, 이에 감사한다. 또한 안정동위원소 측정에 협력하여 주신 기초과학 지원센터의 이광식씨에게도 감사한다.

## 참고문헌

- 김승오 (1986) 전주일 금은광산의 산출 광물과 광상성인에 관한 연구. 전남대학교 석사논문.
- 김재형 (1982) 전주일 광상의 지구화학적 탐사에 관한 연구. 대한광산학회지, 19권, p. 75-82.
- 윤정환, 전용원, 전효택 (1988) 한국 남서부의 덕음과 전주일 광상에 대한 암석 지구화학적 연구. 광산지질, 21권, p. 389-400.
- 홍승호, 최위찬 (1978) 금산지질도폭. 1/50,000, 한국자원연구소.
- Hass, J.L. (1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Econ. Geol., v. 66, p. 940-946.
- Hutchison, M.N. and Scott, S.D. (1981) Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system. Econ. Geol. v. 76, p. 143-153.
- Kajiwara, Y. and Korouse, H.R. (1971) Sulfur isotope partitioning in metallic sulfide systems. Can. J. Earth Sci., v. 8, p. 1397-1408.
- Nicholls, J. and Crawford, M.L. (1985) FORTRAN programs for calculation of fluid inclusions of fluid properties from microthermometric data on fluid inclusions. Computers Geosci., v. 11, p. 619-645.
- Ohmoto, H. and Rye, R.O. (1979) Isotopes of sulfur and

- carbon, *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed. New York, John Wiley and Sons.
- Potter, R.W. and Brown, D.L. (1977) The volumetric properties of aqueous sodium chloride solutions from 0°C to 500°C at pressures up to 2000 bars based on a regression of available data in the literature. *U.S. Geo. Survey Bull.*, v. 1421-E, p. 36.
- Potter, R.W., Clynne, M.A. and Brown, D.L. (1978) Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Econ. Geol.*, p. 284-285.
- Sasaki, A. (1971) Isotope geothermometer. *Mining geology* v. 21, p. 378-393.
- Sasaki, A., Arikawa, Y. and Folinsbee, R.E. (1979) Kiba reagent method of sulfur extraction applied to isotopic work. *Bull. Geol. Surv. Japan*, v. 30, p. 241-245.
- Scott, S.D. (1973) Experimental calibration of the sphalerite geobarometer. *Econ. Geol.*, v. 68, p. 466-474.
- So, C.S., Chi, S.J. and Shelton, K.L. (1987) Stable Isotope and Fluid Inclusion Studies of Gold-Silver-Bearing Vein Deposits, Cheonan-Cheongyang-Nonsan Mining District, Republic of Korea: Nonsan Area. *Neues Jahrbuch Miner. Abh.*, v. 158-1, p. 47-65.

---

1996년 2월 21일 원고접수