

## 將軍鑛山の 磁鐵石鑛床에서 産出되는 鑛石鑛物과 生成條件

李鉉具\* · 李讚熙\* · 宋錫煥\*\*

### Ore Minerals and Mineralization Conditions of Magnetite Deposits in the Janggun Mine, Korea

Hyun Koo Lee\*, Chan Hee Lee\* and Suckhwan Song\*\*

**ABSTRACT:** Magnetite ores of the Janggun mine are embedded in dolomitic limestone of the Janggun Limestone Formation contacting with Chunyang granite, and are closely associated with skarn minerals. Mineralization of magnetite deposits can be divided into two stages as deep-seated skarn stage and shallow hydrothermal replacement stage. Mineralogies of skarn stage consist of magnetite, pyrrhotite and base-metal sulfides, and those of hydrothermal stage is base-metal sulfides, native bismuth, bismuthinite, tetrahedrite, boulangerite, bournonite and stannite. The FeS mole % in sphalerite and As atom % in arsenopyrite range from 22.47 to 26.30 and from 31.39 to 31.66 in skarn stage, and are from 17.54 to 32.54 and 28.87 to 30.70 in hydrothermal stage, respectively. Based on mineralization characteristics, mineral assemblages, chemical compositions and thermodynamic considerations, formation temperatures, sulfur fugacities ( $-\log f_{S_2}$ ), pH and oxygen fugacity ( $-\log f_{O_2}$ ) estimated to be from 345 to 382°C, from 8.1 to 9.7atm, from 6.5 to 7.2 and from 30.5 to 31.2atm in the skarn stage, respectively, and temperature and  $-\log f_{S_2}$  are from 245 to 315°C and from 10.4 to 13.2atm in the hydrothermal stage.

### 序 言

將軍鑛山에는 産出狀態와 成因이 서로 다른 망간鑛床, 鉛-亞鉛-銀鑛床, 바나듐鑛床들이 分布하는 것으로 잘 알려져 있다 (李鉉具外 1990). 最近에는 鉛-亞鉛-銀鑛床의 第 1 豎坑으로 부터 東南쪽으로 350 m 地點에서 30 m 정도의 幅과 300 m 이상의 延長을 보이는 磁鐵鑛體가 發見 되었으며 現在에는 鉛-亞鉛-銀鑛山 南鑛床의 A 鑛體에서 水平坑道를 開設하여 探鑛掘進中에 있다. 이 磁鐵鑛體는 將軍石灰岩層과 東水谷層의 境界를 따라 東西方向으로 貫入한 春陽花崗岩의 接觸面을 따라 發達한다. 이는 스카

른型 鑛床의 形態를 보이며, 産出되는 鑛石鑛物의 種類와 母岩變質의 樣相이 既存의 鉛-亞鉛-銀鑛床과는 다소 다른 特徵을 보여준다.

將軍鑛山에서는 磁鐵石의 下部 發達狀態와 鑛量을 確保하기 위하여 많은 試錐를 實施한 바 있으며 鐵의 品位는 52~62% Fe로 알려져 있다. 磁鐵鑛體의 露頭는 既存 南鑛床 露頭의 南東쪽에 있으며 所謂 才南鑛體로 불리우던 것이다. 또한 深部試錐에서 確認된 磁鐵石과 돌로마이트질 石灰岩의 接觸部에서는 多量의 Mg-스카른 鑛物과 少量의 Ca-스카른 鑛物이 産出되나 이 研究에서는 鑛石 鑛物에 관하여만 다루고자 한다.

이 研究는 將軍鑛山에서 發見된 磁鐵鑛床의 産出狀態와 鑛石의 構成鑛物에 관한 것으로서 鑛物의 共生關係, 化學組成등을 詳細히 糾明하였고, 鑛化作用時의 溫度와 硫黃分壓 條件을 考察하여 鉛-亞鉛-銀鑛床의 鑛物 및 鑛

\* 忠南大學校 地質學科(Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

\*\* 戰略鑛物資源研究센터(Center for Mineral Resources Research, Korea University, Seoul 136-701, Korea)

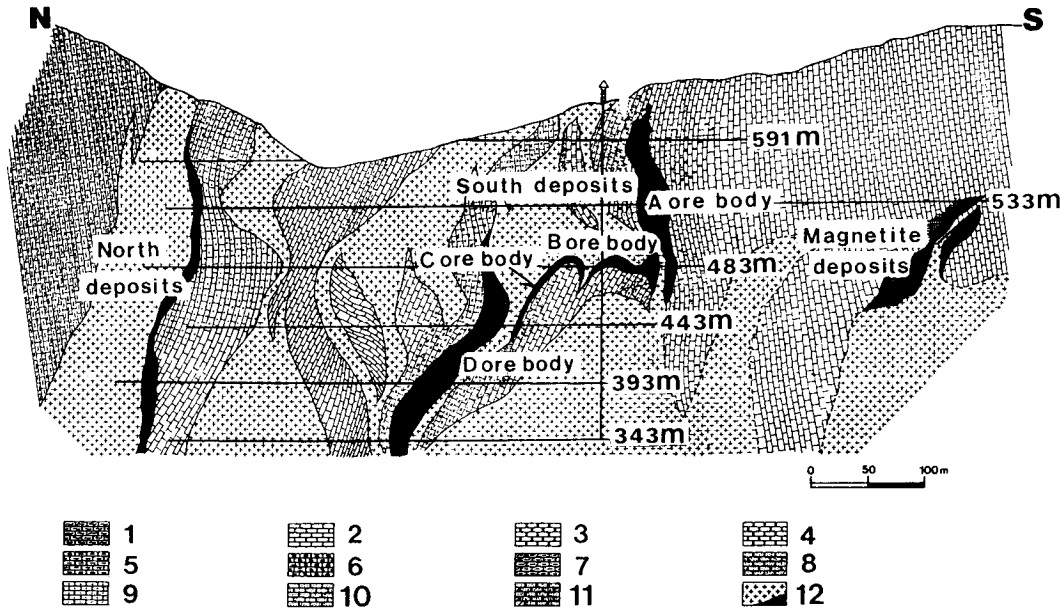


Fig. 1. Idealized geologic cross section and ore bodies from north to south in the Janggun mine. 1; siliceous limestone, 2; white limestone, 3; gray limestone, 4; dark gray limestone, 5; fine banded limestone, 6; brown banded limestone, 7; banded dolomitic rock, 8; dark gray dolomitic rock, 9; tiger limestone, 10; white dolomitic rock, 11; gray dolomitic rock, 12; granitic rock and ore body.

化作用의 條件과 比較檢討한 것이다.

### 地質 및 鑛床

將軍鑛山 周邊의 地質은 金玉準外 (1962), 李大聲 (1967), 黃仁典 (1968), 李鉉具 (1980) 등에 의하여 詳細히 報告된 바 있다. 또한 將軍鑛山을 構成하는 尙干鑛床 (Kim, 1970; 1979; Kim, 1986), 鉛-亞鉛-銀鑛床 (李鉉具, 1980; 李鉉具外; 1990) 및 바나듐鑛床 (Imai *et al.*, 1980; 安建尙과 李鉉具, 1995)에 대하여도 詳細히 研究되어 있으며, 鑛化作用과 地質構造 및 母岩變質에 관하여도 深度있게 檢討된 바 있다 (李鉉具, 1985; 李鉉具外 1990). 따라서 이 研究에서는 이들에 관하여 簡略히 記述하고자 한다.

將軍鑛山의 周邊에는 先캄브리아기의 遠南層群, 栗里層群과 캄브로-오르도비스기의 壯山珪岩層, 斗音里層, 將軍石灰岩層이 分布하며 이를 페름-石炭紀의 東水谷層과 才山層이 平行不整合으로 被覆한다. 이 岩層들은 大寶花崗岩에 대비되는 春陽花崗岩에 의하여 貫入되어 있다. 또한 安山岩質 岩脈들이 위의 堆積岩類와 花崗岩類를 貫入하고 있다. 將軍鑛床의 母岩을 이루는 將軍石灰岩層은 北쪽에서 南쪽으로 가며 岩相 및 組成의 차이가 있다. 北部에서는 Ca가 豊富한 石灰岩이 優勢하나 南部에서는 Mg가 豊富한 돌로마이트질 岩石이 分布하여, 磁鐵鑛床의 周邊

에 分布하는 將軍石灰岩은 典型的인 돌로마이트로 構成되어 있다 (李鉉具外, 1990).

將軍鑛山의 鉛-亞鉛-銀鑛床은 將軍石灰岩層과 春陽花崗岩의 接觸部를 따라 發達한 熱水交代型의 鑛床으로서 鑛體의 空間的 分布에 따라 北鑛床과 南鑛床 (A, B, C, D 鑛體)으로 불리고 있다 (Fig. 1). 磁鐵鑛床은 南鑛床의 東南쪽에 位置하며 鉛-亞鉛-銀鑛床과는 다른 獨立된 스퀴르型의 鑛床이며, 過去에 地表에서 採掘한 實積을 根據로 1985년의 深部試錐에서 鑛體의 存在와 規模가 確認된 것이다. 이 磁鐵鑛床은 돌로마이트질 將軍石灰岩層과 春陽花崗岩의 接觸部를 따라 N70°W의 走向과 50°NE의 傾斜를 보이며 랜즈상으로 發達한 두개의 平行한 鑛體가 있다. 鑛床附近의 將軍石灰岩層을 構成하는 岩石들은 廣域의인 珪化作用을 받았으며 鑛體와의 接觸部에서는 絹雲母化, 綠泥石化, 碳酸鹽鑛物化, 粘土鑛物化 作用이 있었다.

### 鑛石과 鑛物共生關係

磁鐵鑛床에서 產出되는 鑛石鑛物들은 試錐코어 (93-3號孔)에서 確認된 것이기 때문에 鑛物의 廣域의 分布와 鑛化作用의 關係 및 多様な 種類의 鑛石과 鑛物을 觀察한다는 것은 不可能하였다. 93-3호공에서 着脈된 磁鐵鑛石과 鑛物들은 本坑水準의 90~160 m 下部 (上部鑛體)와

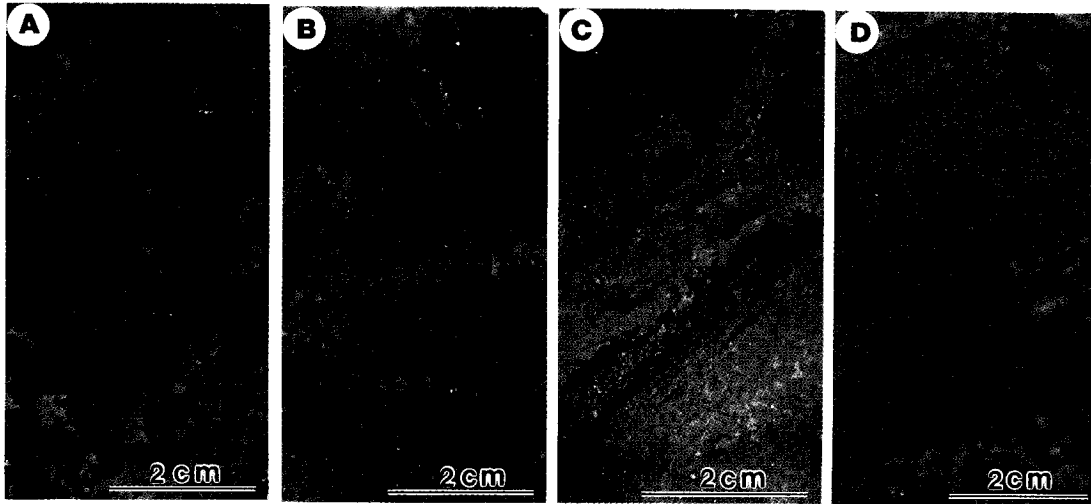


Fig.2. Photographs ore-slabs from boring-core(No. 93-3) in magnetite deposits of the Janggun mine. A; Massive ore of pyrite-galena-sphalerite assemblages from 97 m depth, B; Pyrrhotite-pyrite ores contact with dolomite from 159 m depth, C; Banded ore of pyrrhotite and skarn minerals from 405 m depth, D; Massive ore composed of magnetite from 406 m depth.

Table 1. Relative abundance of ore minerals from Pb-Zn and Fe ore deposits of the Janggun mine.

Minerals	Pb-Zn deposits	Fe deposits
Magnetite		*****
Hematite		**
Native Bi		*
Bismuthinite		**
Arsenopyrite	*****	**
Pyrite	*****	****
Pyrrhotite	***	*****
Sphalerite	*****	**
Galena	****	**
Chalcopyrite	****	**
Marcasite	**	**
Stannite	**	*
Cubanite	*	*
Tetrahedrite	**	*
Boulangerite	**	*
Bournonite	**	*
Freibergite	**	
Pyrrargyrite	**	
Covellite	*	
Alabandite	*	
Betechtnite	*	

Table 2. Chemical composition of magnetite from magnetite deposits of the Janggun mine.

No.	Weight %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
408 m-1	0.62	0.50	1.80	0.25	27.43	67.71	98.31
2	0.42	0.22	2.33	0.30	27.53	67.95	98.75
3	0.23	0.52	1.77	0.30	27.74	68.46	99.02
4	0.29	0.38	1.41	-	28.04	69.23	99.35
5	0.29	0.31	1.82	0.37	27.40	67.63	97.82
6	-	0.01	2.24	0.26	27.35	67.50	97.36
7	-	-	2.27	0.24	27.36	67.35	97.40
8	-	-	1.97	0.17	27.84	68.71	98.71

320~410 m 下部 (下部鑛體)이다. 上部鑛體를 構成하는 鑛石은 閃亞鉛石, 方鉛石, 黃鐵石이 塊狀의 集合體를 이루거나, 黃鐵石과 磁硫鐵石이 共存하며 스카른鑛物의 隨伴이 없이 綠泥石化 또는 絹雲母化 作用을 받았다 (Fig. 2, A, B). 下部鑛體의 경우는 磁鐵石과 磁硫鐵石이 塊狀 또는 互狀을 이루며 産出된다 (Fig. 2, C, D). 이들의 大部分

은 塊狀의 集合體로 産出되나 스카른鑛物이 많이 晶出한 곳에서는 鑛石鑛物帶와 스카른鑛物帶가 互層을 이룬다. 따라서 下部鑛體는 스카른化 作用과 關係가 있으며 上部鑛體는 熱水鑛化作用의 産物인 것으로 보인다.

이 磁鐵鑛床에서 産出되는 鑛石鑛物은 base-metal 黃化鑛物과 磁鐵石 및 磁硫鐵石이 大部分이며, 既存의 鉛-亞鉛-銀鑛床에서와 마찬가지로 四面銅石, 車骨石, 黃錫石, 보우란저라이트 (boulangerite) 등이 産出된다 (Imai *et al.*, 1982; 李鉉具, 今井直哉, 1986; Lee, Imai, 1993). 그러나 Ag-系의 鑛物은 觀察되지 않으며, Bi-系 鑛物의 自然蒼鉛과 輝蒼鉛石이 多量 産出되는 特徵이 있다 (Table 1).

磁鐵石은 最下部의 春陽花崗岩體와 將軍石灰岩이 접하는 곳에서 스카른광물과 함께 塊狀의 集合體나 石灰岩의 層理를 交代하여 互狀으로 産出된다. 顯微鏡下에서는 微量

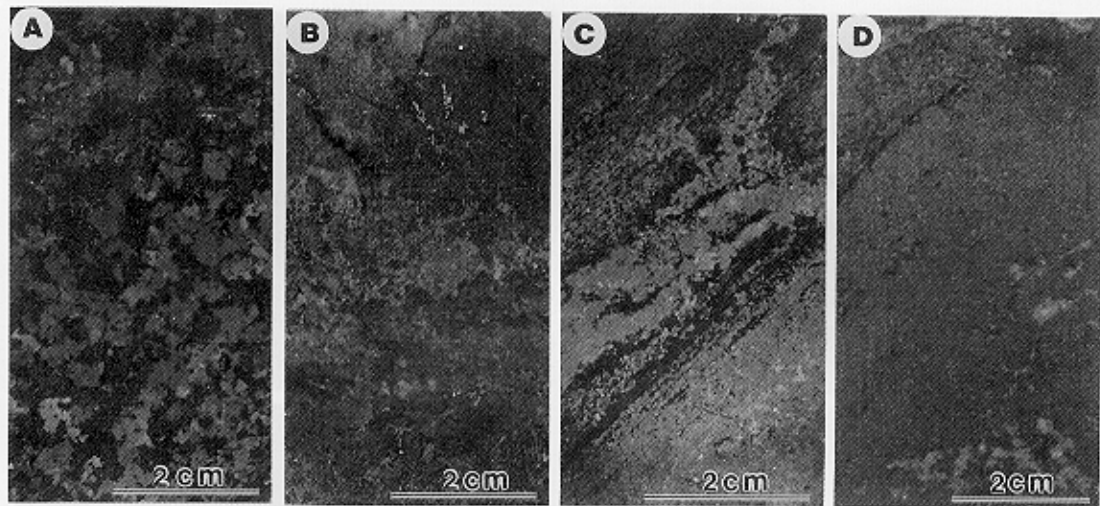


Fig.2. Photographs ore-slabs from boring-core(No. 93-3) in magnetite deposits of the Janggum mine. A; Massive ore of pyrite-galena-sphalerite assemblages from 97 m depth, B; Pyrrhotite-pyrite ores contact with dolomite from 159 m depth, C; Banded ore of pyrrhotite and skarn minerals from 405 m depth, D; Massive ore composed of magnetite from 406 m depth.

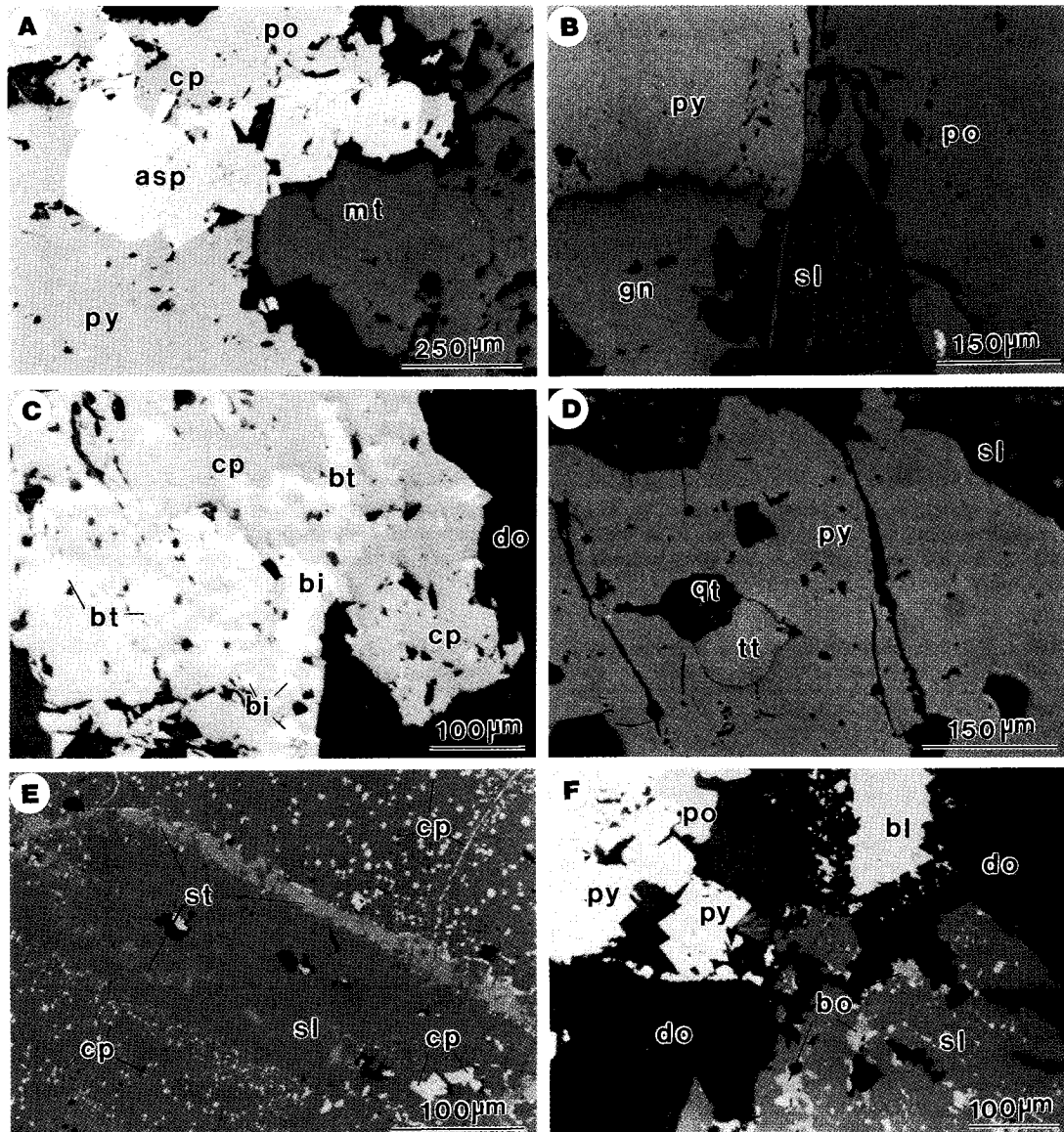


Fig. 3. Microphotographs of ore and gangue minerals from magnetite deposits of the Janggun mine. A; Minerals of magnetite, pyrrhotite, pyrite, arsenopyrite and chalcopyrite assemblages, B; Mutual contact of pyrite, pyrrhotite, sphalerite and galena, C; Chalcopyrite replaced by intergrowth of bismuthinite and native bismuth, D; Tetrahedrite and quartz-bearing pyrite contact with sphalerite, E; Chalcopyrite and stannite diseases-bearing sphalerite, F; Chalcopyrite and bournonite-bearing sphalerite, pyrite-pyrrhotite assemblages and bournonite replacement with dolomite. po; pyrrhotite, cp; chalcopyrite, asp; arsenopyrite, py; pyrite, mt; magnetite, gn; galena, sl; sphalerite, bi; native bismuth, bt; bismuthinite, do; dolomite, qt; quartz, tt; tetrahedrite, st; stannite, bl; bournonite, bo; bournonite.

의 赤鐵石을 隨伴하기도 하며 磁硫鐵石, 硫砒鐵石, 黃鐵石과 共存한다 (Fig. 3, A). 이 磁鐵石에는 微量의  $\text{SiO}_2$  (0.23~0.62 wt%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.01~0.52 wt%),  $\text{MnO}$  (0.17~0.37 wt%),  $\text{MgO}$  (1.41~2.33 wt%)가 包含되어 있으며 (Table 2),  $\text{FeO}$ 와  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 含量은 각각 27.36~28.04 wt%와,

.67.35~69.23 wt% 로서 거의 均一한 組成을 보인다.

黃鐵石과 磁硫鐵石은 產出頻도가 제일 높으며 서로 共存하는 境遇가 大部分으로 石灰岩의 層理를 交代하여 磁鐵石과 함께 互狀을 이루는 것이 많다. 또한 下部鑛體에서는 方鉛石, 閃亞鉛石과 鑛物共生群을 이루기도 하며

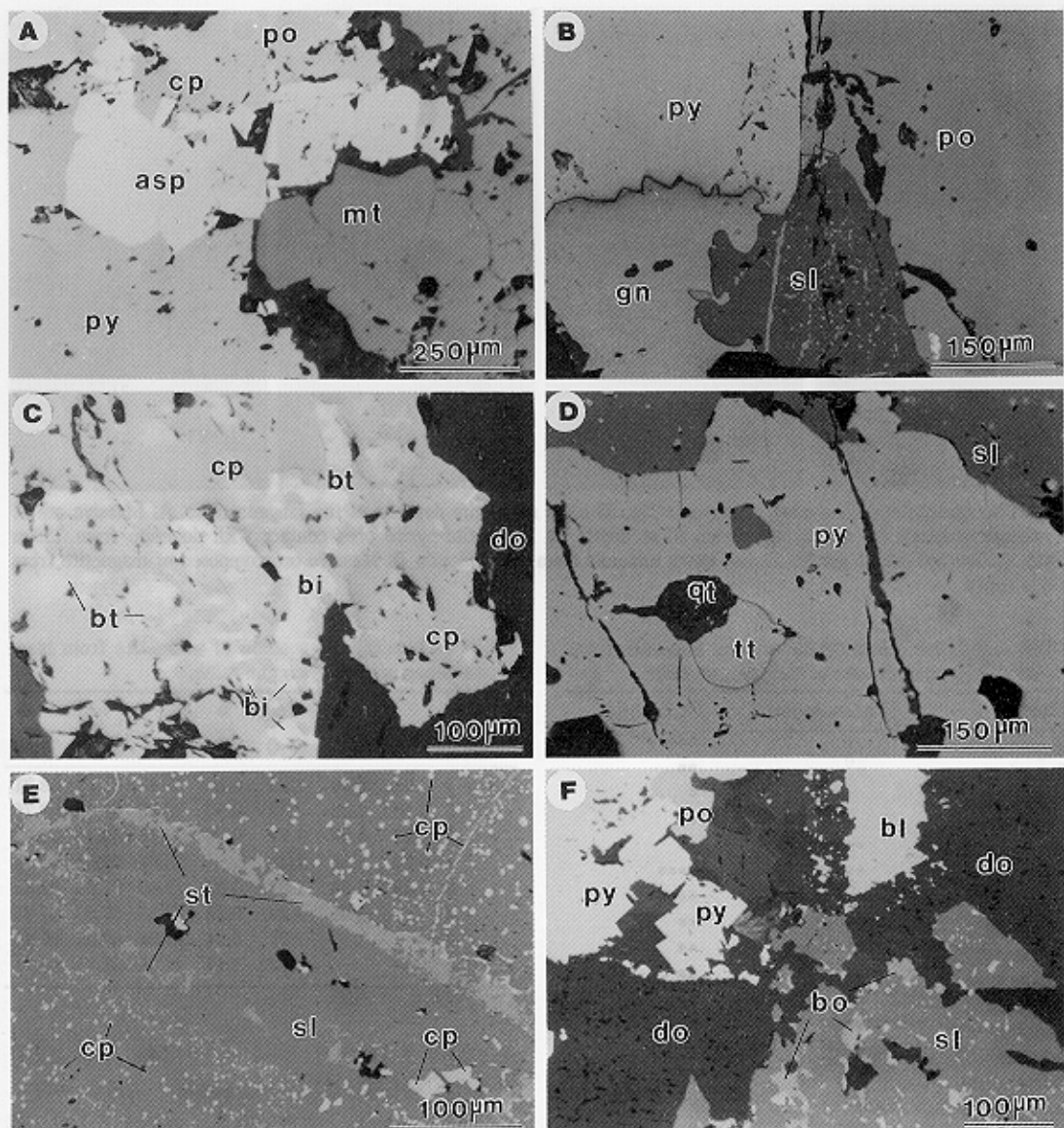


Fig. 3. Microphotographs of ore and gangue minerals from magnetite deposits of the Janggun mine. A: Minerals of magnetite, pyrrhotite, pyrite, arsenopyrite and chalcopyrite assemblages, B: Mutual contact of pyrite, pyrrhotite, sphalerite and galena, C: Chalcopyrite replaced by intergrowth of bismuthinite and native bismuth, D: Tetrahedrite and quartz-bearing pyrite contact with sphalerite, E: Chalcopyrite and stannite replacing sphalerite, F: Chalcopyrite and bournonite-bearing sphalerite, pyrite-pyrrhotite assemblages and bournonite replacement with dolomite. po: pyrrhotite, cp: chalcopyrite, asp: arsenopyrite, py: pyrite, mt: magnetite, gn: galena, sl: sphalerite, bi: native bismuth, bt: bismuthinite, do: dolomite, qt: quartz, tt: tetrahedrite, st: stannite, bl: bismuthinite, bo: bournonite.

**Table 3. Representative chemical composition of arsenopyrite from magnetite deposits of the Janggun mine.**

No.	Weight%						Atomic %				
	Fe	As	Co	Ni	S	Total	Fe	As	Co	Ni	S
97 m-1	37.56	41.31	-	-	20.65	99.52	36.01	29.52	-	-	34.37
2	36.78	41.24	0.27	-	20.67	98.96	35.44	29.63	0.25	-	34.68
3	37.04	42.35	-	0.20	19.89	99.48	35.81	30.52	-	0.18	33.49
4	36.83	42.86	-	0.01	20.27	99.97	35.38	30.70	-	0.01	33.91
5	36.98	41.33	0.08	-	21.66	100.05	35.02	29.18	0.07	-	35.73
159m-1	37.29	40.64	-	0.17	21.35	99.45	35.54	28.87	-	0.16	35.43
Core 2	37.19	41.12	-	0.19	21.22	99.72	35.42	29.20	-	0.18	35.20
↓ 3	37.64	42.33	-	-	20.82	100.79	35.69	29.92	-	-	34.29
↓ 4	36.59	40.87	-	-	20.84	98.30	35.40	29.48	-	-	35.12
↓ 5	37.04	40.89	0.12	-	21.15	99.20	35.24	29.01	0.10	-	35.65
↓ 6	36.98	42.92	-	-	20.94	100.84	35.07	30.35	-	-	34.58
↓ 7	37.23	42.54	-	0.17	20.73	100.67	35.41	30.13	-	0.15	34.31
↓ 8	36.58	42.17	0.03	0.04	20.28	99.10	35.34	30.37	0.02	0.03	34.24
↓ 9	36.77	42.69	-	-	20.06	99.52	35.51	20.74	-	-	33.75
↓ 10	36.60	43.62	0.20	-	20.43	100.85	34.90	31.00	0.18	-	33.92
rim 11	36.78	43.24	-	-	20.04	100.06	35.39	31.02	-	-	33.59
405 m-1	35.82	43.50	-	-	20.13	99.45	34.68	31.39	-	-	33.93
2	35.70	43.98	-	-	20.44	100.12	34.30	31.50	-	-	34.20
3	35.19	44.37	-	-	20.78	100.34	33.69	31.66	-	-	34.65
4	35.84	43.80	-	-	20.22	99.86	34.56	31.48	-	-	33.96

**Table 4. Representative chemical composition of sphalerite from magnetite deposits of the Janggun mine.**

No.	Weight %							Mole %			
	Zn	Fe	Cd	Mn	Sn	Cu	S	Total	ZnS	FeS	CdS
97 m-1	46.16	19.55	0.51	0.73	0.21	-	33.22	1100.38	65.64	32.54	0.42
2	54.70	11.15	0.31	0.12	0.41	-	32.92	99.61	80.09	19.11	0.26
3	56.15	10.37	0.40	0.10	0.36	0.35	32.41	100.14	81.14	17.54	0.34
4	51.21	15.20	0.72	0.30	0.51	0.05	32.41	100.45	73.04	25.38	0.60
5	53.23	13.13	0.53	0.19	0.19	0.44	32.23	99.94	76.38	22.06	0.44
6	51.38	15.03	0.64	0.65	0.25	0.26	32.53	100.74	72.85	24.95	0.53
159 m-1	54.32	11.23	0.63	0.23	0.44	0.12	33.44	100.41	79.33	19.20	0.54
2	49.82	15.85	0.63	0.06	0.44	-	33.65	100.45	72.14	26.87	0.53
3	54.79	10.72	0.51	0.03	0.34	-	33.96	100.35	80.74	18.49	0.44
4	46.03	18.40	0.54	0.24	0.42	-	34.47	100.10	67.29	31.49	0.46
5	50.62	13.28	0.83	0.26	0.50	-	33.96	99.45	75.29	23.12	0.72
6	50.31	14.56	0.62	0.16	0.37	-	34.16	100.18	73.78	25.03	0.53
405 m-1	52.38	13.88	0.42	0.12	-	0.27	32.99	100.06	75.59	23.45	0.35
2	53.78	13.61	0.34	0.02	-	0.45	32.18	100.38	76.39	22.63	0.28
3	52.02	14.72	0.43	0.06	-	0.33	32.51	100.07	74.41	24.65	0.36
4	50.85	14.94	0.32	0.11	-	0.47	32.54	99.23	73.55	25.30	0.27
406 m-1	52.19	13.61	0.77	0.15	-	0.33	32.21	99.26	75.54	23.06	0.65
2	51.90	14.03	0.77	0.06	-	0.72	33.27	100.75	74.59	23.60	0.27
3	53.31	13.35	0.57	0.06	-	0.21	33.07	100.75	76.64	22.47	0.48

(Fig. 3, B), 葉片狀의 큐바나이트 (cubanite)를 갖는 黃銅石과 共存하기도 한다.

硫砷鐵石은 黃鐵石 및 磁硫鐵石과 共存하며 (Fig. 3, A) 一部는 閃亞鉛石과 함께 産出된다. 이 鑛物의 As 含量은 産出深度에 따라 약간씩 달라 下部에서는 31.39~

31.66 atom% 이나 上部에서는 28.87~30.70 atom%의 範圍를 보인다 (Table 2, Fig. 4). 그러나 一部 硫砷鐵石은 累代組織을 가지고 있어 電子顯微鏡下의 後散亂電子影像 (back-scattered electron image)에 의하여 明確히 區分된다. 이들은 주로 粒子的 外殼部에서 As의 含量이 높으

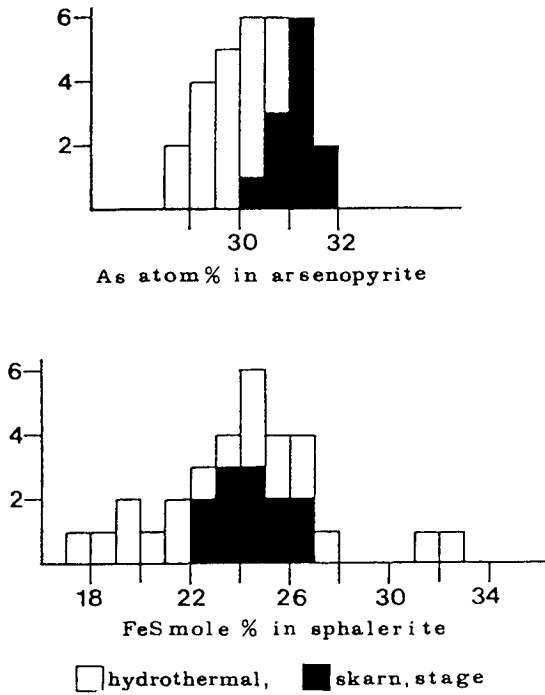


Fig. 4. Histograms showing As content in arsenopyrite and FeS content in sphalerite from magnetite deposits of the Janggun mine.

며 内部로 갈수록 As의 含量이 減少하여 最高 2.15 atom%의 差異를 보인다 (Table 2, No. 159). 이 鑛物內에 包含된 Co, Ni의 含量은 極微量이다.

閃亞鉛石과 方鉛石은 共存하는 境遇가 많으며 黃鐵石과 密接히 共生한다 (Fig. 3, B, D). 또한 閃亞鉛石의 内部에는 多量의 黃銅石, 黃錫石, 車骨石들이 病變狀 (disease) 또는 包有物狀으로 存在한다 (Fig. 3, E, F). 閃亞鉛石의 FeS mole%는 産出깊이에 關係없이 17.54~32.54의 範圍로 상당히 넓다 (Table 4, Fig. 4). 이는 閃亞鉛石內에 病變狀으로 存在하는 黃銅石과 黃錫石의 元素分配 및 交代作用에 影響을 받은 것으로 보인다 (Barton and Bethke, 1987). 이 閃亞鉛石에는 微量의 Cd (0.02~0.83 wt%), Mn (0.02~0.73 wt%), Cu (0.12~0.72 wt%)가 包含되어 있다.

下部鑛體의 黃銅石內에는 葉片狀의 큐마나이트가 共存하나 上部鑛體의 黃銅石에는 相互交代狀의 自然着鉛과 輝蒼鉛石이 多量 産出된다 (Fig. 3, C). 이 Bi-系鑛物은 既存의 鉛-亞鉛-銀鑛床에서는 産出되지 않는 것들이다. 또한 鉛-亞鉛-銀鑛床에서 多量 産出되는 Sb-, Sn-系列의 四面銅石, 車骨石, 黃錫石, 보우저라이트들은 이 磁鐵鑛體에서도 産出된다 (Fig. 3, D, E, F). 그러나 磁鐵鑛床에서는

Minerals	Skarn Stage	Hydrothermal Stage
Hematite	—	
Magnetite	—	
Pyrrhotite	—	—
Arsenopyrite	—	—
Pyrite	—	—
Sphalerite	—	—
Chalcopyrite	—	—
Marcasite	—	—
Cubanite	—	—
Stannite	—	—
Native Bi		—
Bismuthinite		—
Galena		—
Tetrahedrite		—
Boulangerite		—
Bournonite		—
Olivine	—	
Apatite	—	
Chondrodite	—	
Magnesite	—	
Siderite	—	
Clinopyroxene	—	
Wollastonite	—	
Amphibole	—	
Garnet	—	
Phlogophite	—	
Serpentine	—	
Talc	—	
Dolomite	—	
Chlorite	—	
Quartz	—	
Calcite	—	
Sericite	—	

Fig. 5. Mineral paragenesis from magnetite deposits of the Janggun mine.

Ag-系鑛物은 觀察되지 않는다.

前述한 바와 같이 下部鑛體에서는 多量의 Mg-, Ca-型의 스키르나화 作用과 함께 Fe-O, Fe-S, Fe-Zn-S, Fe-As-S, Fe-Cu-S, Pb-Zn-S系 鑛物이 晶出한 것으로 보이며, 이 鑛化流體는 裂隙을 따라 上部로 移動하면서 스키르나화 作用없이 綠泥石, 絹雲母등의 變質作用과 함께 Fe-As-S, Fe-Cu-S, Pb-Zn-S, Pb-Sb-Cu-S, Cu-Fe-Sn-S, Bi-S系 鑛物을 晶出시킨 것으로 보인다 (Fig. 5).

生成條件에 關한 考察

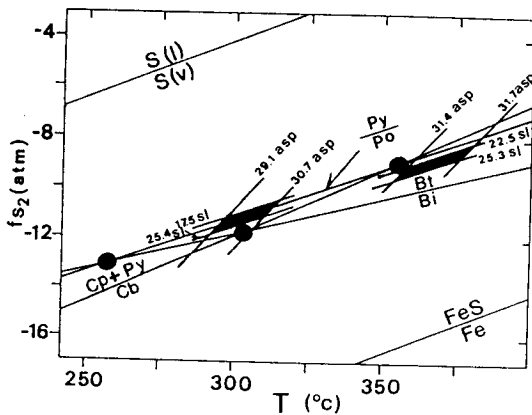
이 鑛床의 磁鐵鑛床에서 産出되는 鑛石鑛物의 共生關係는 下部鑛體와 上部鑛體가 약간 다르다. 下部鑛體에서는 스키르나화 作用과 함께 磁鐵石-磁硫鐵石-黃鐵石, 磁硫鐵石-黃鐵石-閃亞鉛石-硫砷鐵石, 黃鐵石-磁硫鐵石-黃銅



**Table 5.** Summary of mineralization characteristics from Fe and Pb-Zn ore deposits of the Janggun mine.

Characters	Fe-deposits		Pb-Zn deposits
	Skarnization	Hydrothermal	Hydrothermal
Mineral assemblages	Mt-Po-Py Po-Py-Sl-Asp Py-Po-Cp-Cb	Py-Po-Sl-Asp Py-Cp-Bi-Bt Py-Sl-St-Cp Gn-Tt-B1-Bo	Py-Po-Sl-Asp Py-Po-Cp-Cb Sl-Gn-St-Pr Gn-Tt-B1-Bo
FeS mole% in Sl	22.47~26.30	17.54~32.54	18.85~20.75
As atom % in Asp	31.39~31.66	28.87~30.70	30.96~31.66
Temperature(°C)	345~382	245~315	220~360
-logf <sub>s<sub>2</sub></sub> (atm)	8.1~9.7	10.4~13.2	8.0~10.0
-logf <sub>o<sub>2</sub></sub> (atm)	30.5~31.2	-	35~38
pH	6.5~7.2	-	-

Mt; magnetite, Po; pyrrhotite, Asp; arsenopyrite, Sl; sphalerite, Py; pyrite, Bi; native bismuth, Bt; bismuthinite, St; stannite, Cb; cubanite, Cp; chalcopyrite, Tt; tetrahedrite, Bo; bournonite, B1; boulangerite, Gn; galena, Pr; pyrrargyrite.



**Fig. 6.** Diagram of sulfur fugacities and temperatures showing the possible ranges at black area suggested by mineral assemblages and chemical compositions from magnetite deposits of the Janggun mine. Sulfidation curves are from Toulmin and Barton (1964), Barton and Skinner (1979), Cabri (1973), Craig and Barton (1973), Kretschmar and Scott (1976) and Scott (1983). Py; pyrite, Po; pyrrhotite, Bi; native bismuth, Bt; bismuthinite, Cp; chalcopyrite, Cb; cubanite, Asp; arsenopyrite, Sl; sphalerite.

石-큐바나이트의 共生群이 觀察된다. 그러나 熱水鑛化作用에 의한 上部鑛體의 鑛物組合은 黃鐵石-磁硫鐵石-閃亞鉛石-硫砒鐵石 이외에 黃鐵石-黃銅石-自然蒼鉛-輝蒼鉛石, 黃鐵石-閃亞鉛石-黃錫石-黃銅石, 方鉛石-四面銅石-보우란저라이트-車骨石의 共生群이 觀察되는 등, 鉛-亞鉛-銀鑛床의 것과는 차이가 있다. 閃亞鉛石과 硫砒鐵石의 組成들은 거의 비슷한 範圍에 包含되나 각각을 細分하여 보면 조금씩 다른 것을 알 수 있다 (Table 5).

위에서 設定된 鑛物共生群과 閃亞鉛石 및 硫砒鐵石의 化學組成을 가지고 鑛化作用 當時의 溫度과 硫黃分壓

(-logf<sub>s<sub>2</sub></sub>)을 推定할 수 있다. 먼저 Toulmin, Barton (1964) 이 提示한 黃鐵石-磁硫鐵石의 熱力學的 資料와 Barton, Skinner (1979), Cabri (1973), Craig, Barton (1973)이 提示한 黃銅石-큐바나이트, 自然蒼鉛-輝蒼鉛石의 熱力學的 資料를 이용하여 溫度과 硫黃分壓을 推定하면 Fig. 6과 같이 交點이 形成된다. 이때의 溫度과 硫黃分壓은 각각 345~360°C, 8.5~9.5 atm (黃鐵石-磁硫鐵石-黃銅石-큐바나이트) 와 300~315°C, 11.8~12.4 atm (黃銅石-큐바나이트-自然蒼鉛-輝蒼鉛石), 254~265°C, 12.6~13.2 atm (黃鐵石-磁硫鐵石-自然蒼鉛-輝蒼鉛石)의 範圍가 된다. 여기에 黃鐵石-磁硫鐵石-硫砒鐵石-閃亞鉛石의 共存雙에서 구한 硫砒鐵石과 閃亞鉛石의 組成을 가지고 Kretschmar, Scott (1976), Scott (1983)가 提示한 熱力學的 相關圖에 圖示하면 Fig. 6의 境遇와 같이 348~382°C, 8.1~9.7 atm의 範圍와 285~315°C, 10.4~12.2 atm의 範圍가 設定된다. 이들을 스카른化 作用期 및 熱水鑛化時期的 鑛物組合으로 나누어 보면 前者의 溫度과 硫黃分壓은 345~382°C, 8.1~9.7 atm에 包含되며 後者는 245~315°C, 10.4~13.2 atm의 範圍에 該當된다 (Table 5).

熱水鑛化期의 末期에는 Fe-Cu-Pb-Sb-Sn-S系 鑛物이 少量 産出된다. 따라서 Barton (1971), Craig and Barton (1973)이 提示한 Pb-Sb-S계 (보우란저라이트), Cu-Pb-Sb-S계 (車骨石)의 生成條件과 Barton and Skinner (1979)가 提示한 Cu-Fe-Sb-S계 (四面銅石)와 Cu-Fe-Sn-S계 (黃錫石)의 鑛物이 만들어지는 熱力學的 資料를 適用시키면 溫度과 硫黃分壓은 225~378°C와 10.6~15.8 atm 으로서, 溫度는 위에서 推定한 範圍內에 屬하나 硫黃分壓은 다소 낮은 값을 보인다. 또한 鑛化初期의 스카른에는 多量의 磁鐵石-磁硫鐵石-黃鐵石의 共生群이 觀察된다. 이 共生群이 生成될때의 pH와 酸素分壓 (-logf<sub>o<sub>2</sub></sub>)를 알아보

기 위하여 위에서 推定한 溫度範圍 (345~382°C)를 가지고 Barnes and Kullerud (1961)의 Fe-S-O 相關圖에 適用하여 구한 pH는 6.5~7.2 이며 酸素分壓은 30.5~31.2 atm 이다.

磁鐵礦床과 鉛-亞鉛-銀礦床의 礦物組合과 化學組成 및 生成條件은 Table 5와 같이 좋은 對比를 보인다. 前者에서는 Bi-系 礦物이, 後者는 Ag-系 礦物이 產出되는 特徵이 있으며 磁鐵礦床의 熱水時期과 鉛-亞鉛-銀礦床의 特徵은 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 따라서 이들 礦床의 鑛化流體와 鑛化作用의 物理化學的 條件은 크게 다르지 않았을 것으로 推定되며, 母岩의 組成과 鑛化深度의 차이에 따른 鑛石의 累代分布로 인하여 深部에서는 磁鐵礦床이, 보다 淺部에서는 鉛-亞鉛-銀礦床의 發達이 있었던 것으로 解析된다. 이에 관한 鑛化流體의 進化和 礦物의 晶出過程등의 具體的인 資料와 解析은 차후에 報告하고자 한다.

## 結 言

1. 將軍鑛山의 磁鐵礦床은 將軍石灰岩層의 돌로마이트 질 石灰岩을 母岩으로 하여 春陽花崗岩의 接觸部에서 스카른礦物과 함께 產出되며 品位는 51.6~61.7% Fe 이다. 磁鐵礦床의 鑛化作用은 深部の 스카른化 時期와 보다 淺部の 熱水鑛化 時期로 區分할 수 있다.

2. 스카른기의 鑛石鑛物은 base-metal 黃化鑛物외에 磁鐵石, 磁硫鐵石이 多量 產出된다. 熱水時期의 鑛石鑛物은 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石과 黃錫石, 보우란저라이트, 車骨石, 四面銅石등의 Pb-Sb-Cu-S계 및 Cu-Fe-Sn-S계 鑛物과, Bi-계의 自然蒼鉛과 輝蒼鉛石이 產出된다. 그러나 Ag-鑛物은 觀察되지 않는다.

3. 閃亞鉛石의 FeS mole%와 硫砒鐵石의 As atom%는 鑛化作用의 特徵에 따라 조금씩 달라, 스카른기의 組成은 각각 22.47~26.30, 31.39~31.66 이며 熱水期의 組成은 17.54~32.54, 28.87~30.70 이다.

4. 鑛化作用의 特徵, 鑛物共生群, 化學組成 및 熱力學的 資料를 根據로 推定한 스카른기의 溫度와 硫黃分壓 (-logf<sub>S<sub>2</sub></sub>)은 345~382°C, 8.1~9.7 atm 이며, pH와 酸素分壓 (-logf<sub>O<sub>2</sub></sub>)은 6.5~7.2, 30.5~31.2 atm 이다. 또한 熱水時期의 溫度와 硫黃分壓은 각각 245~315°C, 10.4~13.2 atm 이다.

## 謝 辭

이 研究는 韓國科學財團 後援 戰略鑛物資源研究센터의

支援으로 遂行되었다. 一部 鑛物의 定量分析, 野外調査 및 試料處理를 도와주신 韓國資源研究所의 梁東潤博士, 忠南大學校 地質學科의 金尙中碩士, 庚鳳哲碩士, 郭昌根 및 李鍾昌學士에게 甚深한 感謝를 표한다.

## 參考文獻

- 金玉準, 洪萬燮, 金起泰, 朴喜寅 (1962) 1/50,000 三千里 地質圖幅. 國立地質調查所.
- 安建尙, 李鉉具 (1995) 慶北 奉花郡에 分布하는 壯山珉岩層의 岩石學적 및 地化學的 研究. 資源環境地質, 28권, p. 43-51.
- 李大聲 (1967) 將軍 망간鑛床의 地質과 鑛床. 地質學會誌, 3권, p. 51-59.
- 李鉉具 (1980) 韓國 將軍鑛山 複合硫化物, 硫鹽鑛石의 鑛床學的 및 鑛物學的 研究. 日本 早稻田大學 博士學位論文 (日語), 329p.
- 李鉉具 (1985) 將軍鑛山 附近에 分布하는 將軍炭酸鹽岩의 熱水變質作用. 忠南科學研究誌, 12권, p. 99-114.
- 李鉉具, 今井直哉 (1986) 韓國 將軍鑛山의 黃錫石에 대하여 - 將軍 鉛-亞鉛-銀 鑛石鑛物 知識에의 寄與 (3). 鑛山地質, 20권, 特別號, p. 121-130.
- 李鉉具, 高錫濤, 今井直哉 (1990) 將軍鑛山의 鉛, 亞鉛, 銀 및 鐵鑛床의 成因과 地質構造와의 關係 - 鑛床生成의 地質構造 規制와 母岩의 變質. 鑛山地質, 23권, p. 161-181.
- 黃仁典 (1968) 三韓將軍鑛山 調查報文. 鑛山地質, 1권, p. 9-30.
- Barnes, H. L. and Kullerud, G. (1961) Equilibria in sulfur-containing aqueous solutions in the system Fe-S-O, and their correlation during ore deposition. Econ. Geol., v. 56, p. 648-688.
- Barton, P. B. (1971) The Fe-Sb-S system. Econ. Geol., v. 68, p. 493-506.
- Barton, P. B. and Bethke, P. M. (1987) Chalcopyrite disease in sphalerite: Pathology and epidemiology. Am. Min., v. 72, p. 451-467.
- Barton, P. B. and Skinner, B. J. (1979) Sulfide mineral stability. In: Barnes, H. L. (ed.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2nd ed., New York, Wiley, p. 278-403.
- Cabri, L. J. (1973) New data on phase relations in the Cu-Fe-S system. Econ. Geol., v. 68, p. 443-454.
- Craig, J. R. and Barton, P. B. (1973) Thermodynamical approximations for sulfosalts. Econ. Geol., 68, p. 1435-1444.
- Imai, N., Lee, H. K. and Machida, M. (1980) Vanadium-bearing mica from the Jangsan quartzite in the Janggun mine area, Republic of Korea. Clay Sci., v. 5, p. 221-236.
- Imai, N., Lee, H. K. and Sakai, T. and Park, N. Y. (1982) Bouronite from the Janggun mine, Republic of Korea - Contributions to the knowledge of ore-forming minerals in the Janggun lead-zinc-silver ores (1). Jour. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol., v. 77, p. 310-321.
- Kim, K. H. (1986) Origin of manganese carbonates in the Janggun mine, South Korea. Jour. Kor. Inst. Mining Geol., v. 19, p. 109-122.
- Kim, S. J. (1970) Mineralogy and genesis of the manganese ores from Janggun mine, Korea. Jour. Geol. Soc. Kor., v. 6, p. 135-186.

- Kim, S. J. (1979) The stratabound manganese carbonate deposits of the Janggun mine area, Korea. Monograph Series on Mineral Deposits, No. 18, 78p.
- Kretschmar, U. and Scott, S. D. (1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Can. Min.*, v. 14, p. 364-386.
- Lee, H. K. and Imai, N. (1993) Boulangerite from the Janggun mine, Republic of Korea: Contributions to the knowledge of ore-forming minerals in the Janggun lead-zinc-silver ores (2). *Jour. Kor. Inst. Mining Geol.*, v. 26, p. 129-134.
- Scott, S.D. (1983) Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Min. Maga.*, v. 47, p. 427-435.
- Toulmin, P. III. and Barton, P. B. (1964) A thermodynamic study of pyrite and pyrrhotite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 28, p. 641-671.

---

1996년 1월 29일 원고접수