

# 將軍鑛山 亞鉛精鑛 低品位 現象의 原因과 品位 上昇 方案에 對한 鑛物學的 研究

金 洙 鎭\*

Mineralogical Study of Zinc Ores and Mill Products from the Janggun Mine. (With Emphasis on the Cause of Low-grade Concentrate and the Scheme of Raising Its Grade).

Soo Jin Kim

### Abstract

Mineralogical study of original and crushed zinc ores as well as mill products was made in order to find out the cause of low-grade concentrate and the scheme of raising its grade. Low-grade concentrate is due to 1) the abundance of other independent sulfides (arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, stannite) and silicate (quartz) in the zinc concentrate, 2) the presence of composite grains of sphalerite and other sulfides or silicate, 3) the presence of a lot of very fine-grained particle of stannite and chalcopyrite within the sphalerite grains, and 4) the high content of iron in sphalerite. It is proposed that further crushing and other appropriate processing should be made in order to increase the grade of zinc concentrate.

### 1. 序 言

本 研究는 東邦鑛業株式會社의 要請에 따라 將軍鑛山 亞鉛精鑛 低品位現象의 原因 究明과 그 品位 上昇 方案에 對한 鑛物學的 檢討를 爲하여 施行되었다.

資源開發研究所 選鑛試驗 結果에 依하면 亞鉛精鑛의 亞鉛品位가 Zn 40% 程度(東邦鑛業株式會社 提供)로 나타나고 있는 바 이와같은 低品位現象의 原因을 原鑛石과 精鑛의 組成鑛物 및 組織分析에 依하여 그 原因을 찾아 選鑛過程에서의 問題點을 改善 또는 새로운 過程을 添加함으로써 精鑛의 亞鉛 品位를 上昇시키려는 試圖에 對한 뒷받침되는 鑛物學的 基本資料를 찾아내기 爲하여 本 研究가 始作되었다.

### 2. 研究에 使用된 試料와 特性

本 研究에 使用된 試料는 東邦鑛業株式會社로부터

提供받은 것으로서 試料의 種類와 數는 다음과 같다.

試 料 種 類	個 數
原 鑛 石	14
粗 粒 粉 鑛	1
亞 鉛 精 鑛	1
亞 鉛 미 들 링	1
(7.4 sizing-100+200)	1
(7.4 sizing-200+300)	1
As 精 鑛	1
As 鑛 尾	1
Pb 精 鑛	1
Pb 미 들 링	1
合 計	23

本 研究에 使用된 試料들은 以上에서 살펴 본 바와 같이 現場에서 鑛體에 對하여 水平的 및 垂直的으로 體系의으로 採取된 것이 아니기 때문에 本 研究 檢討 結果는 將軍鑛山産 硫化鑛石 全體에 對하여 適用될 수 있다가 보다는 現採鑛地點 附近 卽 上部鑛體에 對하여

\* 서울大學校 自然科學大學 地質學科  
Dept. of Geology, College of Natural Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea.

適用될 수 있다고 우선 생각하는 것이 合理的인 論理 일 것이다. 왜냐하면 研究에 使用된 試料들은 現大切 坑水準에서 採取된 것으로 보이며 下部 鑛體로 갈수록 組成鑛物과 組織에 있어서 變化가 多小 豫想되기 때문이다. 그러나 上部鑛石의 組成鑛物과 組織에 對한 研究 檢討結果는 下部 鑛石의 選鑛 方案에 對해서도 새로운 資料만 添加하면 크게 도움이 될 것으로 思料된다.

3. 研究方法

原鑛石試料와 이의 研磨片에 對하여 우선 鑛物組成과 組織에 關하여 肉眼的 및 顯微鏡的으로 觀察하여 鑛石의 種類를 區分하고 各 選鑛 工程에서의 鑛物粉의 研礎片을 製作하여 顯微鏡下에서 組成 鑛物과 그 特徵 그리고 鑛石 組織의 種類와 그 成因을 檢討하였다. 組織의 成因에 對한 檢討는 下部에서의 鑛石變化에 對한 資料를 提供하여 주기 때문에 重要하다.

顯微鏡下에서는 또한 組成 鑛物 特히 亞鉛選鑛에 있어서 直接 關係있는 鑛物들의 粒度를 測定하는 한편 重要組織에 對하여는 寫眞 撮影을 하였다.

顯微鏡下에서 識別된 各種 鑛物들은 이를 더욱 確實히 하기 爲하여 X線 廻折分析을 實施하였다. 顯微鏡의 및 X線 鑑識方法으로도 多少 어려운 黃錫石의 存在를 確實히 하기 爲하여 化學分析을 實施하였다. 또한 重要 選鑛產物의 純度를 알아보기 爲하여 化學分析을 實施하였다.

4. 原鑛石의 鑛物組成과 組織

A) 組成鑛物의 種類

將軍鑛山의 硫化鑛石은 다음과 같은 鑛物로 構成되어 있다.

硫化鑛物

硫 砒 鐵 石	FeAsS
黃 鐵 石	FeS <sub>2</sub>
閃 亞 鉛 石	(Zn, Fe)S
黃 錫 石	Cu <sub>2</sub> FeSnS <sub>4</sub>
黃 銅 石	CuFeS <sub>2</sub>
方 鉛 石	PbS
輝 安 石	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
輝 銀 石(아켄다이트)	Ag <sub>2</sub> S
含 銀 黝 銅 石	(Cu, Fe, Zn, Ag) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
보 우 란 저 石	Pb <sub>2</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>
磁 硫 鐵 石	Fe <sub>1-x</sub> S

炭酸鹽鑛物

菱 芒 間 石	MnCO <sub>3</sub>
---------	-------------------

自 雲 石	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
含 芒 間 白 雲 石	Ca(Mg, Mn)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
클 나 호 라 이 트	CaMn(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

珪酸鹽鑛物

石 英	SiO <sub>2</sub>
-----	------------------

以上の 鑛物들 中 含銀黝銅石와 보우란저石은 現在 檢討對象인 鑛體에서는 發見되지 않았다.

B) 鑛石의 種類

本 鑛山의 硫化鑛石은 組成鑛物의 種類에 따라 다음과 같이 몇가지로 區分된다.

1) 菱芒間石을 含有하는 鑛石 : 大體로 菱芒間石, 方鉛石, 輝安石, 輝銀石, 硫砒鐵石으로 構成되어 있다.

2) 菱芒間石을 含有하지 않은 鑛石

i) 黃錫石을 含有하는 鑛石 : 主로 閃亞鉛石, 黃鐵石, 硫砒鐵石, 方鉛石 및 石英으로 構成되어 있고 閃亞鉛石이 黃錫石과 黃銅石의 細粒熔離粒子들을 含有한다.

ii) 黃錫石을 거의 含有하지 않은 鑛石 : 主로 閃亞鉛石, 方鉛石, 黃鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石으로 構成되어 있다.

以上の 各 種類의 鑛石의 構成鑛物의 含量은 試料마다 서로 다른 比率를 보여주기 때문에 測定이 困難하였다.

C) 鑛石의 組織

1) 熔離組織

閃亞鉛石의 큰 粒子內에 黃銅石, 黃錫石의 작은 粒子들이 散在 含有되어 있는 組織으로서 熔離作用에 依하여 生成되었다. 閃亞鉛石內에 存在하는 黃銅石은 그 粒子의 形態와 크기가 多樣하다. 大體로 그 모양이 둥글고 圓滑味가 있는 것이 特徵이다. 그러나 때로는 細脈狀을 이루기도 한다. 한편 黃錫石은 大體로 그 크기가 黃銅石 粒子보다 크며 形態가 不規則하다(사진 참조). 이들의 크기를 살펴보면 다음과 같다(표 1).

표 1 (單位 mm)

閃亞鉛石內에 存在하는 熔離性鑛物	큰 것	보 통 것	작은 것
黃 銅 石	0.01	0.004-0.008	<0.002
黃 錫 石	0.04-0.12	0.012-0.028	

閃亞鉛石 內에 熔離 粒子로 存在하는 黃銅石은 그 粒子의 크기가 작기 때문에 普通選鑛方法으로는 이를 閃亞鉛石과 分離하기 困難하다. 그러나 黃錫石은 그 크기가 多少 큰 것도 있어서 現在의 亞鉛精鑛粉中에도 單獨粒子로 存在하는 것도 있다.

2) 交代組織

交代組織은 먼저 生成된 鑛物을 나중에 生成되는 鑛物이 置換하는 組織으로서 交代作用에 依하여 生成되는 鑛物의 接觸面이 複雜한 形態로 나타나기 때문에 交代作用의 程度 卽 交代組織의 發達樣狀은 그 鑛石의 選鑛에 있어서 꼭 참작해야 할 重要한 要素이다. 重要한 交代組織을 보여주는 鑛物을 表示하면 다음과 같다.

既存鑛物	交代하고 있는 鑛物
黃鐵石	硫砒鐵石
閃亞鉛石	"
硫砒鐵石	閃亞鉛石
閃亞鉛石	磁硫鐵石
"	方鉛石

특히 閃亞鉛石은 어떤 鑛石에서는 硫砒鐵石에 依하여 交代 當하고 있으나 다른 鑛石에서는 反對로 硫砒鐵石이 閃亞鉛石에 依한 交代組織을 보여주고 있다. 後者의 境遇에 閃亞鉛石은 大體로 黃錫石을 隨伴한다.

閃亞鉛石과 硫砒鐵石 間의 交代現象은 結果의 으로 閃亞鉛石 粒子內에 硫砒鐵石의 細粒을 含有하게 하거나 또는 硫砒鐵石 內에 閃亞鉛石의 細粒이 含有하게 했을뿐만 아니라 서로의 接觸面이 不規則하게 나타나게 했다.

3) 同時晶出 組織

同時에 晶出된 두 鑛物은 그 接觸面이 大體로 單純하게 나타나서 粉碎時에 比較的 쉽게 分離된다.

4) 空隙充填組織

먼저 生成된 鑛物粒子들 사이의 空隙에서 나중에 다른 鑛物이 晶出된 組織으로서 鑛物粒子分離에 큰 問題가 되지 않는다.

5) 包獲組織

먼저 生成된 작은 鑛物粒子들을 나중에 生成되는 鑛物이 包獲하는 組織으로서 硫砒鐵石, 黃鐵石이 石英에 包獲되어 있고, 硫砒鐵石이 閃亞鉛石에, 閃亞鉛石이 硫砒鐵石에, 그리고 方鉛石이 硫砒鐵石에 包獲되어 나타난다. 이 組織을 가진 鑛物粒子들의 分離는 多少 問題가 된다.

5. 亞鉛精鑛의 亞鉛 低品位 現象의 原因 分析

亞鉛精鑛의 亞鉛低品位現象의 原因을 밝히기 爲하여 우선 選鑛過程 中 各 段階의 試料 및 亞鉛 精鑛의 研磨片을 製作하여 各 選鑛段階에서의 各 鑛物들의 選別程度와 鑛物 粒子 分離程度에 關하여 顯微鏡下에서 觀察하였다.

1) 他鑛物混在(不良選別)에 依한 要因

顯微鏡下에서 觀察하면 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石

및 石英 等の 單一粒子들이 閃亞鉛石 粒子들과 混在하고 있음(사진 13~16)을 알 수 있다. 이들(硫化物) 他鑛物의 混在(約 5% 정도)는 亞鉛精鑛의 品位를 低下시키는 重要한 要因이다.

2) 閃亞鉛石 粒子內에 含有된 他鑛物의 存在에 依한 要因

閃亞鉛石 粒子內에는 細粒의 黃銅石과 黃錫石이 多數 存在하고 있는 바 이들 鑛物粒子들의 含有量은 粒子에 따라 달라서 어떤 閃亞鉛石 粒子에서는 他鑛物의 含有가 거의 보이지 않는 境遇도 있으나 어떤 다른 粒子에는 閃亞鉛石 粒子의 半 以上을 他鑛物(黃錫石과 黃銅石)이 차지하고 있는 例도 있다.

黃銅石은 普通 細粒으로 存在하고 閃亞鉛石 粒子內에서 占有하고 있는 面積은 最高 20%이다. 普通 이것보다 적게 含有되어 있어서 平均 約 3%程度이다. 黃錫石은 粒子의 形態가 不規則할 뿐만 아니라 閃亞鉛石에 含有되어 있는 量도 黃銅石의 境遇보다 더 높아서 閃亞鉛石 粒子의 體積의 30% 程度를 占有하고 있는 것도 있으나 大體로 이것보다 낮아서 平均 2%程度로 存在한다.

3) 閃亞鉛石과 他鑛物의 複合粒子에 依한 要因

亞鉛精鑛 粉末은 主로 細粒의 黃銅石과 黃錫石을 含有하고 있는 閃亞鉛石으로 構成되어 있지만 어떤 閃亞鉛石 粒子는 他鑛物(硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 石英)과 結合되어 있는 複合粒子로 되어 있다. 閃亞鉛石과 複合粒子를 이루는 鑛物로는 硫砒鐵石이 가장 흔하다. 複合粒子를 이루는 두 鑛物 또는 3가지 鑛物들은 서로 直線의인 接觸을 하고 있는 것도 있지만 不規則한 接觸面을 가진 것도 있다. 複合粒子를 이루고 있는 硫化鑛物과 石英을 合하면 約 3%程度된다.

4) 閃亞鉛石의 鐵分 多量 含有에 依한 要因

亞鉛精鑛은 15%內외의 Fe를 含有하고 있는 바 이에 混合되어 있는 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃錫石, 黃銅石等에 含有되어 있는 Fe를 考慮하면 閃亞鉛石內에는 Fe가 約 10~11%程度 含有되는 것으로 볼 수 있는 바 따라서 이를 마마타이트(marmatite)라고 할 수 있겠다. 마마타이트에 含有된 鐵分은 亞鉛精鑛品位低下의 重要因이 되고 있으나 이 鐵分은 浮選方法으로는 除去할 수 없다. 그것은 Fe原子들이 閃亞鉛石의 結晶格子內에 자리잡고 있기 때문이다.

6. 金·銀의 分布

1) 金

將軍嶺山의 硫化鑛石中에 含有되어 있는 金은 顯微鏡下에서 識別되지 않을 뿐만 아니라 東邦鑛業株式會

社의 要請에 따라 資源開發研究所가 施行한 選鑛試驗 結果 테이블에서 金이 잡히지 않았다. 金은 주로 硫砒鐵石이 主成分으로 되어 있는 鑛石에서 品位가 높은 것으로 보아 硫砒鐵石에 隨伴되고 있음이 確實하다. 그렇다고 硫砒鐵石內에서 金이 硫砒鐵石의 格子內에 原子狀態로 들어 있는 所謂 固溶體를 이루고 있다고는 볼 수 없다. 왜냐하면 지금까지 金과 硫砒鐵石의 固溶體形成 可能性에 對한 世界 여러 學者들의 合成實驗이 成功을 거두지 못했기 때문이다. 따라서 理論적으로 金은 硫砒鐵石 粒子內에 超顯微鏡의 微粒으로 存在하는 것으로 보아야 할 것이다. 金이 硫砒鐵石에 密接히 隨伴되는 것은 確實視되나 또한 黃鐵石 其他 鑛物內에도 隨伴되는지는 좀 더 檢討 研究해 봐야 할 일이다.

## 2) 銀

銀은 주로 菱狀간석이 많이 含有된 硫化鑛石中에서 產出되고 있다. 含銀鑛物로는 輝銀石과 方鉛石이 顯微鏡下에서 觀察된다. 方鉛石中에 含有된 銀도 微粒으로 含有된 輝銀石包有粒에 依한 것으로 思料된다.

## 7. 亞鉛精鑛 亞鉛品位上昇 方案에 對한 意見

將軍鑛山의 亞鉛鑛 原鑛石 및 精鑛에 對한 鑛物學의 研究 結果, 以上에서 言及한 바와같이 亞鉛精鑛의 品位低下 原因이 究明되었는 바 이 原因들을 除去하는 것이 바로 亞鉛 精鑛品位를 上昇시킬 수 있는 길이라 하겠다. 各 原因의 除去方案에 關하여 略述하면 다음과 같다.

### 1) 精鑛에 混在되어 있는 硫砒鐵石, 磁硫鐵石의 選別 問題

- i) 亞鉛 精鑛 粉末中에 單一粒子로 混在되어 있는 硫砒鐵石과 磁硫鐵石이 浮選過程에서 왜 閃亞鉛石과 混合되어 나오는지 그 原因과 改善方法 如何가 檢討되어야 할 것이다.
- ii) 萬一 浮選方法으로 더 以上 分離가 困難하다고 하면 磁力選別方法으로 可能하다고 생각된다. 磁力에 依한 간단한 實驗結果 磁硫鐵石과 硫砒鐵石은 閃亞鉛石보다 훨씬 높은 磁性을 띄고 있는 것으로 나타나고 있다. 閃亞鉛石도 상당한 磁性을 띄고 있다.
- iii) 以上の i)과 ii)를 同時に 적용하면 더욱 좋은 效果를 거둘 수 있을 것으로 思料된다.

### 2) 複合粒子的 分離問題

閃亞鉛石이 다른 鑛物(주로 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石)과 結合하여 있는 複合粒子的 分離問題는 現在의 精鑛粒度인 300mesh 보다 좀 더 粉碎하면 分離가 可能할 것으로 思料된다.

### 3) 脉石鑛物의 選別問題

亞鉛精鑛 粉末中에는 石英의 單一粒子들이 상당히(1% 정도) 含有되어 있는 바 이의 完全分離가 可能的지를 檢討해야 할 것이다. 閃亞鉛石과 結合하여 複合粒子的를 이루고 있는 石英은 2)에서 같이 좀 더 細粒으로 粉碎하면 多少 分離가 될 것이다.

### 4) 黃錫石의 選別問題

黃錫石은 閃亞鉛石內에 微粒 또는 큰 粒子로 內包되어 있는데 이 中 微粒은 粒子的 크기가 너무 작아서 分離가 困難하지만 큰 粒子는 亞鉛精鑛粉末中에 單獨粒子的로 存在하는 것도 있어서 浮選過程에서 이를 閃亞鉛石과 分離할 수 있는 가를 選鑛學의 面에서 檢討할 必要가 있을 것으로 思料된다.

## 8. 結 論

將軍鑛山 亞鉛精鑛 品位低下 原因과 그 品位 上昇方案에 對한 研究結果를 要約하면 아래와 같다.

- 1) 將軍鑛山의 亞鉛鑛石에는 Sn 鑛物인 黃錫石이 隨伴되고 있는 바 아연精鑛中에 Sn 0.23%가 含有된 것으로 나타나고 있으나 Sn 高品位鑛일 境遇 Sn 約 3% 정도는 될 것으로 보인다.
- 2) 亞鉛精鑛 低品位 現象의 原因은 아래와 같다.
  - i) 他硫化鑛物(주로 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 黃錫石)과 珪酸鹽鑛物(石英)의 混在
  - ii) 閃亞鉛石과 他鑛物(주로 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 石英)과의 複合粒子的의 存在
  - iii) 閃亞鉛石中에 熔離에 依하여 生成된 微粒의 黃銅石과 黃錫石의 存在
  - iv) 閃亞鉛石 自體의 鐵分多量含有
- 3) 亞鉛 精鑛의 亞鉛品位上昇을 爲해서는 다음과 같은 選鑛學의 方案이 講究되어야 할 것이다.
  - i) 浮選過程의 改善 또는 磁選에 依한 混在硫化鑛物(硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石)과 珪酸鹽鑛物(石英)의 分離.
  - ii) 微粉碎에 依한 複合粒子的의 分離
  - iii) 黃錫石의 選別方案檢討

## 參 考 文 獻

- Cameron, E. N. (1961) Ore microscopy. John Wiley & Sons, Inc.
- Collins, D. N. Read, A. D. (1971) The treatment of Slimes. Min. Sci. Eng. Vol. 3, No. 2, p.19-31.
- Ehrenberg, H. (1966) Investigation of mill products with the Ore dressing microscope. A guide of ore dressing operations. In H. Freund, Applied ore microscopy, p. 557-606. MacMillan Co.

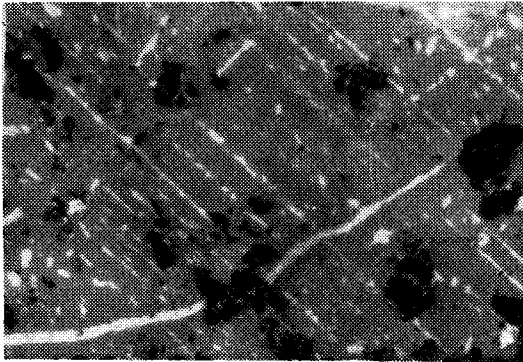
Hagni, R. D. (1976) Ore microscopy applied to beneficiation problems. 25th IGC. Abstract, vol. 2, p. 565-566.

Henley K. J. (1976) Ore dressing mineralogy—techniques, applications, and limitation. 25th IGC, Abstract vol. 2, p. 568-569.

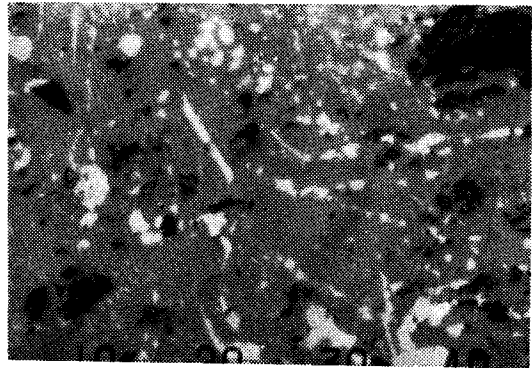
Rehwal, G. (1966) The application of ore microscopy

in beneficiation of ores of the precious metals and of the nonferrous metals. In: H. Freund, Applied ore microscopy. p. 441-540, MacMillan Co.

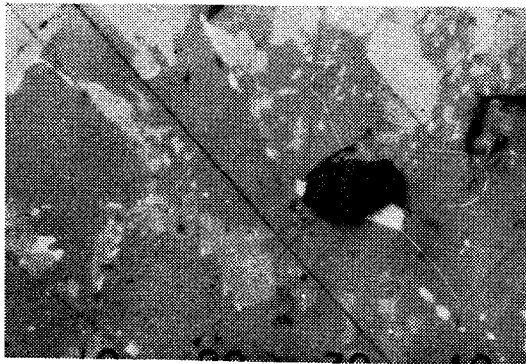
Trueman, N. A. (1976) The mineralogy of flotation products from the dump retreatment at the South Mine, Broken Hill, 25th IGC, Abstract vol. 2, p. 604



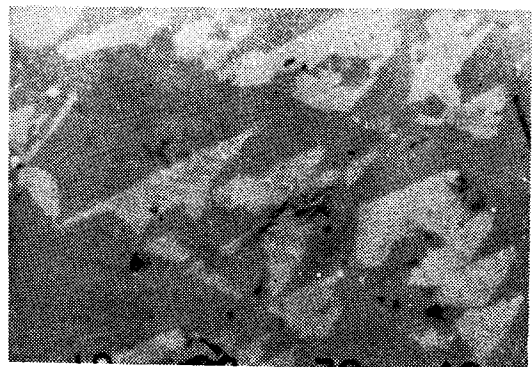
[사진 1] 閃亞鉛石內에 存在하는 斑點狀 또는 細脈狀의 黃銅石(白色), 黑色部는 空隙, 熔離(exsolution)에 의하여 形成된 組織.



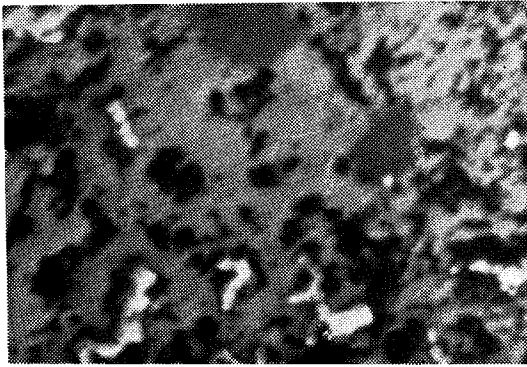
[사진 2] 閃亞鉛石(灰色)內에 存在하는 斑點狀 또는 不規則한 形態의 黃銅石(白色).



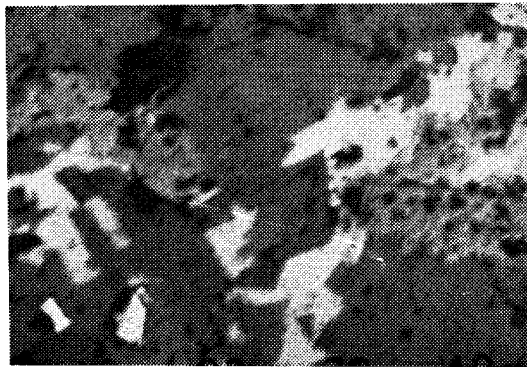
[사진 3] 閃亞鉛石(灰色)內에 存在하는 細粒의 斑點狀 黃銅石(白色)과 黃錫石(淡灰色), 石英(黑色)이 脈狀으로 閃亞鉛石 粒子全體를 橫斷하고 있다.



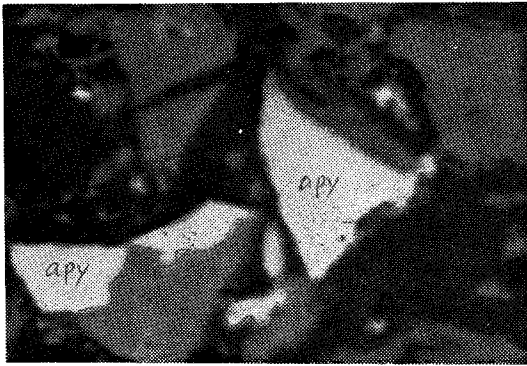
[사진 4] 閃亞鉛石(灰色)內에 存在하는 細粒의 黃銅石(白色).



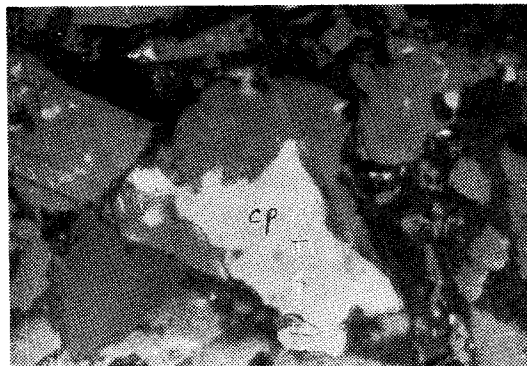
[사진 5] 閃亞鉛石(灰色)內에 存在하는 斑點狀 細粒의 黃銅石(白色)과 不規則한 形態를 가진 黃錫石(淡灰色). 暗灰色部는 石英, 黑色部는 空隙.



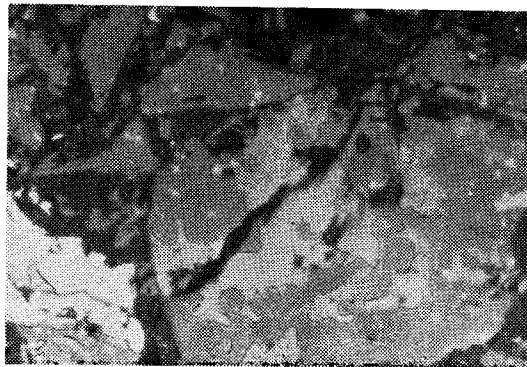
[사진 6] 閃亞鉛石(灰色)內에 存在하는 不規則한 形態를 가진 黃錫石(淡灰色). 黃銅石(白色)의 微粒이 黃錫石과 閃亞鉛石 接觸部에 보인다.



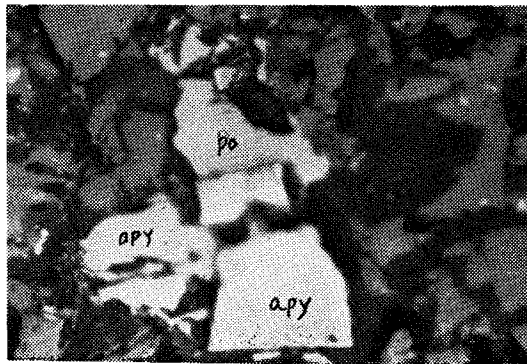
[사진 7] 閃亞鉛石(灰色)內에 黃錫石(淡灰色)이 存在한다. 微粒의 黃銅石(白色)이 두 鑛物의 接觸部에 觀察된다.



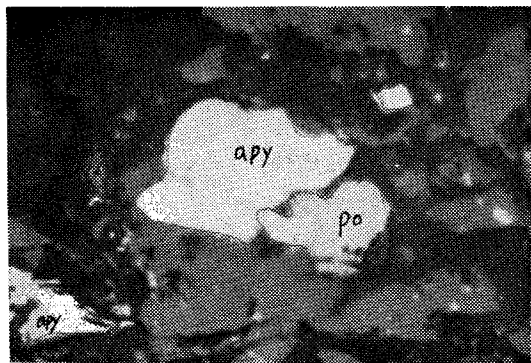
[사진 8] 閃亞鉛石(灰色)內에 黃錫石(淡灰色)이 存在한다.



[사진 9] 閃亞鉛石(淡灰色)內에 存在하는 硫砒鐵石(白色). 灰色部는 石英, 黑色部는 空隙.



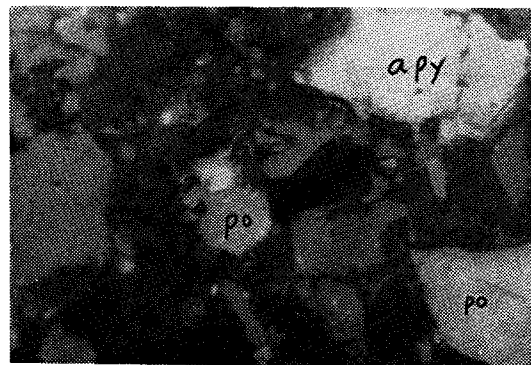
[사진 10] 菱狀矽石(暗灰色)內에 存在하는 黃鐵石(白色).



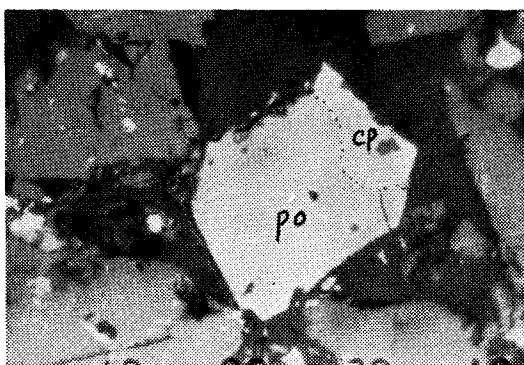
[사진 11] 菱矽干石(灰色)內에 閃亞鉛石(淡灰色)과 輝銀石(白色)이 存在한다.



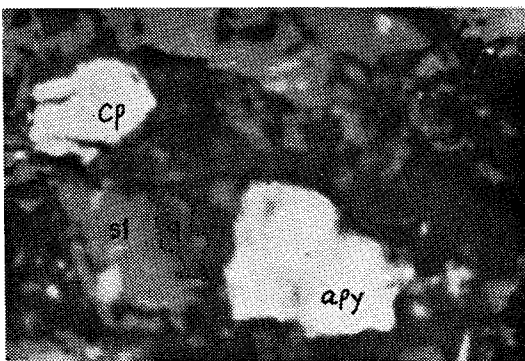
[사진 12] 菱矽干石 內의 間隙을 充填하고 있는 輝銀石(白色).



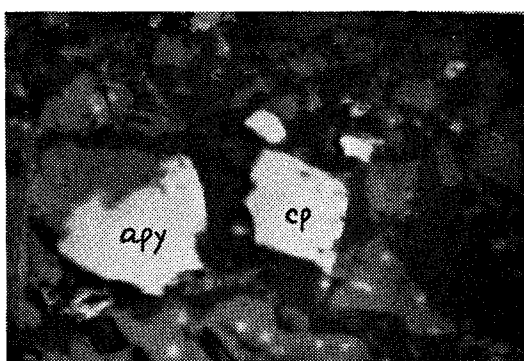
[사진 13] 亞鉛精鑛(灰色部: 閃亞鉛石, 白色部: 硫砒鐵石).



[사진 14] 亞鉛精鑛(灰色部: 閃亞鉛石, 白色部: 硫砒鐵石).



[사진 15] 亞鉛精鑛中에 含有된 他硫化鑛物(白色).



[사진 16] 亞鉛精鑛中에 含有된 他硫化鑛物(白色).

