광산지질 9권 1호 (1976) pp. 27-44

우리나라 螢石鑛床의 流體包有物 硏究

朴 喜 寅*

Fluid Inclusion Studies of the Fluorite Deposits in Korea

Hee In Park

Abstract

The flourite in Hwacheon, Hwanggangri and Keumsan district are major fluorite producing areas in Korea.

The fluorite deposits of Hwacheon district are wholly fissure filling hydrothermal veins embedded in Precambrian gneiss and schists and Jurassic granites. Also some fluorite deposits are emplaced in felsite whose age is unknown. Emplacement of most fluorite veins of the district are controlled by EW fracture system. Fluorites are generally accompanied to chalcedonic quartz and also kaolinite, montmorillonite, dickite and calcite in parts. Vertical and lateral mineral zonings are not distinct.

The fluorite deposits in the Hwanggangri district are wholly embedded in limestone and other calcareous sediments of Paleozoic Yeongweol Group. Most of the fluorite deposits belong to one of two categories which are steeply dipping veins and gently dipping replacement deposits adjacent to Late Cretaceous(83-90mys) granite bodies. The strikes of fluorite veins of Hwanggangri district mostly occupy the fractures of N30°-40°E and N30°-40°W system. Fluorites are accompanied to calcite, milky quartz, chalcedonic quartz, and also montmorillonite, kaolinite in parts. But in some deposits, scheelite, various sulfide minerals and barite are accompanied. Emplacement of fluorite deposits are largely controlled by lithology and structures of this district. In some deposits fluorite veins gradate to scheelite veins and also telescoping of the mineral zones are found in this district.

In the Keumsan district, fissure-filled fluorite veins and replacement deposits are mostly emplaced in limestone of Paleozoic Yeongweol Group, late Cretaceous quartz-porphyry, granite and sandstone. Some deposits are emplaced in Precambrian metasediments. Mineralogy and other characteristics of the deposits in this district is similar to those of Hwanggangri district.

Fluid inclusion studies reveal the difference of salinities, CO_2 contents of ore fluid and temperatures during fluorite mineral deposition in the these districts. In Hwacheon district, ore-fluids were comparatively dilute brine and low CO_2 content. Filling temperatures ranges 104°C to 170°C. In the Chuncheonshinpo mine, most deeply exploited one in this district, salinitles range 0.5-2.2wt. % NaCl and filling temperatures range from 116°C to 143°C.

In the Hwanggangri district, ore fluids were complex and filling temperature ranges very widly. In the contact metasomatic fluorite deposits, ore fluid were NaCl rich brines with moderate CO_2 content and filling temperatures range from 285°C to above 360°C. Fluids inclusions in tungsten and sulfide minerals bearing fluorite veins show high CO_2 content up

* 서울大學校 자연과학대학 지질학과

to 31wt. %. Filling temperature ranges from 101°C to 310°C. Fluids inclusions in mainly fluorite bearing veins were more dilute brine and low CO_2 contents. Filling temperatures range from 95°C to 312°C. Filling temperature of fluid inclusions of Keumsan district are between 95°C and 237°C.

Data gathered from geologic, mineralogic and fluid inclusion studies reveal that fluorite mineralization in Hwacheon district proceeded at low temperature with dilute brine and low CO_2 content. In Hwangganri district, fluorite mineralization proceeded by several pulse of chemically distinct ore fluids and formed the mineralogically different type of deposits around cooling granite pluton which emplaced comparatively shallow depth.

1. 序 言

鑛物中의 流體包有物에 關한 硏究는 近來에 와서 "saline hydrothermal system"의 相關係에 關한 많은 實驗的硏究가 이루어 짐으로서 보다 明確한 解析을 하게 되었다. 따라서 流體包有物硏究는 鑛床의 生成溫度뿐만 아니라 鑛化流體의 組成을 定量하게 되었고 이結果는 鑛物의 熱水合成實驗에 基礎資料가 되어 좋은 成果를 거두고 있다. 螢石은 大部分이 透明하여 流體包有物硏究에는 最適한 鑛物中의 하나이다.

國內에서 螢石鑛床에 對한 流體包有物硏究는 李春雨(1971)가 春川新浦鑛山에서 처음으로 試圖한 後 尹碩奎(1974)가 月岳山地區의 螢石鑛床產 試料 몇個에 對하여 充塡溫度를 測定한바 있다. 池楨蔓(1975)은 國內螢石鑛床의 地質鑛床을 總括하고 流體包有物의 充塡溫度를 測定하여 螢石鑛床의 成因을 硏究報告한 바 있다.

南韓의 螢石鑛床은 大部分이 華川地區(華川—春川—加平—圓), 黃江里地區(丹陽—提川—槐山—圓) 및 錦山地區(永同—茂朱—錦山—圓)에 密集分布한다.

이硏究는 1974年에 實施된 것으로 위의 3地區內의 40個鑛床을 對象으로 하여 各鑛床의 產出狀態와 鑛物의 共生關係를 檢討하고 螢石과 其他 共生鑛物中의 流體包有物의 性質 및 加熱實驗結果로서 鑛化流體의 性質과 함께 鑛床의 生成環境을 밝혀 본 것이다.

이硏究를 遂行함에 있어 始終 도와준 서울大學校의 崔錫源碩士와 粘土鑛物에 對한 X線廻折을 하여준 國立地質鑛物硏究所의 尙基南科長에게 深甚한 謝意를 表하는 바이다.

2. 鑛 床

2-1 關係火成岩

華川, 黃江里, 錦山의 3個地區에 있어 螢石鑛床과 空間的, 時間的 및 成因的으로 密接한 關係를 갖는 火成岩은 花崗岩, 石英斑岩 등의 酸性火成岩類이다.

1) 關係火成岩의 種類및 鑛床賦存과의 空間的 關係

華川地區; 이 地域에 分布하는 18個螢石鑛床中 9個鑛床이 花崗岩體와 珪長岩 또는 石英斑岩體內에 胚胎한다. 花崗岩體內에 胚胎하는 螢石鑛床 周邊에는 片麻岩類가 루우프펜던트(roof pendent)로 남아 있는 곳이 많아 鑛床은 大體로 花崗岩體의 緣邊部에 賦存한다고 하겠다. 한편 片麻岩類中에 胚胎하는 第2文登, 소화, 春川新浦, 豊島啓星鑛山等도 鑛床附近에 小規模의 火成岩體가 露出되어 있다. 따라서 이 地域 螢石鑛床의 大部分은 珪長岩體와 花崗岩體의 緣邊部나 이와 近接한 片麻岩中에 胚胎한다고 하겠다.

黃江里地區; 이 地域의 모든 螢石鑛床은 白堊紀의 花崗岩體 周邊部에 賦存한다. 이 地域 南部의 水豊鑛山은 花崗岩體 緣邊部에 胚胎되며 延陽, 百年鑛山은 花崗岩體와의 接觸部에 形成된 스카른帶 內에 胚胎한다. 이 地域中 東部의 瑞龍, 道田, 多郎, 南日, 三田鑛山 等은 花崗岩體에서 멀리 떨어져 賦存하는 것같이 보이나 이 地域의 重力測定 調査結果(Reedman et al, 1973)에 依하면 月岳山花崗岩體와 水重花崗岩體를 連結하여 地下깊지 않은 곳에 花崗岩體의 陵部가 存在한다고 한다.

錦山地區; 이 地域의 螢石鑛床들도 花崗岩, 石英斑岩 또는 이들 火成岩類에 捕獲되거나 루우프펜던트로서殘存하는 石灰岩에 胚胎되어있는 것이 大部分이다. 이 地域에 있어서는 螢石鑛床은 石英斑岩과 空間的으로 特히 密接한 關係를 갖는 것이 많다.

2) 貫入時期

華川地區 花崗岩體의 絕對年齡測定値는 157mys와 165mys로서 이는 所謂 大寶花崗岩이라 한다(金玉準 1971). 이 地域의 珪長岩에 對한 年齡測定, 資料는 없다. 螢石鑛床의 母岩이 되고 있는 이를 珪長岩은 花崗岩을 貫入하고 있다. 그러나 이들이 大寶花崗岩과 同源마그마의 產物인지는 分明치 않다. 또 이地域의 巨大한 花崗岩體가 貫入時期를 달리하는 花崗岩의 複合岩體인지의 與否도 絕對年齡測定資料가 이地域 南部의 두地點의 것 뿐이라는 點으로 보아 分明치 않다.

黃江里地區의 鑛床賦存地附近의 花崗岩 7個試料의 K-Ar 年齡은 83~90myr로서 上部 白堊紀에 屬하는 것들이다(國立地質鑛物硏究所, 1972)

錦山地區의 螢石鑛床이 密集分布하는 地域의 火成岩에 對한 絕對年齡의 測定資料는 없다. 그러나 이 地域의 石英斑岩은 一部地域에서 白堊期의 地層을 貫入하고 있다 한다. 또 螢石鑛床과 空間的으로 密接한 關係를 갖는 花崗岩中에는 이들이 石英斑岩과 漸移的인 關係를 갖는 것으로 報告되어 있어(池楨蔓 1972) 螢石鑛床의 關係火成岩의 貫入時期가 白堊紀의 것임은 疑心할 餘地가 없다. 따라서 1/25만 地質圖에 表示된 錦山地域의 大寶花崗岩의 一部는 白堊紀의 것일 可能性이 있는 것이다.

3) 固結深度

華川地域의 大寶花崗岩體의 固結深度를 推定할 資料나 報告는 아직 없다. 그러나 몇몇 鑛床의 母岩을 이루며 成因的으로도 關係가 있을 것으로 보이는 珪長岩 石英斑岩 等의 半深成岩類는 地下淺處에서 固結된 것들임에 틀림 없을 것이다.

黃江里地區와 錦山地區의 白堊紀 花崗岩體는 李大聲(1971)의 硏究에 依하면 所謂 沃川地向斜帶內의 C帶의 것으로 沃川地向斜 北西帶의 쥬라紀 花崗閃綠岩 컴프렉스에 比하여 얕은 곳에서 固結된 것이라 한다. 또 이 兩地域內의 半深成岩類는 水蒸氣壓 0.5Kb 未滿 卽 1.5km보다는 얕은 곳에서 固結된 것이라 한다. Reedman等(1973)은 黃江里地區 花崗岩體의 K-Ar年齡이 모두 83~90mys의 좁은 範圍內에 드는 것은 이들 花崗岩이 地下얕은 곳에서 比較的 速히 固結하였을 可能性이 있다고 하였다.

2-2. 母 岩

3個 地區內에 分布하는 鑛床의 母岩은 各各 다음과 같은 特徵을 갖는다.

華川地區內 鑛床의 母岩은 京畿片麻岩 컴프렉스(complex)에 屬하는 黑雲母片麻岩과 縞狀片麻岩等이 가장 많고 다음이 쥬라紀의 花崗岩, 時代 未詳의 珪長岩, 石英斑岩等이다. 黃江里地區의 거의 모든 螢石鑛床의 母岩은 캄브로-오도비스紀에 屬하는 寧越層群의 石灰岩과 石灰珪酸鹽岩으로 單純하다. 錦山地區 鑛床의 母岩은 寧越層群에 屬하는 石灰岩과 白堊紀의 石英斑岩이 大部分이다. 그러나 一部는 先캄브리아紀의 片岩(小白山片麻岩컴프렉스), 粘板岩(沃川層群), 白堊紀의 砂岩(新羅層群), 花崗岩 等으로 種類가 多樣하다. 華川地區에 比하여 黃江里와 錦山地區에 있어서는 特히 石灰岩이나 石灰質인 岩石을 選擇的으로 交代하여 鑛床이 胚胎되고 있는 것이 特徵이라 하겠다.

2-3. 構造支配

各 地域의 鑛床들은 斷層, 節理等의 裂罅이나 破碎帶를 充塡하거나 裂罅周邊의 岩石을 交代하여 胚胎되어 있다. 이들 裂罅은 鑛液의 通路로나 鑛床의 胚胎場所로서 重要한 役割을 하고 있다. 地區別 裂罅의 走向, 傾斜의 特徵은 다음과 같다. 華川地區에 있어서는 走向이 EW系와 N40°~60°W系의 裂罅을 充塡한 鑛脈들이 많고 이中 EW系가 가장 代表的이다. 黃江里 地區에 있어서는 石灰岩의 層理面에 平行하게 胚胎된 交代鑛床도 많으나 脈狀鑛床도 있다. 裂罅充塡螢石鑛脈의 走向들은 N30°~40°E系와 N30°~40°W系로 急傾斜하는 것들이 壓倒的으로 많다. 錦山地區에 있어서도 裂罅充塡鑛脈의 走向은 N30°~40°W의 것이 支配的으로 많고 一部 N10°~20°E와 N10°~20°W系의 것이 있다. 따라서 鑛床의 賦存을 規制한 裂罅은 華川地區에서는 EW系가 黃江里地區에서는 N°30~40°E, N30°~40°W, 錦山地區에서는 N30°~40°W系가 支配的인 것이라 할 수 있다.

2-4. 鑛床의 形態

華川地區에 있어서는 母岩으로 石灰質岩이 存在하지 않으며 모든 鑛床은 母岩의 構造와 非調和的인 脈狀과 一部 파이프狀의 形態를 갖는다. 따라서 鑛床의 形態는 主裂罅과 함께 이에 隨伴하는 작은 斷裂이 發達한 곳 또는 裂罅과 斷裂의 交叉部에서 膨大되는 等 一般 脈狀鑛床에 있어서와 別로 다를 것이 없다. 이 地域에서 가장 代表的인 春川新浦鑛床의 境遇, 鑛床은 斷層裂罅을 充塡한 脈狀鑛床으로 鑛脈의 길이는 900餘m에 이르며 露頭에서 400m下部까지 開發되고 있다.

黃江里地區에는 脈狀鑛床과 交代鑛床들이 있다. 卽 이 地域 西部의 鑛床들은 脈狀인 것이 많고 中部에서 東部에 걸쳐 層理面을 調和的으로 交代한 鑛床들이 많다. 脈狀鑛床으로 代表的인 것은 大佛, 松界, 和興, 延豊, 忠州鑛床 等이다. 層理面을 交代한 鑛床으로는 瑞龍, 多郎, 忠谷, 忠北, 宇一, 九尾鑛床들이다. 이들은 이地域西部의 脈狀鑛床에 比하여 그 規模가 크다. 錦山地區는 黃江里地區의 境遇와 같다. 卽 同一裂隙을 따라 石灰岩에서는 交代鑛床이 形成되고 非石灰質岩에서는 裂罅充填脈狀鑛床이 形成되어 있다. 以上으로 華川地區의 鑛床은 脈狀 또는 파이프狀 鑛床 뿐이고, 黃江里, 錦山地區에는 層面交代鑛床, 脈狀鑛床等이 있다. 黃江里地區와 錦山地區에 있어 鑛床의 規模는 特히 交代鑛床에서 期待되는 것이 많다.

2-5. 鑛物의 共生關係와 帶狀分布

1) 鑛 物

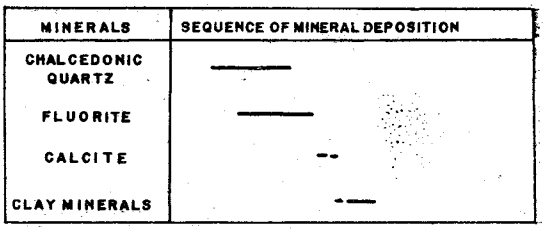
各 地域에서 螢石만을 對象으로 開發된 鑛床에서 螢

石에 隨伴되는 鑛物中 가장 普遍的인 것은 乳白色石英玉髓 또는 玉髓質石英, 方解石, 몬모릴로나이트(montmorillonite), 카오리나이특(kaolinite)等이다. 綠泥石, 絹雲母, 딕카이트(dickite), 黃鐵石, 珪灰石, 세피오라이트(sepiolite), 포리고스카이트(polygoskite)等은 一部 鑛山에서만 보여질 뿐이다. 顯微鏡下에서 一部鑛床의 螢石中에는 燐灰石이 包含되어 있다. 地區別로 보아 위의 隨伴鑛物의 種類에는 各各 特徵이 있다. 卽 石英은 華川地區 鑛床에 있어서는 共通的으로 玉髓 또는 玉髓質石英만이 隨伴될 뿐 乳白色石英이나 晶洞質石英(vuggy quartz)은 全혀 볼 수 없다. 그러나 黃江里地區의 各 鑛床에 있어서는 石英을 隨伴할 경우 玉髓質石英보다는 乳白色石英을 隨伴하는 例가 많다. 石英은 어느 것이나 螢石鑛脈의 脈石을 이룰 뿐 交代鑛體內의 鑛石에는 包含되지 않는다. 方解石은 黃江里地區鑛脈에 있어서는 가장 普遍的인데 對하여 華川地區 鑛床에 있어서는 第2文登鑛山에서만 一部 隨伴될 뿐이다. 九尾鑛山의 方解石은 偏三角面體(scalenohedron)의 美晶을 이룬다. 粘土鑛物의 境遇 X線廻折, 結果 華川地區鑛床產 粘土鑛物은 카오리나이트가 몬모릴로나이트에 比하여 優勢한데 對하여 黃江里地區에서는 몬모릴로나이트가 優勢하다. 春川新浦鑛山에서는 딕카이트가 產出된다. 鑛川鑛山에서는 몬모릴로나이트 以外에 未詳粘土鑛物이 隨伴된다. 九尾鑛山에서는 相當量의 세피오라이트, 포리고스카이트가 產出된다. 黃江里地區의 松界鑛山에서는 灰重石이 產出되며 榮國, 第三旭鑛山에서는 磁硫鐵石, 黃銅石, 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 方解石, 菱 맹간石等 여러種類의 鑛物이 產出된다. 道田, 宇一, 瑞龍鑛山에서는 各各 黃鐵石이 產出된다. 華川地區에서는 加里山鑛山(池楨蔓 1971)에서 一部 閃亞鉛石, 方鉛石, 黃鐵石等이 隨伴될 뿐이다. 黃江里地區의 百年鑛山의 경우 螢石은 柘榴石, 綠簾石스카른과 함께 產出된다.

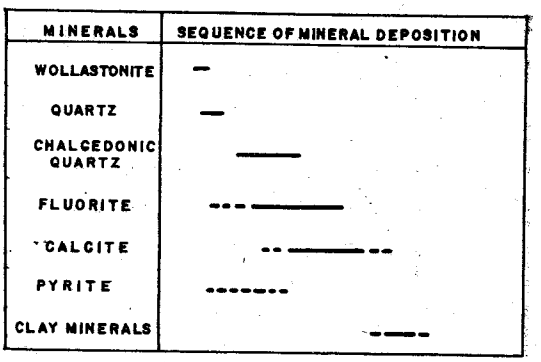
螢石의 色은 無色, 綠色, 紅色, 赤紫色 等 多樣하며 色帶(color banding)을 이루기도 하나(寫眞 2) 地域別로 色의 特徵은 찾아 볼 수 없다.

2) 共生關係

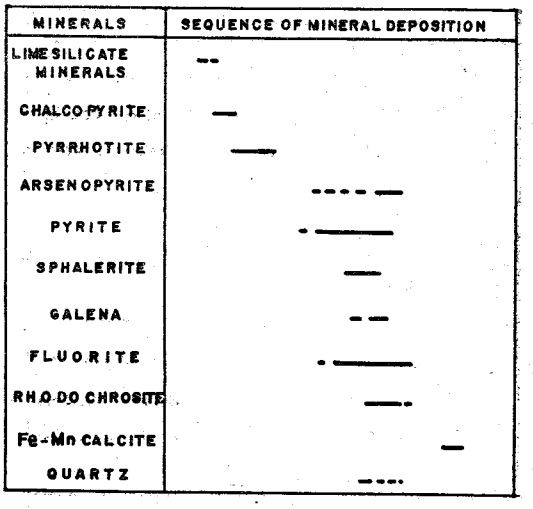
各地區의 螢石鑛床에서 產出되는 鑛石에는 累被構造(crustification)와 칵케이드構造(cockade structure)를 갖는 것이 많어 (寫眞 3) 鑛物의 共生關係를 밝히는데 重要한 端緖가 된다. 華川地區와 黃江里地區의 代表的인 몇個鑛山에서 檢討된 主要鑛物의 共生關係를 模式的으로 表示하면 第1, 2圖와 같다. 이들 鑛床에는 鑛化期間中 角礫化作用이 있었던 證據를 볼수 있으나 第1, 2圖에서는 角礫化나 이에 隨伴된 鑛物沈澱의 反覆等은 모두 省略되였다.



第1圖 華川地區 螢石鑛床의 主要鑛物共生關係



第2圖 黃江里地區 螢石鑛床의 主要鑛物共生關係



第3圖 榮國鑛山에 있어서 初生鑛物의 共生關係

한便 螢石을 主로 하며 여러種類의 硫化鑛物을 隨伴하는 黃江里地區의 榮國鑛山에 있어서의 初生鑛物의 共生關係는 第3圖와 같다.

두 地域에 있어서 共通的으로 石英이나 玉隨質石英이 螢石보다 먼저 沈澱되고 粘土鑛物은 最末期에 形成되었음을 알 수 있다. 螢石을 主로하고 여러 種類의 硫化鑛物을 隨伴하는 鑛床에 있어 螢石은 後期에 晶出한 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石等과 共生한다.

3) 帶狀分布

華川地區鑛床에 있어서는 鑛物의 帶狀分布는 뚜렷하지 않다. 그러나 黃江里地區에 있어서는 熱水鑛床의 境遇만 보아도 廣域的으로 花崗岩體內에나 近接部에 탕그스텐과 모리브덴鑛床이 賦存하고 花崗岩體 가까이에 硫化鑛物鑛床이나 또는 螢石鑛床이 分布하는 傾向을 보인다. 이와같은 鑛床들은 花崗岩體에서 거의 1km 未滿의 좁은 範圍內에 分布한다. 螢石鑛床에 있어서도 松界鑛山의 境遇 螢石鑛脈은 下部의 花崗岩體에 接近하며 鑛石中 灰重石의 含量이 急增한다. 水重鑛山에 있어서도 花崗岩體의 北緣에 近接하여 胚胎된 NS系의 螢石鑛脈은 微量의 輝水鉛石을 隨伴한다. 이螢石鑛脈은 이地域의 花崗岩體內에 發達한 輝水鉛石鑛脈과 成因的으로 密接히 關係되는 것으로 좁은 範圍內에서 帶狀分布를 이루는 例가 된다.

이地域의 鑛床에는 花崗岩體 周邊에서 좁은 範圍內에 鑛物의 帶狀分布가 顯著한 것이 있는 反面에 花崗岩體에 近接하는 鑛床에서도 鑛物의 帶狀分布를 볼수 없는 것들도 많다.

3. 流體包有物

3-1. 實驗方法

試料는 얇은 劈開片을 따라 쪼개거나 0.5~1.5mm 두께의 兩面硏磨薄片으로 만들었다. 칵케이드構造나 累被構造를 이루고 있는 일부 試料에 대하여는 結晶成長 方向에 平行하게 切斷한 넓은 兩面硏磨薄片을 만들었다(寫眞 4). 兩面硏磨薄片을 만든 鑛物은 螢石以外에도 이에 隨伴되는 透明度가 높은 石英과 方解石이다. 準備된 모든 試片은 일단 顯微鏡下에서 流體包有物의 形狀 分布狀態, 充填度, 包有物中의 固相등을 觀察하여 分類 記載하였다. 代表的인 包有物의 充填度는 寫眞撮影後 擴大하여 測定하였다. 液體 CO_2(이하 LCO_2로 略記함)相이 뚜렷치 않은 包有物에 대하여는 顯微鏡하에서 아세톤(aceton)을 떨어뜨려 檢査하였다. 加熱實驗은 "Leitz" 會社製 "microscope heating stage model 350"으로 하고(寫眞 5)加熱實驗時 對物렌즈는 "Leitz" 會社製 "UM32"의 長焦點렌즈를 使用하였다. 昇溫速度는 15~20°C/min으로 하였다. 充填溫度測定은 모든 경우 2回 反復 測定하고 再現되지 않거나 加熱途中에 內容物이 漏出된것의 資料는 除去하였다.

3-2. 流體包有物의 分類

1) 初生, 假二次, 二次包有物

모든 試片中의 包有物은 加熱實驗以前에 初生, 假二次 및 二次로 包有物로 各各 分類하였다. 初生包有物의 判別은 兩面硏磨薄片에서 色帶(color banding)나 結晶外形等 一次的인 組織을 基準으로 하였다. 一次的인 組織이 不明瞭한 試片에 있어서는 初生包有物의 模樣이 負結晶(negative crystal)을 이루고 包有物의 分布가 어떤面과 關係없이 孤立하며 隣接하는 包有物과 充填度가 비슷한 것으로 하였다. 華川地區產螢石의 大部分과 累被構造를 갖는 其他地區產 螢石中의 包有物의 大部分은 負結晶의 모양을 갖거나 幾何學的인 輪廓을 갖는 것이 많았다(寫眞 6). 假二次와 二次包有物은 모두 結晶內部의 斷裂에 따라 分布하는 것으로 兩者間에 識別은 반드시 容易하지는 않다. 假二次包有物은 分布狀態로 보아 結晶內部에만 있는 짧은 斷裂에 따라 配列된 것으로 하였다(寫眞 8). 또 網狀의 斷裂에 沿하며 모양이나 充填度가 不規則하고 "necking down" 現象이 보이는 것을 二次包有物(寫眞 9)로 하고 初生도 二次도 아닌것은 暫定的으로 假二次로 하였다. 이 兩者의 識別에는 充填溫度 資料도 일부 參考하였다. 二次包有物에 대한 成因別 細分은 이번에는 省略하였다.

2) 流體包有物의 組成型(compositional type)

流體包有物中에는 氣相과 液相의 二相包有物이外에도 多相包有物과 室溫에서 LCO_2가 確認되는 것 등 여러型의 包有物들이 있다. 이들 包有物을 室溫에서의 各 相의 容積比를 基礎로 하여 다음의 5個型으로 나누어 보았다. 勿論 이들 各型 間에는 一部 漸移的인 關係들 갖는것이 있음을 附言하여 둔다. "necking down"이나 內容物의 漏出등 二次的으로 변한 것으로 보이는 包有物들은 이 分類에서 除外하였다.

Ⅰ型—氣液包有物; 이 型의 包有物은 모든 地域產 螢石뿐만아니라 石英, 方解石中에도 包含된 가장 普遍的인 것이다. 이는 包有物中의 液相充填度가 높은 것으로(寫眞 6.7.8) 氣相의 容積은 수%에서 40%까지이며 加熱實驗時 모두 液相으로 充填된다. 室溫에서 固相이나 LCO_2를 볼 수 없으며 아세톤을 滴下한 條件下에서도 LCO_2를 確認할 수 없는 것들은 모두 이 型에 包含시켰다.

Ⅱ型—含 LCO_2包有物; 室溫에서는 勿論 아세톤에 넣어진 條件下에서 LCO_2를 確認할 수 있는 氣液包有物들이 여기에 屬한다. LCO_2의 容積은 아세톤내에서 겨우 檢出될 정도의 것에서 室溫에서 거의 氣相의 容積만한것 까지의 範圍를 갖는다(사진 10). 이 型의 包有物은 黃江里地區의 가삽돌, 瑞龍, 榮國, 松界, 百年鑛

山産 螢石中에서 볼 수 있다. 加熱實驗에서 28°~30°C 부근에서 LCO_2相은 消失된다. 이 型에 屬하는 包有物은 大體로 充塡되기 前에 破裂되는 것이 많다.

Ⅲ型—液氣包有物(gaseous inclusion); 氣相이 包有物 容積의 50% 이상을 차지하는 氣泡가 큰 包有物이 이에 屬한다(사진 11). daughter mineral로 생각되는 固相은 전혀 包含되지 않는다. 이 包有物은 加熱時 氣相이 커지나 360°C까지 昇溫하여도 充塡되지 않았다. 이 型의 包有物은 水豊鑛山産 螢石(寫眞 11)과 百年鑛山産螢石에서 볼 수 있다.

Ⅳ型—多相包有物; daughter mineral로 생각되는 固相을 包有하는 모든 包有物이 이에 屬한다(寫眞 12). 이 型의 包有物은 黃江里地區의 스카른型의 鑛床(百年)과 花崗岩中鑛染된 水豊鑛山産 螢石에서만 볼 수 있다. 固相은 微小한 것에서 부터 容積으로 약 40%정도가 되는 것까지 있다. 固相中에는 光學的으로 等方性인 것과 異方性인 것이 있다. 等方性인 固相은 그 形態나 光學的 및 加熱實驗結果로 보아 halite인 것으로 생각된다. 한 包有物中에 2個 以上의 固相을 갖는 包有物도 많다. 加熱實驗에서 異方性인 固體는 氣相이 充塡된 후 360°C 昇溫하여도 溶解되지 않는 것이 大部分이다.

3-3. CO_2 濃度와 鹽濃度

1) CO_2 濃度

流體包有物中의 CO_2 濃度를 定量하는데는 몇가지의 直接的인 分析方法이 있다. 이 硏究에서는 Takenouchi (1971)가 提示한 包有物中의 各相의 容積比와 濃度表示圖를 利用하여 Ⅱ型包有物에 對한 CO_2濃度의 槪略的인 값을 求하여 보았다.

따라서 이번에 推定한 流體包有物의 CO_2 濃度는 7~9 wt. % 以上을 包含하는 것에 限한 것이 된다. 各 鑛床産螢石中의 Ⅱ型 包有物中의 CO_2 濃度는 다음과 같다.

LCO_2를 갖는 包有物은 母岩이 石灰質岩인 黃江里地區 鑛床産螢石中에만 存在할 뿐 華川地區 鑛床産 螢石中에서는 볼 수 없는 것은 注目할만한 일이다. 瑞龍鑛山의 試料는 石英脈에 隨伴된 螢石이다. 이 石英脈은 약간의 碳灰石을 隨伴하고 있다.

第1表 鑛山別 含 LCO_2 包有物(型)中의 CO_2濃度

鑛 山	CO_2 濃度 (wt. %)
가 삽 돌	11.4~31
松 界	8~ 9
榮 國	7~11
瑞 龍	7~ 9
百 年	9~10
水 重	7~ 8

2) 鹽濃度

流體包有物의 鹽濃度를 定量하기에는 直接的인 分析方法이 있으나 對象이 微小하여 抽出過程에서의 汚染(contamination)이 퍽 問題가 된다. 近來에는 冷却顯微鏡法에 依한 NaCl 相當鹽濃度의 推定等이 많이 行해지고 있다. 이번에는 이와같은 實驗은 行하지 못하였으나 이미 報告된 資料와 함께 halite 等의 固相을 包有하는 Ⅳ型包有物의 鹽濃度를 推定하여 보았다.

一般的으로 固相이 充塡溫度 以下에서 녹는다는 것은 包有物中의 流體가 원래 捕獲될때는 飽和되어 있지 않았음을 뜻한다. 그러므로 여기서 halite結晶의 녹는 溫度로서 NaCl-H_2O 系 (Sourirajan & Kennedy, 1962)에서 鹽濃度의 最小値를 推定할 수 있다. 水豊鑛床産 Ⅳ型包有物中의 光學的으로 等方性인 固相의 녹는 溫度는 168°~289°C 이므로 이는 Sourirajan & Kennedy (1962)의 飽和된 NaCl 水溶液에서의 液相의 組成圖에서 보면 30~36.5wt. %가 된다. 여기서 sylvite나 其他 鹽類가 存在할 可能性으로 보아 鹽濃度는 約 40wt. %가 될 것으로 豫想된다. 水豊鑛山은 페그마타이트型의 鑛床으로 이 地域內鑛床中 流體包有物의 鹽濃度가 가장 높다.

한편 華川, 黃江里, 錦山地區의 主要螢石鑛床의 大部分은 熱水性鑛床으로 halite等의 固相을 갖는 것은 거의 없다.

Enjoji (1972)에 依하면 華川地區가 黃江里地區의 各各 代表的인 春川新浦鑛山과 九尾鑛山에 있어서의 鹽濃度는 各各 0~2.2wt. % NaCl과 0.5wt. % NaCl로서 모두 낮다.

以上으로 3個 地區의 重要한 螢石鑛床을 形成한 鑛化流體의 鹽濃度는 大體로 낮았을 것으로 生覺된다.

3-4. 充塡溫度

31個鑛山産 試料에 對한 流體包有物充塡溫度의 測定結果는 第2表와 같다.

第2表에서 보는 바와 같이 華川地區의 9個鑛山은 모두 裂罅充塡鑛床으로 流體包有物의 組成型도 Ⅰ型의 것 뿐이다. 充塡溫度도 104°~175°C로서 溫度範圍가 좁다. 春川新浦鑛山의 境遇 모든 試料는 −15L 에서 採取된 것으로 充塡溫度는 116°~143°C 이다. 李春雨(1971)에 依하면 露頭에서 −11L사이에서 採取된 49個試料에 對한 流體包有物充塡溫度는 111°~147°C 로서 125°~139°C의 것이 大部分이다. 이 鑛山産 鑛石은 玉隨質石英과 螢石이 縞狀構造를 이루며 螢石의 色도 多樣한 色帶를 이루나 이들 사이의 充塡溫度의 差는 別로 없다.

第2表 流體包有物充塡溫度

鑛山	試料場所	鑛床의 成因型	母岩	鑛物	螢石의色	流體包有物의型	實驗包有物數	充塡溫度(℃)	備考
華川地區									
春鳳	本坑	裂罅充塡	Gr	螢石	綠	P S-I S-I	12 24	104-129.5 77-96	
史內新浦	〃	〃	Gr	〃	淡綠	(P S-I S-I)	29 1	131-175 113	
					無	(P S-I S-I)	21 1	118-158 115	
					綠	(P-I P S-I)	2 4	148 131-134	
					無	(P S-I S-I)	18 4	131-160 111-131	
龍潭	〃	〃	Gr	〃	無	(P-I S-I)	9 2	112-131 95-101	
第2文登	9L	〃	BGn		無	P S-I	26	138-150	
	本坑	〃	GrGn	〃	淡綠	P S-I	19	132-150	Sp. No. 1
					綠	(P S-I S-I)	23 7	130-151 115-125	
	〃	〃	BGn	〃	綠	(P S-I S-I)	7 16	128-146 83-122	Sp. No. 3
	〃	〃	GrGn	〃	淡綠	(P-I P S-I S-I	15 5 3	139-150 131-137 98-104	Sp. No. 5
					綠	(P-I S-I)	18 7	138-154 107-120	
	〃	〃	GrGn	〃	〃	(P-I S-I)	15 6	141-151 107-115	Sp. No. 10
春川新浦	-15L	〃	BGn	〃	綠	P-I	19	116-135	Sp. No. 1
	〃	〃	BGn	〃	無	P-I	21	119-134	Sp. No. 2
	〃	〃	BGn	〃	無	P-I	19	127-143	Sp. No. 3
					綠	P-I	3	126-140	
	〃	〃	BGn	〃	紫	P-I	20	128-142	Sp. No. 4
豊島啓星		〃	GrGn	〃	無	(P-I P S-I S-I	15 8 5	154-165 129-133 89- 95	Sp. No. 1
				〃	綠	(P-I P S-I S-I	2 11 15	153-162 143-152 85-111	Sp. No. 2
隆淸(보정)		〃	GrGn	螢石				118-152	
第2隆淸		〃	GrGn	〃				120-140	
大昌(寶藏)		〃	〃	〃	淡綠	(P-I P S-I S-I	2 130 30	135-156 111-135 60-105	
黃江里地區									
九尾	本坑	交代	LS	螢石	綠	P-I	92	112-258	Sp. No. 1
	〃	〃	〃	〃	綠	P-I	87	220-310	Sp. No. 2
	〃	〃	〃	方解石	無	P-I	7	189-310	
	〃	〃	〃	石英	無	P-I	13	229-335	
忠北	〃	交代	LS	螢石	靑灰	(P-I P S-I)	26 28	175-284 234-236	
忠谷		〃	LS	〃	紫	P-I	14	121-165	
가삼돌		裂罅充塡	Do	〃	無	(P-I P S-I P S-II	11 60 110	279-293 267-272 265-270	

				〃	綠	(P S-I P S-II S-I)	36 39 2	290-298 66- 69	decrepitation으로측정불능
				〃	紫	(P-I P S-I S-I)	2 4 6	256-315 255-256 96-119	
水 重		裂罅充塡	Do	〃	紫	(P S-I S-I)	60 3	229-245 139-141	
					綠	P S-II	7	289-312	
천 일		〃	〃	〃	靑	(P-I S-I)	2 1	158-177 126	
瑞 龍	露 天	裂罅充塡 및 交代	LS	〃	無	P S-I	4	227-235	
					紅	S-I	3	123-125	
道 田		〃	LS	〃		P-I S-I	20 5	98-167 85- 94	
鑛 川	露 天	裂罅充塡	LS	螢 石	紫	P-I	5	104-119	
松 昇	通氣坑	〃	LS	〃	紅	(P-I P S-I)	10 8	162-235 101-118	
	手選場	〃		〃	〃	(P S-II S-I)	60 4	171-196 93-112	
榮 國	露 天	交 代	LS	〃	無	(P S-II P S-I S-I)	41 26 9	241-310 165-190 91-126	
大 佛	本 坑	裂罅充塡	Lsi	〃	〃	P-I P S-I S-I	6 28 17	107-111 116-132 91-106	
興 日	露 天	〃	Ls	〃	綠	P-I P S-I S-I	7 88 15	158-189 152-189 69- 91	
水 豊	〃	페그마	Gr	〃	紫	P-III		>360	halite 용해온도
		타이트				P-IV	11	>360	168-239
						PS_1-I PS_2-I	24 6	210-357 712-191	
百 年	〃	스카른	Lsi	〃	無	P-IV P S-II S-I		285-360 >360 206-237	
七星(君子山)		裂罅充塡	Phy	〃	紫	P-I P S-I S-I	23 30 50	137-195 182-205 73- 95	
忠 州		〃	Sch	〃	無	P S-I	10	141-190	
	錦山地區								
扶 桑		裂罅充塡 및 交代	meta. sed.	〃	綠	P S (?)-I	121	106-148	
深 川		裂罅充塡	Ss	〃		S (?)-I	15	95-125	
萬 岳		〃	Gr	〃		P S (?)-I	7	142-228	
珍 山		〃	Sl	〃		P S (?)-I	7	105-237	
玉 溪		交 代	Ls	〃		P S (?)-I	152	109-179	

meta. sed.: 變成堆積岩　Ss: 砂岩　BGn: 黑雲母片麻岩　Phy: 千枚質岩
GrGn: 岩崗質片麻岩　Sch: 片岩　S: 2次包有物　Sl: 粘板岩
Ls: 石灰岩　Do: 돌로마이트　P: 初生包有物　PS: 假2次包有物
Lsi: 石灰珪酸岩

또한 露頭에서 −15L까지 垂直으로 400餘m사이의 充塡溫度의 差도 別로 없다.

黃江里地區의 鑛床은 鑛床의 成因型도 多樣하나 包有物의 種類도 多樣하고 充填溫度도 넓은 範圍에 分散된다. 勿論 充填溫度가 곧 鑛床의 生成溫度는 아니다. 그러나 全體的으로 보아 페그마타이트型이나 스카른型의 鑛床에 있어서는 包有物의 種類에 있어 初生과 假二次 包有物이 Ⅱ. Ⅲ. Ⅳ. 型의 것들이며 이들의 充填溫度는 大槪가 이번에 使用한 加熱顯微鏡으로 測定可能한 溫度의 上限을 넘는다. 이는 鑛床의 成因에 따라 包有物의 組成도 다르며 溫度도 各各 相異함을 나타내는 것으로 매우 興味있는 事實이다. 水豊과 百年의 두 鑛床을 除外한 熱水交代鑛床과 裂罅充填鑛床中의 Ⅰ型包有物의 充填溫度만 보아도 95°~312°C로 溫度範圍는 넓다. 九尾鑛山의 螢石中 包有物의 充填溫度만 보아도 112°~310°C로 넓은 溫度範圍를 갖는다. 錦山地區의 境遇 鑛山數는 적으나 華川地區에 比하여 包有物의 充填溫度는 鑛床型에 따라 各各 差異가 甚하며 같은 型의 鑛床에 있어서도 溫度範圍는 넓다. 全體的으로 보아 黃江里地區와 類似한 傾向을 갖는 것으로 보인다. 水豊鑛山螢石中의 Ⅳ型 包有物에 있어 光學的 等方性인 立方體의 形態를 갖는 固相들은 168°~289°C에서 녹으며 205°~248°C에서 녹는 것이 가장 많다. 光學的으로 異方性인 固相들은 360°C 부근에서도 녹지 않는다.
이들이 外來物質인지 또는 daughter mineral인지는 앞으로 여러 角度로 檢討를 要한다.

3-5. 壓力補正

充填溫度의 測定으로 얻어진 溫度는 鑛床生成時의 鑛化流體의 溫度의 最少値이다. 따라서 實際溫度는 流體에 加하여진 壓力을 가지고 補正하여야 한다.

各 地域에 있어서의 鑛床生成時 그 위를 덮고 있던 岩石의 두께를 推定할만한 資料는 別로 없다. 特히 華川地區에서와 같이 先캄브리아紀의 片麻岩類中에 胚胎된 鑛床의 境遇 鑛床生成時에 덮고 있던 地層의 두께를 推定할 길이 없다.

한편 螢石鑛床에 隨伴되는 鑛物의 安定한 溫度, 壓力의 上下限値로서 推定하기에도 그 範圍가 좁은 鑛物들이 없다. 黃江里地區의 몇몇 螢石鑛床에는 LCO_2를 包含하는 包有物들이 있다. 榮國鑛山의 境遇 CO_2 濃度는 7~11wt. %이고 充填溫度는 241°~310°C이다. 여기서 鑛化流體가 上昇하여 오며 300°C 附近에서 氣相을 分離하기 始作하였다면 Takenouchi and Kennedy (1964)의 H_2O-CO_2系 熱水溶液中의 CO_2濃度와 溫度壓力關係圖에서 그때의 壓力은 약 300 bars였을 것이다.

實際로는 天然의 熱水溶液은 鹽化物의 水溶液임으로 CO_2 溶解度는 純水보다는 낮아 氣相이 分離하기 始作하는 壓力은 위의 값보다는 높았을 것이다. 이는 上述한 바와같이 黃江里地區의 螢石鑛床의 關係火成岩인 白堊紀의 花崗岩의 固結深度가 얕다는 事實과 잘 符合된다. 300 bars의 壓力資料로서 鹽濃度를 無視하여 純水의 境遇로 假定하고 T-P-D의 關係圖(Ohmoto et al, 1970)에서 補正하면 溫度는 約 20°C 더 높아진다. 여기서 鹽濃度를 考慮하면 壓力補正時의 溫度差는 좀더 클 것이다. 그러나 위에서 言及한 바와같이 이 地域의 熱水鑛床中의 鹽濃度는 大體로 낮아 補正溫度差는 위의 값과 큰 差異는 없을 것이다.

4. 總括과 考察

위에서 檢討된 各地區鑛床의 産出狀態 鑛物의 共生關係 및 流體包有物에서 얻어진 資料를 總括하면 다음의 第4表와 같다.

第4表에서 보면 華川地區와 黃江里地區와의 사이에는 여러가지 顯著한 差가 있으나 黃江里地區와 錦山地區 사이에는 많은 共通點이 있음을 알 수 있다. 따라서 黃江里地區와 錦山地區를 一括하여 華川地區와 比較하여 보기로 한다.

華川地區와 黃江里地區 鑛床間에 가장 큰 差異點은 母岩의 性質이 다른 것이다. 卽 黃江里地區 鑛床의 母岩은 大部分 石灰質岩인데 대하여 華川地區 鑛床에서는 石灰質岩이 母岩을 이루고 있는 例를 볼 수 없다. 石灰質岩은 다른 岩種에 대하여 一般으로 化學的 反應에 銳敏할 뿐만 아니라 空隙率이나 透水率이 커서 交代型의 鑛床이 잘 形成되는 것이 常例이다. 이는 螢石鑛床에 있어서도 例外일 수는 없다. 따라서 두 地區鑛床의 大部分이 熱水鑛床이라는 共通性을 가지면서도 黃江里地區 鑛床中에는 石灰岩質을 選擇交代한 交代型鑛床의 形態와 鑛石組織上의 特徵을 갖는 鑛床이 많은 것이다. 이 點은 錦山地區鑛床에 있어서도 黃江里地區鑛床의 境遇와 같다. 鑛床의 成因型은 華川地區는 모두 裂罅充填熱水鑛床인데 比하여 黃江里地區에는 스카른型鑛床, 熱水鑛床등 成因型이 多樣하다. 그러나 兩地區 모두 經濟的으로 重要한 螢石鑛床은 熱水鑛床이다.

隨伴鑛物의 種類에 있어 華川地區에 있어서는 玉髓質石英이 共通的으로 隨伴되나 黃江里地域에 있어서는 거의 共通的으로 方解石을 隨伴하며 玉髓質石英 이외에도 乳白色 石英이 脈石으로 隨伴되는 경우가 많다, 螢石鑛床生成의 比較的 末期에 生成된 粘土鑛物로 보아도 華川地區 鑛床에는 카오리나이트가 가장 優勢하며 一部 몬모릴로나이트, 딕카이트등이 隨伴된다. 그러나 黃江里 地區 鑛床에 있어서는 몬모릴로나이트가 優勢하고 카오리나이트가 隨伴되며 九尾鑛山에 있

第4表 地質鑛床 및 流體包有物研究結果의 總括

地區	華川地區	黃江里地區	錦山地區
母岩	片麻岩, 花崗岩, 珪長岩	*石灰岩 *돌로마이트 石灰珪酸鹽岩	石灰岩, 石英斑岩, 變成堆積岩, 花崗岩, 砂岩, 礫岩
關係火成岩			
岩石	花崗岩, 珪長岩	花崗岩	花崗岩, 石英斑岩
貫入時期	쥬라紀	上部白堊紀(83~90mys)	上部白堊紀
固結深度	중간~얕다	얕다(1.5km程度)	얕다(1.5km程度)
鑛床이 賦存된 主要 裂罅系	EW	N30°~40°E, N30°~40°W	N30°~40°W
鑛床의 成因型	裂罅充填熱水鑛床	熱水鑛床(裂罅充填, 層面交代鑛染) 스카론型,	熱水鑛床(裂罅充填 및 交代)
鑛床의 形態	脈狀, 파이프狀	脈狀, 렌즈狀, 파이프狀, 맨토스狀	脈狀, 렌즈狀
鑛石의 構造, 組織	累被構造, 카케이드 構造, 帶狀構造	累被構造, 카케이드構造, 帶狀構造, 塊狀	累被構造, 塊狀
隨伴鑛物	*玉髓質石英, 카오리나이트, 몬모릴로나이트, 딕카이트, 方解石	*方解石, 乳白色石英 玉髓質石英, 몬모릴로나이트, 카오리나이트, 燐灰石, 灰重石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 硫砒鐵石, 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 菱맹간石, 重晶石, 쎄피오라이트等	
廣域的으로 본 鑛物의 帶狀分布	不明瞭	W, Mo, Cu, Zn, Pb, F, Ba 等이 帶狀分布를 이룬다	
包有物의 種類	I型	I, II, III, IV型	
鑛化流體의 CO_2 含量(wt. %)	全般的으로 낮다	鑛床型에 따라 다르다 最高 31	
鑛化流體의 鹽濃度(wt. % NaCl)	0.5~2.2 (春川新浦鑛山)	鑛床型에 따라 다르다 最高約 40	
包有物의 充填溫度 (°C)	104~175	95~360以上 熱水性鑛床 95~312	95~237
壓力補正値		20°C 內外	

*가장 普遍的인 것을 말함

어서는 쎄피오타이트 또는 포리고스카이트등이 隨伴된다. 隨伴鑛物의 種類를 規制하는 要因으로는 一般으로 鑛化流體의 組成, 鑛物 沈澱時의 P-T, pH 條件과 함께 母岩의 組成도 매우 重要한 것이다. 黃江里 地區 鑛床에 있어 特히 方解石이나 Mg rich 粘土鑛物이 隨伴鑛物로서 優勢하다는 것은 위의 몇가지 條件에서 母岩이 石灰質岩이라는 點도 特히 重要한 要因이었을 것으로 생각된다. Imai(1969)에 의하면 日本에 있어서의 쎄피오라이트나 포리고스카이트는 大部分은 蛇紋岩이나 石灰質岩등 Mg成分을 包含한 岩石中에서 産出되고 있다. 한편 몬모릴로나이트도 Mg를 包含하는 岩石에서 알카리性인 條件下에서 잘 形成된다(Deer et al, 1961)는 事實로 볼 때 黃江里地區에 있어 螢石鑛化作用末期의 鑛化流體의 pH는 알카리性이었을 것으로 생각된다.

流體包有物에 있어 黃江里地區 螢石鑛床에서만 含 LCO_2 有物을 볼 수 있을 뿐 華川 地區의 鑛床에서는 볼 수 없다.

一般的으로 페그마타이트鑛床中에 CO_2를 많이 包含하는 包有物이 있다는 報告가 있다. 熱水鑛床에 있어서는 特히 탕그스텐, 錫鑛床產 鑛物中의 包有物에서의 存在가 많이 報告되고 있어 CO_2는 탕그스텐鑛化作用과 重要한 關係가 있다고 한다 (Takenouchi, 1972). 우리나라에서도 筆者(1974)는 黃江里地區 北方의 大華 탕그스텐, 모리브덴鑛床產 石英, 螢石中에 LCO_2를 包含하는 包有物이 있으며 CO_2 濃度는 10~20wt. % 임을 報告한 바있다. 日本의 對州鑛山에 있어서는 熱水溶液의 CO_2飽和 濃度는 花崗岩體에서 멀어진 곳에서 높다고 한다(Takenouchi, 1971). 黃江里地區의 螢石鑛床은 全體的으로 보아 LCO_2를 包含하는 包有物은 特히 花崗岩體와 近接한 곳에 胚胎된 螢石鑛床에서만 볼 수 있다는 規則性은 없다. 百年鑛床에 있어서와 같이 花崗岩體와의 接觸帶에 胚胎된 스카른型 鑛床에서는 含 LCO_2 包有物이 存在하나, 花崗岩中에 鑛染된 水豊鑛床產 螢石中에서는 含 LCO_2 包有物를 볼 수 없다. 이는 CO_2의 根源이 花崗岩質 마그마에서 放出된 것 보다는 스카른鑛物 形成時母岩中의 炭酸鹽鑛物의 分解過程에서 發生된 것이 더 重要하였을 可能性을 말한다. LCO_2를 갖는 包有物이 黃江里地區의 石灰質岩中에 胚胎된 螢石鑛床中에서만 볼 수 있다는 것은 위의 假定을 支持하는 것으로 生覺된다.

Currier (1947)는 Cave-in Rock 地方의 螢石鑛床에 있어 石灰岩을 螢石이 交代 沈殿하는 反應을 다음과 같이 表現하고 있다.

$$SiF_4+2CaCO_3 \rightleftharpoons 2CaF_2+SiO_2+2CO_2$$

또는

$$2HF+CaCO_3 \rightleftharpoons CaF_2+H_2O+CO_2$$

Grushkin(1965)은 쏘련의 Aurakhmat 地方의 石灰岩中에 胚胎한 螢石鑛床產 色帶를 갖는 螢石中의 流體包有物을 分析하여 早期晶出한 螢石에서 後期에 晶出한 螢石으로 가며 溶液中의 成分은 알카리鹽化物(KCl, NaCl)과 알카리弗化物(NaF)에서 $Ca(HCO_3)_2$와 $NaHCO_3$로 漸移的으로 變함을 報告한 바 있다. 그는 包有物中에 NaF, $Ca(HCO_3)_2$와 $NaHCO_3$가 相當量包含되어 있는 것으로 보아 螢石의 沈殿을 다음의 反應에 依한 것이라 하였다.

$$CaCO_3+2NaF+CO_2+H_2O \rightleftharpoons CaF_2+2NaHCO_3$$

또는

$$2NaF+Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons 2CaF_2+2NaHCO_3$$

$Ca(HCO_3)_2$의 增加로 溶液의 pH는 원래 中性이었던 것이 弱알카리性으로 變하였다고 한다. 이는 螢石鑛化作用 末期에 黃江里地區에서는 몬모릴로나이트 等이 生成되어 있는 것과 一致하는 現象이다.

위의 化學式에서 石英의 同時沈殿與否를 莫論하고 石灰岩을 母岩으로 하여 螢石鑛床이 形成될 때는 CO_2가 發生하거나 또는 CO_2를 必要로 함을 알 수 있다.

Shcherban(1968)도 天然에서 方解石이 螢石, 石英과 平衡을 이루며 共生關係를 갖는 것은 F나 Si가 SiF_6^{2-}의 錯이온으로 導入되었을 것으로 보고 螢石은 다음 몇가지 反應으로 이루어질 것으로 假定하였다.

$$SiF_6^{2-}+4OH^-+3Ca\,CO_3 \rightleftharpoons SiO_2+3CaF_2+3CO_3^{2-}+2H_2O$$

$$SiF_6^{2-}+4OH^-+3Ca^{2+} \rightleftharpoons SiO_2+3CaF_2+2H_2O$$

$$CaCO_3 \leftrightharpoons Ca^{2+}+CO_3^{2-}$$

그는 이 反應에 對한 計算과 實驗을 通하여 方解石은 25°~600°C, pH 4~8.5 사이의 溶液에서 螢石과 石英으로 交代되었다고 하였다. 이 過程에서 主된 影響을 주는 것은 溶液中의 SiF_6^{2-} 濃度와 酸度와 鹽基度라고 報告하고 있다.

華川地區, 黃江里地區 및 錦山地區의 各螢石鑛床에 있어서의 流體包有物이 充填溫度는 各各 104°~175°C, 95°~360°C 以上. 95°~237°C 이다. 한便 世界各國의 螢石鑛床의 螢石中의 流體包有物의 充填溫度는 第5表와 같다.

黃江里地區 鑛床에 있어서의 流體包有物의 充填溫度는 華川地區의 것에 比하여 充填溫度範圍가 넓고 充填溫度 上限이 높은 것은 다음에 列擧하는 事實들과 깊은 關係를 갖는 것으로 生覺된다.

a) 黃江里 地區의 螢石鑛床은 모두가 關係火成岩에 近接하여 賦存한다.

b) 鑛床의 成因型으로 보아도 스카른型, 熱水型等 高溫性에서 比較的 低溫의 熱水鑛床等 多樣하며 이들이 좁은 範圍內에 分布한다.

c) 廣域的으로 보아 花崗岩體에서 1km, 以內의 幅에 여러 種類의 鑛物이 帶狀分布를 보이며 全體的으로 테레스코핑을 이루고 있다. 한鑛體內에서도 짧은距離內에서 上下로 鑛物이 帶狀分布를 이루는 例가 있다.

d) 이 地域鑛床의 流體包有物의 種類도 氣體包有物, 鹽濃度가 높은 包有物(最高 約 40wt. %), CO_2 濃度가 높은 包有物(最高 約 31wt. %), CO_2와 鹽濃度가 아주 낮은 包有物 等 鑛床의 種類에 따라 多樣하다.

以上으로 黃江里地區의 鑛床은 地下 比較的 얕은 곳에서 形成된 것으로 이 때의 鑛化流體의 溫度勾配는 急했다. 또 일련의 鑛化期間中에 時期와 組成을 달리하는 鑛化流體의 pulsation으로 일부 테레스코핑을 이루

第5表 外國螢石鑛山產 螢石中의 流體包有物 充填溫度

鑛 山	研 究 者	充填溫度 (°C)
Igashima, Japan	Imai et al 1965	70–180
Yogatani, 〃	〃	100–150
Nabekura, 〃	〃	83–161
Hiraiwa, 〃	Miyazawa et al 1972	124–157
Obira *1) 〃		235–380
Cave in Rook district of eastern Hardin county	Grogan et al (1952)	83–167
Deardorff Mine, Cave in Rock District	Freas (1961)	100–129
Victory Mine, Cave in Rock	〃	114–128
Don Gregorie, Argentina	Hayase et al (1973)	173.9–191.9
Bienvenida, 〃	〃	160.7–179.9
La Alegria 〃	〃	129.4–147.1
La Malena 〃	〃	118.9–159.8
Jamestown District*2) Colorado, U.S.A.	Nash et al (1973)	200–382
Aurakhmat USSR	Grushrin (1965)	90–121
Daehwa *3) Korea	Park (1974)	210–265 early 205–213 later
Takatori *3)	Enjoji (1972)	165–278
Tin, tungsten *3) depsits, Eastern Andes, Bolibia	Kellyetal (1970)	203–340 early 108–223 later

* 1) 接觸交代鑛床
2) 螢石, 金鑛床
3) 탕그스텐, 錫, 모리브鑛床

게 되었다고 生覺된다. 이에 對하여 華川地區鑛床에 있어서는 共通的으로 溫度範圍가 좁고 單一鑛床에 있어 上下間에 溫度勾配가 몹시 緩慢하며(例：春川新浦), 鑛化作用期間中에 隨伴된 角礫化作用을 前後하여도 充填溫度의 差異는 別로 없다.

5. 結 言

1) 우리나라의 螢石鑛床은 主로 華川地區, 黃江里地區 및 錦山地區에 集中賦存한다.

2) 華川地區의 螢石鑛床은 모두가 裂罅充填熱水鑛床인데 對하여 黃江里地區의 것은 스카른型鑛床, 裂罅充填熱水鑛床 및 熱水交代鑛床等成因型으로 보아 多樣하다. 錦山地區의 螢石鑛床은 裂罅充填熱水鑛床 및 熱水交代鑛床들이다. 그러나 위의 3地區에 있어서 經濟的으로 重要한 鑛床은 共通的으로 熱水性鑛床들이다.

3) 華川地區螢石鑛床產 螢石中의 流體包有物은 그組成型이 共通的으로 氣液包有物인데 對하여 黃江里地區鑛床에 있어서는 氣液包有物, 含 LCO_2包有物, 液氣包有物 및 多相包有物等 鑛床의 成因型에 따라 流體包有物의 組成型도 多樣하다.

4) 華川地區螢石鑛床의 流體包有物의 CO_2濃度와 鹽濃度는 모두 낮다. 이地區에서 代表的인 春川新浦鑛床의 鑛化流體의 鹽濃度는 0.5～22.wt.% NaCl이다. 한便 黃江里地區鑛床에 있어서는 鑛化流體의 CO_2濃度와 鹽濃度는 鑛床의 成因型에 따라 多樣하다. 鹽濃度는 스카른型鑛床에서 가장 높고 (最高 40wt% NaCl), CO_2濃度는 스카른鑛床과 重石이나 硫化鑛物을 隨伴하는 熱水性鑛床에서는 높아 7～11 wt%의 것이 많고 最高約40wt%에 達한다. 其他 熱水鑛床에 있어서의 鹽濃度는 大體로 낮다. 이地域에서 熱水交代鑛床으로 代表的인 九尾鑛床의 境遇 鑛化流體의 鹽濃度는 0.5wt% NaCl이다.

5) 流體包有物의 充填溫度도 地域에 따라 特徵이 있다. 華川地區의 9個 螢石鑛床產 螢石中의 流體包有物의 充填溫度는 104°～175°C이다. 黃江里地區의 鑛床에

서는 花崗岩中에 鑛染된 鑛床이나 스카른型鑛床産 螢石中의 流體包有物充填溫度는 360°C 以上이나 熱水性鑛床의 境遇는 95°~312°C 이다. 이地域의 몇 鑛床에서 流體包有物資料로서 推定한 鑛床生成時의 最高壓力은 300bar 內外이다.

6) 華川地區의 螢石鑛床은 共生鑛物이 比較的 單純하고 生成溫度의 勾配도 緩慢하다. 黃江里地區의 境遇 全般的으로 生成溫度의 勾配가 比較的 急하고 共生鑛物의 種類도 多樣하여 鑛化流體의 組成도 鑛床別로 相異하였던 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

Brecke, E. A., 1962, Ore genesis of the Cave in Rock fluorite district, Hardin County, Illinois, Econ. Geol., V. 57, p. 499-535.

_____, 1964, A possible source of solutions of Illinois-Kenturky fluorspar district, Econ. Geol., V. 59, p. 1293-1297.

Currier, L. W., 1937, Origin of the bedding replacement deposits of fluorspar in the Illinois Field, Econ. Geol., V. 32, p. 364-386.

Dunham, K. C., 1937, The paragenesis and color of fluorite in English Pennines, Am. Miner., Vol. 22, p. 468.

Enjoji, M., 1972, Studies on fluid inclusions as the media of the ore formation, Sci. Rep., Tokyo Kyoiku Daigaku Sec. C. Vol. 11, No. 106, p. 79-126.

Freas, D. M., 1961, Temperatures of mineralization by liquid inclusion, Cave in Rock fluorspar district, Illinois, Econ. Geol., V. 56, p. 542-556.

Gillermar, E., 1948, The bedding-replacement fluorspar deposits of Spar Valley, Eagle Mountains, Hudspeth County, Texas, Econ. Geol., Vol. 43, p. 509-517.

Glinkina, M. I., 1969, Behavior of tungsten and calcium in acid fluoride solutions at temperatures from 18° to 350° C, Geokhimiya, No. 7, p. 797-806.

Grogan, R. M., 1949, Structures due to volume shringkage in the bedding replacement fluorspar deposits of Southern Illinois, Econ. Geol., V. 44, p. 606-616.

Grogan, R. M., and Rhrode, R. S., 1952, Formation temperature of Southern Illinois bedded fluorite as determined from liquid inclusions, Am. Miner., 37, p. 555-565.

Grushkin, G. G. 1965, On the subject of variation in physico-chemical factors of equilibrium during mineral genesis in the fluorite deposits at Aurakhmat, Research on the Nature of Mineral Forming Solutions, Pergamon Press Inc., New York, p. 647-661.

Haas, 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.

Hall, W. E., and Friedman, I. 1963, Composition of fluid inclusions, Cave in Rock fluorite district, Illinois and Upper Mississippi Valley zinc-lead district, Econ, Geol., V. 58, p. 886-911.

Hayase, K. and Manera, T., 1973, A statistical analysis of experimental data on filling temperature of fluid inclusion in fluorite from fluorite deposits of Patagonia, Mining Geol, V. 23, No. 1, p. 1-12.

今井直哉, 鞠子 正, 1963, 新潟縣五十島鑛山調査報告, 國內製鐵原料調査報告, p, 1~4.

_____, 堤貞夫, 1965, 流體包有物 地質溫度計 による五十島 螢石鑛床の成因の檢討(第一報), 早大理工學硏究所報告, Vol. 33, p. 1~20.

Imai, N., Otsuka, R., 1969, Miscellaneous including Mg-clay minerals, The clay of Japan, Geol., Surv. Japan, p. 203-209.

지정만, 계정, 1971, 한국의 형석광상, 지질광상연구보고, 제13호, p. 7~368

_____, 1975, 南韓의 螢石鑛床의 成因에 關한 硏究, 광산지질, V. 8 No. 1 p. 25~56,

Jouray, J. C., et J. Yajima, 1967, Hydrocarbure liquides inclus dans des fluorites Tunisiiennes. Mineralium Deposita, V. 2, No. 4, p. 286-296.

Kalyuzhnyy, A. and Lyakhov, Yu. V., 1962, Inclusions of cassiterite and fluorite in crystals from pegmatites of Volhynia. Doklady Akad. Nauk SSSR, V. 143, p. 1182-1185.

Kelly, W.C. & Turneaure, F.S., 1970, Mineralogy, paragenesis and geothermometry of the tin and tungsten deposits of the Eastern Andes, Bolivia. Econ. Geol., V. 65, No. 6, p. 609-680.

국립지질광물연구소, 1972, Isotope ages & geologic map of Korea.

김기완, 이홍규, 1965, 한국지질도, 충주도폭, 국립지질조사소

김기완, 박봉순, 이홍규, 1967, 한국지질도, 제천도폭, 국립지질조사소

김남장, 최승오, 강필종, 1667, 한국지질도, 문경도폭, 국립지질조사소

김선억, 김종섭, 민정식, 1971, 제철용 용재(Flux) 자원개발과 수급에 관한 조사연구, 광산조사 (연구보고) V. 5, p. 1—35

金玉準, 1971, 南韓의 新期花崗岩類의 貫入時期와 地殼變動, 광산지질, V. 4, No, 1 p. 1~10)

李春雨, 1970, 新浦鑌山螢石의 流體包有物에 關한 硏究, 광산지질, V. 2, No. 4, p.—21

Lee, D.S., 1971, Study on the igneous activity in Middle Ogcheon Geosynclinal Zone, Korea, Jour. Geol. Soc. Korea, V. 7, No. 3, p. 153-216.

李大聲, 1972, 韓國의 酸性深成岩類 硏究의 몇가지 課題, 광산지질, V. 5, p. 21—38

이동남, 김종대, 1971, 자원조사연구보고(형석편), 광산조사연구보고, V. 5, p. 153—294

이종혁, 김정환, 1971, 한국지질도, 증평도폭, 국립지질조사소

이종혁, 김정환, 1972, 한국지질도, 괴산도폭, 국립지질조사소

이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도, 황강리도폭, 국립지질조사소

Lesnyak, V.F., 1965, Mineralothermometric research at the Tyrny-Auz skarn-ore complex, North Caucasus, Research on the Nature of Mineral Forming Solutions, Pergamon Press Inc., New York, p. 458-489.

宮澤俊彌, 圓城寺守, 1972, 流體包有物の 硏究と 熱水の起源, 地熱, V. 9, No. 3, p. 60—75.

Nackowski, M.P., 1958, Physical and chemical environment of Illinois Kenturky fluorspar depos its. Jour. Geol. Soc. Amer., V. 69, p. 1621(abstract)

Nash, J.M., 1973, Geochemical studies in the Park City, District, 1. Ore fluids in the Mayflower Mine. Econ. Geol., p. 34-51.

Naumov, V.B. and Malinin, S.D., 1968, A new method for determinating pressure by means of gas-liquid inclusion, Geokhimiya, No. 4, p. 432-441.

Ohmoto, H. and Rye, R.O, 1970, The Bluebell Mine, British Columbia. I. Mineralogy, paragenesis, Fluid inclusions and the isotopes of hydrogen, oxygen, and carbon. Econ. Geol., V. 65, p. 417—437.

박봉순, 최종옥, 1972, 황강리지역 광화대 3차년도 조사보고서, 지질광상조사연구보고, 제14호, p. 122—260

朴喜寅, 崔錫源, 1974, 大華重石 輝水鉛 鑌床産 鑌物中의 流體包有物에 關한 硏究, 광산지질, V. 7, No. 2, p. 63—78.

朴喜寅, 朴魯榮 1974, 우리나라螢石鑌體의 生成溫度에 關한 硏究, 科技處

박노영, 이인영, 김길순, 계 정, 1969, 황강리 광화대 조사보고서(1차개사), 지질광상 조사보고, 국립지질조사소, 제11호, p. 29—46.

Peters, W.C., 1958, Geologic characteristics of fluorspar deposits in the Western United States, Econ. Geol., V. 53, p. 663—688.

Reedman, A. J. et al., 1973, Geological, geophysical & geochemical invsetigations in the Hwanggangni area, Chungcheongpukdo, 지질광물조사연구보고, Vol. 1, Part Ⅱ, p. 1—118.

Ridge, J. D., 1968, Ore deposits of the United States, 1933—1967. The Graton-Sales Volume, p. 370—399, 276—277, 270—284, 880, 1148—1101(Spur Mountain Utah)

Roedder, E., 1963, Studies of fluid inclusions Ⅱ. Freezing data and Their interpretation, Econ. Geol., V. 58, No. 2, p. 168—211.

_____, 1967, Fluid inclusions as samples of ore fluid, in Barnes, H.L., ed, Gecehemistry of Hydrothermal Ore deposits, New York, Holt, Rinehart, and Winston, p. 515—574.

_____, 1968, Tempetature, salinity, and origin of the ore-forming fluid, at Pine Point, Northwest Teritories, Canada, from fluid inclusion studies, Econ. Geol., V. 63, No. 5, p. 439—450.

_____Heyl, A. & Greel, J., 1968, Environment of ore deposition of the Mex-Tex deposits, Hamsonburg district, New Mexico, from studies of fluid inclusions, Econ. Geol., V. 63, p. 336—348.

Samolylovich, L. A. and Khetchikov, L. N., 1968, Relationships between pressure, temperature and density in aqueous solution of sodium and potassium chlorides, Doklady Akad. Nauk SSSR, V. 180, No. 6, p. 1450—1452.

Shcherban, I. P., 1968, Mode of origin of fluorite in association with silica, Doklady Akad. Nauk SSSR, V. 178. No. 1, p 209~211

Sourirajan, S. and Kennedy, G. C., 1962, The system H_2O-NaCl at elevated temperatures and pressures, Am. Jour. Sci., V. 260, p. 115—141.

원종관, 이하영, 1967, 한국지질도, 단양도폭, 국립지질조사소

武內壽久彌, 1965, 2成分系熱水實驗の結果よりみた熱水溶液の性質, 鑛山地質, V. 15, p. 47—57.

_____, 1971, 冷却顯微鏡による 含 CO_2 流體包有物の硏究, 鑛山地質, Vol. 21, No. 4, p. 280—300.

Yajima, J., Touray, J. C., 1970, Analyse thermometrique du gasement de fluorite d'el Hamman (Moroc), (D'apres des des 'estudes d'inclusion fluides). Miner. Deposita, V. 5, No. 1, p. 23-28.

Yermakov, N. P. etal., 1965, Research on the nature of mineral-forming solution, Pergamon Press Inc., New York, 1965.

尹碩奎, 1973, 螢石鑛床의 地質溫度測定硏究, 광산지질, V. 6. No. 4, p 195~200

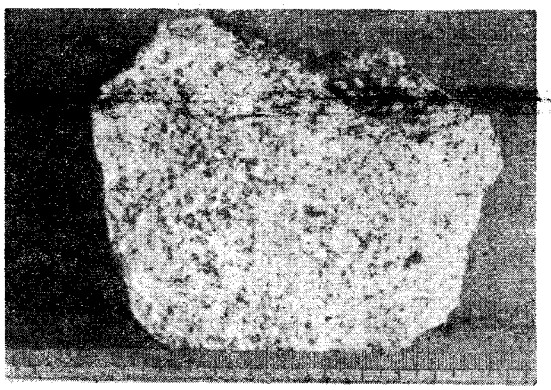


사진 1. 螢石이 花崗岩中에 散點狀으로 鑛染되어 있다. 사진에서 黑色, 灰色斑點이 螢石이다. (水豊鑛山)

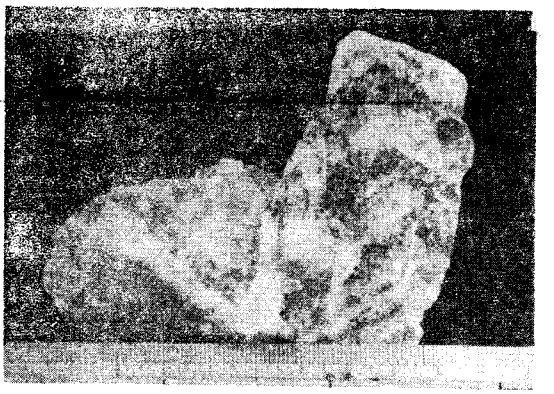


사진 2. 螢石의 色帶(color banding), 淡綠色. 靑色. 綠色의 螢石이 帶(banding)을 이루고 있다( )

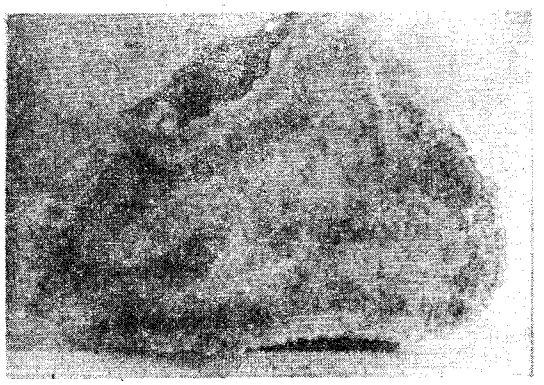


사진 3. 螢石鑛石의 칵케이드構造(東倉鑛山)

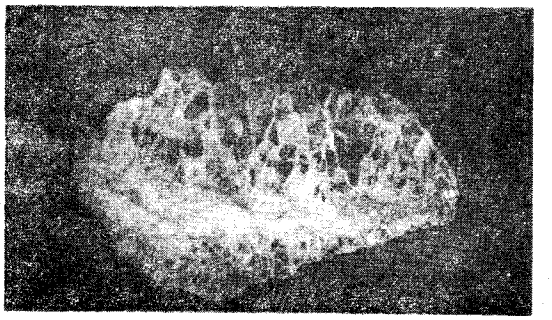


사진 4. 칵케이드 構造를 갖는 螢石鑛石의 兩面硏磨薄片 (九尾鑛山)

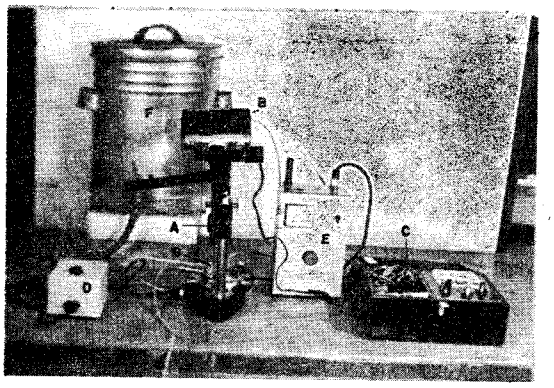


사진 5. 加熱顯微鏡
A: 加熱顯微鏡 B: 寫眞機 C: 自動露出計
D: 變壓器 E: 電流計 F: 冷却水筒 G: 加熱爐

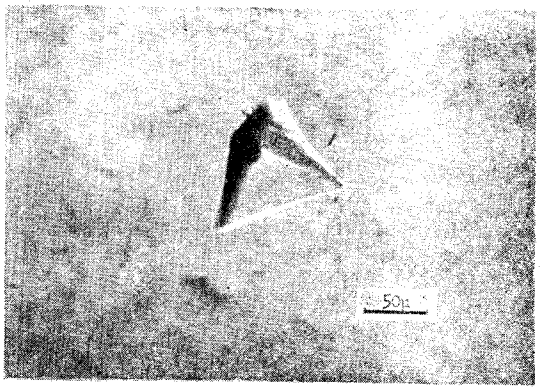


사진 6. 4面體模樣의 I型 包有物)九尾鑛山)

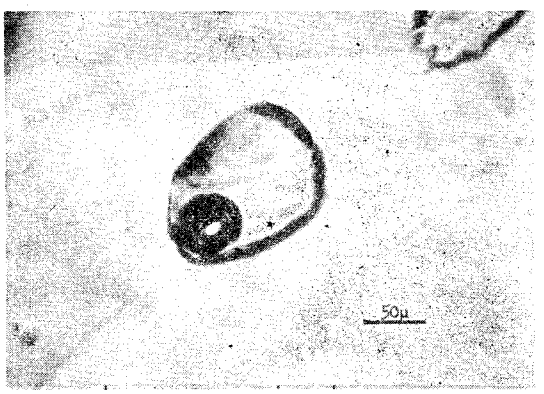


사진 7. 鷄卵模樣을 이루는 I型 包有物(榮國鑛山)

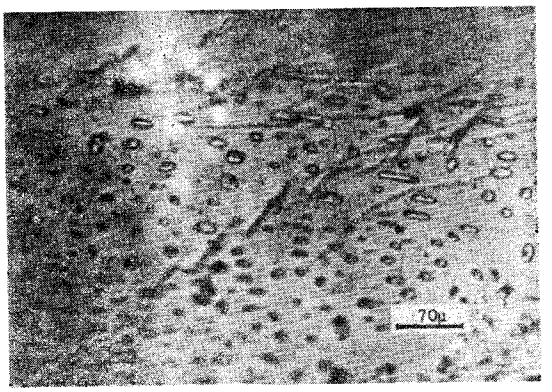


사진 8. 裂隙을 癒着한 假2次 I型 包有物들(興一鑛山)

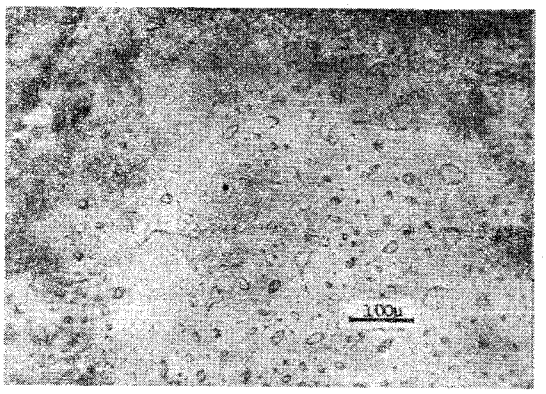


사진 9. 2次 包有物들(第2文登鑛山)

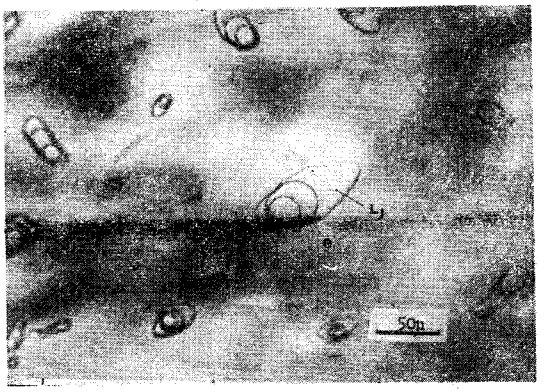


사진 10. 液體 CO_2를 包含하는 II型 包有物들(가삽돌鑛山)
L_1: 液相, L_2: LCO_2, G:氣相

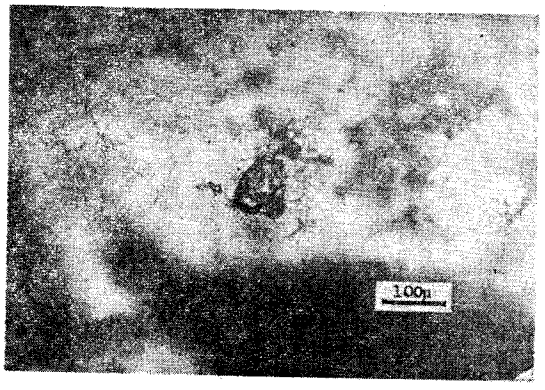


사진 11. III型 包有物(水豊鑛山)

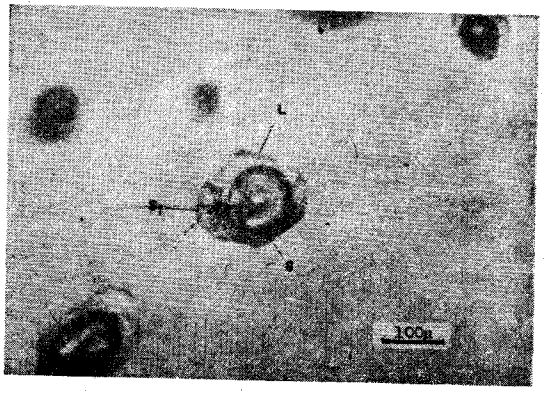


사진 12. IV型 包有物 氣相의 體積이크다(百年鑛山)
L: 液相 S_1: 固相(異方性鑛物), G: 氣相