

# 上東 重石鑛床의 流體包有物 研究

文 建 柱\*

## Fluid Inclusion Study of Sangdong Tungsten Deposits

Kun Joo Mun

**Abstract:** Sangdong scheelite deposit is confirmed to have been formed by replacement of limestone beds by metasomatic mineralization.

Mineralogical zonal distribution and filling temperatures are related with order of its formation and tungsten mineralization. The first formed garnet-pyroxene zone, left in the margins of the ore body, shows the highest filling temperature of fluid inclusions in pyroxene, averaging 420°C. The central part of the ore body, mainly composed of quartz-mica-scheelite, shows higher filling temperatures of fluid inclusions in quartz, than hornblende-quartz-scheelite zone surrounding the quartz-mica-scheelite zone, averaging 240°C. The distribution of higher filling temperatures above average temperature is applicable to the richest part of scheelite distribution.

Generally scheelite shows higher filling temperature by about 20 to 100°C than quartz in a given sample. The crystallization temperature of the main phase of scheelite deposition is 311°C at the pressure of 230 to 500 bars at Sangdong area. Gas-rich inclusions in the pyroxene are homogenized into either gas or liquid phase or into both phases in a given crystal of the pyroxene, which suggests boiling at the formation of skarn.

### 1. 서 언

流體包有物의 연구 가능성을 검토하는 과정에서 본 연구는 3 단계에 걸쳐 시행되었다. 첫째는 石英脈만을 대상으로 本脈주위에 賦存된 석영맥을 상하 심도에 따른 변화등의 여부를 관찰하기 위해 실시되었고 두번째는 본맥을 대상으로 스카른 광체에서의 온도 변화를 확인하기 위해 채취 가능한 구역에서의 전구역의 광체를 대상으로 하였다. 마지막으로 본광체의 외곽부 스카른(輝石-柘榴石)을 대상으로 하였다.

流體包有物을 갖는 광물은 石英 이외에도 角閃石, 磷灰石, 螢石, 헤덴버자이트(hedenbergite), 베스비아나이트(vesuvianite), 회중석, 흑운모 등이나 유색광물의 경우 관찰용 박편의 제작이 너무 어렵고 기교를 요하여 石英脈의 경우는 다량 관찰될수 있는 石英의 流體包有物을 그 관찰대상으로 하였고 본맥의 경우 石英-雲母帶와 石英-角閃石帶의 시료에서는 石英, 灰重石, 磷灰石을 주관찰 대상으로 하였다.

輝石-柘榴石帶에서는 헤덴버자이트를 주관찰 대상으로 삼았고 부분적으로 方解石과 角閃石 등에서도 流體包有物의 관찰이 가능할 경우 참고로 充填溫度(filling temperature)를 측정하였다.

冷凍溫度(freezing temperature)는 流體包有物이 냉각하여 얼음을 확인할 수 있을 만큼 크다고 생각되는 경우만이 이를 대상으로 충전 온도를 측정하기 전에 냉각을 시켜 냉각온도를 측정하였다. 경우에 따라서는 -100°C 이하에서도 냉각되지 않은 경우도 관찰된바 있다.

가열속도는 분당 6~10°C로 하였고 200°C 이상부터는 3~6°C로 가열하였다. 充填溫度는 일단 기록하였더라도 다시 냉각 했을 때 기포나 固體(소금결정)가 다시 나타나는 것만을 취했을 뿐 그렇지 않은 경우는 漏失된 것으로 보고 기록에서 제외하였다. 분명히 2차로 생성된 流體包有物이라고 판단되는 石英 결정들 자르는 裂隙을 따라 발달된 것들은 기록에서 제외되었다.

### 2. 上東 鑛床 및 上東 本鑛體의 鑛物學的 累帶 分布에 대한 概述

上東 鑛床은 그 賦存位置에 따라 상반맥, 본맥, 하반맥 및 石英脈으로 分類되고 있다.

상반맥은 猫峰層과 豊村石灰岩의 경계부위로부터 豊村石灰岩下位부에 鑛化胚胎된 鑛體이며 본맥은 猫峰-豊村 경계부위로부터 약 20M 下位에 位置하는 6~7 M幅의 石灰岩夾層이 鑛화된 鑛體이고 하반맥은 본맥

\*大韓重石鑛業株式會社

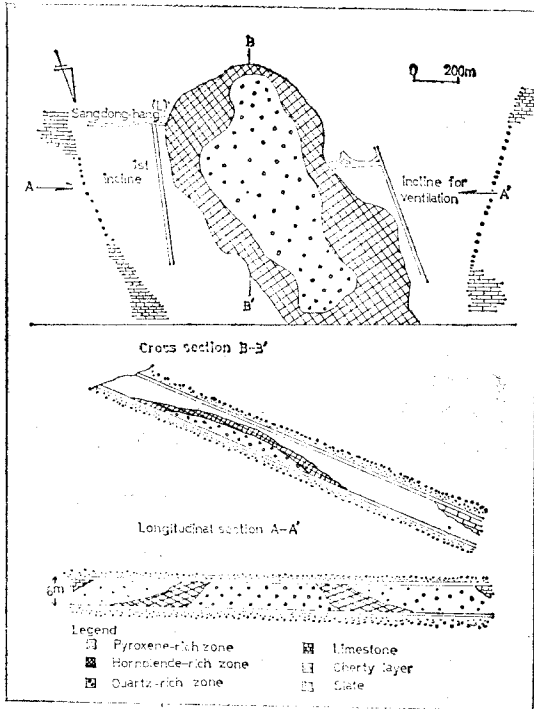


Fig. 1. Plan sections, showing zonal distributions of predominant minerals in the main ore body at Sangdong mine

下位部로부터 莊山珉岩 사이의 猫峰層에 발달된 0.5~1 M 幅의 石灰岩夾層이 交代鑛化된 細脉鑛體로 이루어져 있다.

石英脈은 上記鑛體內部와 猫峰層中에 이들의 層理面, 斷層線 또는 不規則한 方向을 따라 多樣한 幅과 延長의 규모를 가지고 수없이 많이 胚胎되어 있다.

上東本鑛體와 下盤脈은 뚜렷한 鑛物學的, 累帶分布를 보이고 있는바 이들은 主構成鑛物에 따라 中央部位의 石英雲母帶 이를 둘러싼 石英一角閃石帶 그리고 나머지 外廓部를 이루는 輝石-柎榴石帶로 區分해 볼수 있다.

이러한 累帶分布의 形成은 石灰岩이 輝石-柎榴石化하고 이들이 다시 石英一角閃石과 石英-雲母群으로 交代되어짐으로써 이루어진 것으로 前者의 輝石-柎榴石帶는 輝石-柎榴石帶의 構成鑛物이 OH 또는 H<sub>2</sub>O를 구성원으로 하는 鑛物이 전혀 없는 반면 後者의 경우는 OH, H<sub>2</sub>O를 함유한 鑛物이 主構成元이 되고 있으므로 해서 前者를 斯卡른 鑛化帶, 後者를 熱水交代 鑛化帶라고 便宜上 區分해 부르기도 한다.

灰重石의 胚胎는 中央部에 가장 多量 分布되어 있으며 外廓部로 갈수록 그 品位는 점차 減少되어 진다.

灰重石은 上記 本鑛體, 上盤脈 下盤脈과 石英에 胚胎되어 있으나 黑重石과 輝水鉛石은 石英脈에만 局限 胚胎되어 나타난다.

### 3. 流體 包有物의 形態

석영맥과 本脈中에 배태된 석영중의 流體包有物은 그 크기나 분포 및 형태에 있어 相異함을 알수 있다. 석영맥의 경우는 本脈의 경우보다 그 流體包有物의 크기가 대체로 크고 보다 다량 관찰되며 氣相包有物(gas-rich inclusion)은 석영맥이 본맥보다 많이 관찰된다.

灰重石과 燐灰石 결정중의 流體包有物은 대체로 원형이나 타원형의 비교적 단순한 형태를 보이나 石英과 螢石 결정은 둥근형태 이외의 불규칙한 형태를 갖는다.

가스가 우세한 包有物은 石英-雲母帶와 石英一角閃石帶에서는 상동본맥의 中央部位에 다량 분포하며 輝石一角閃石帶에서는 전반적으로 우세하게 분포되어 있다.

본맥이나 석영맥의 경우 모두 -3抗과 -4抗에서 채취된 시료로부터 보다높은 온도의 充填온도를 얻을 수 있었음은 기타 包有物보다 氣相包有物(gas-rich inclusion)이 많은 사실과 서로 일치하고 있다.

전 광상에 걸쳐 나타나는 包有物중 가장 우세한 것은 液相包有物(liquid-rich inclusion)이다. 包有物내의 기포는 다양한 색과 relief를 보이고 있으며 특히 높은 relief를 보이는 경우의 기포가 암회색을 보이는 때는 氣相包有物을 수반한다.

시료중 관찰되는 灰重石의 多寡는 流體包有物의 多寡와 相反관계를 갖는다. 灰重石이 비교적 큰 包有物을 가질 경우(약 0.05mm 이상) 灰重石을 둘러싼 石英 결정중에서는 流體包有物의 분포가 극히 미세하며 불투명 광물과 relief가 낮은 투명 결정이 石英, 灰重石, 燐灰石, 螢石에서 流體包有物의 daughter minerals로 관찰된다.

기포가 극히 작은 流體包有物중 많은 수는(기포의 면적이 포유물의 5%이하) 상온에서 유동성인 것을 많이 보이고 있는바 비록 기포가 극히 가열 상태에서 작아지는 경우에도 최종 사라지는 순간까지 점온점 상태로 아주 활발히 운동을 계속하므로 均質化(homogenization) 온도의 측정이 용이하였다.

액체 CO<sub>2</sub>를 보이는 三相의 포유물은 석영맥으로부터 채취된 시료에서 두차례 관찰되었을 뿐이다.

서로 다른 형태의 流體包有物을 기술해보면 다음과 같다.

가) 液相 流體包有物(Liquid-rich fluid inclusion)

대체로 0.05mm 이하의 직경을 가진 계란모양 또는

불규칙한 형태를 갖기도 하면서 대체로 1~7%의 면적이 기포에 의해 차지되고 있다. -3坑과 -4坑의 경우 다른坑에서 보다 기포의 면적이 22% 이상을 차지하는 것들이 많이 관찰된다. 이 범주에 속하는 유체포유물은 기포가 가열됨에 따라 축소되어 액화로 균질화한다. 대체로 포유물의 크기가 작을수록 높게 나타나는 경향을 보인다.

나) 氣相 流體包有物(Gas-rich fluid inclusion)

본맥(skarn 광체) 보다 석영맥에서 더 흔히 보이고 있으며 본맥의 경우는 중앙 부위와 상위 부위에서만 흔히 분포되어져 있다. 石英-雲母帶와 石英-角閃石帶의 경우보다 스카른 鐵化帶에 주로 우세하게 나타난다. 熱水鐵化帶에서 氣相包有物의 分布는 流體包有物의 多寡와 대체로 정비례 관계를 갖는다.

대체로 기포가 축소하여 액화하는 상태로 가열함에 따라 균일화되지만 기포(gas)가 팽대하여 기화 상태로 균일화되는 경우는 특히 輝石-石榴石帶에서 대체로 輝石중의 流體包有物이 氣相流體包有物로 다량 관찰되는 곳에서 관찰되고 있다.

관찰도중 일단 均質化되어 졌다가 가열함에 따라 급작히 기포가 생기는 漏失(누설) 현상이 관찰되고 있다는 사실로 보아 일부 氣相流體包有物中 600°C 까지 가열하여도 균일화하지 않는 경우가 관찰되고 있음은 일단 氣相流體包有物이 광체 生成 당시 포획되었다. 냉각도중 다시 가열되어지면서 漏失 현상에 의해 기포가 생긴 상태로 고착되어 마치 氣相流體包有物처럼 존재하는 경우도 있었음을 암시해 주고 있다.

다) 多相流體包有物(Polyphase inclusion)

-5坑 이상의 시료에서 관찰되고 있으며 대체로 3相의 포유물로 액체, 기체, 고체 중 결정 형태를 완벽히 보이는 소금(NaCl)만이 감정이 가능할 뿐 드물게 보이는 불투명 광물은 아직 감정이 되지 않고 있다. 고체형태의 경우 600°C까지 가열하여도 대부분 용해되지 않는 이방성 결정 포유물도 관찰된다.

라) 單相 流體包有物(Mono phase inclusion)

기포없이 포획된 유체 포유물이 가끔 관찰된다. 灰重石과 螢石은 共히 아주 미세하고 불규칙한 형태의 얇은 분홍 빛 색깔의 물질을 다량 포함하고 있다. 이들은 현미경 하에서 보이는 灰重石 표면의 작은 斑點으로 나타나므로 해서 螢石과 비슷한 表面特徵을 보이고 있다.

4. 本脉(스카른 鐵化帶와 熱水鐵化帶)중의 石英內 유체포유물의 充塡 溫度

(표 3)에서 보이고 있는것 처럼 充塡 온도는 심도에

표 1. 상동광산 석영맥중 석영결정내의 유체포유물 충전온도 변화

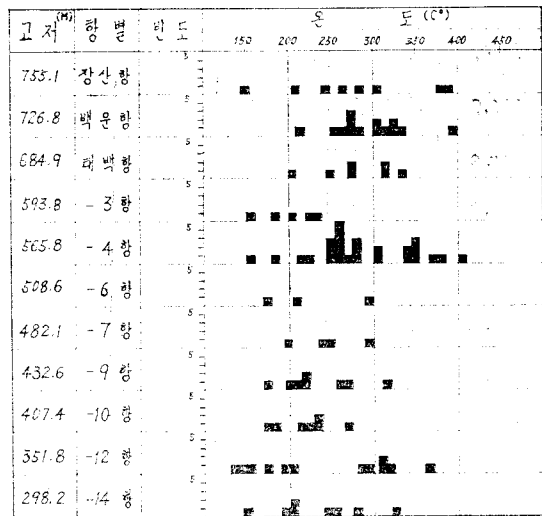
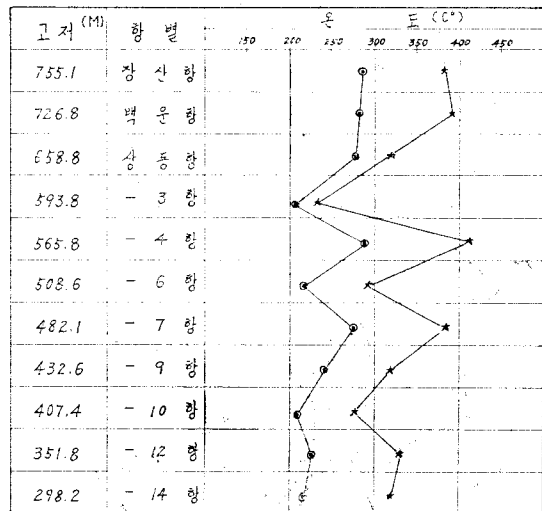


표 2. 상동광산 석영중 유체포유물 충전온도 변화



따라 변화를 보이며 본맥의 중앙에 해당된다는 부위에 보다 고온이 측정되고 있다. 전반적으로 本脉의 중앙부로부터 멀어짐에 따라 온도는 감퇴한다.

평균 充塡온도(220°C)보다 높은 온도를 연결할 경우가 고온대를 형성하는 부위는 灰重石 광화 작용의 가장 부광부를 이루는 ore shoot 방향과 일치하고 있다. 이 부광부는 본맥 광상중 壓碎면약부의 방향과 일치한다.

Fig.1에서 보이는 바와 같이 3坑과 함께 富化帶(ore shoot)방향에 분포되는 高溫帶(higher filling temperature)는 X자형을 이루고 있어 바로 이 X형을 이루는 중앙교차 부위는 灰重石의 분포가 가장 우세한 지역에 해당한다. 이 X자형의 고온 분포대는 광물학

표 3. 상동광산 스키르판체중 석영결정내의 유체포유물 충전온도 변화

| 고 지 (M) | 항 변    | 온 도 (°C) |     |     |     |
|---------|--------|----------|-----|-----|-----|
|         |        | 100      | 200 | 300 | 400 |
| 684.9   | 폐 백 항  | ■        | ■   | ■   | ■   |
| 635.8   | 하 1 항  |          | ■   | ■   | ■   |
| 617.5   | 하 2 항  |          | ■   | ■   | ■   |
| 593.8   | 하 3 항  |          | ■   | ■   | ■   |
| 482.1   | 하 7 항  | ■        | ■   | ■   | ■   |
| 351.8   | 하 12 항 | ■        | ■   | ■   | ■   |
| 298.2   | 하 14 항 | ■        | ■   | ■   | ■   |

적 누대 분포의 中央位에 해당하는 石英-雲母-灰重石帶와 유사한 형태의 분포를 이루며 -3坑으로부터 상하로 가면서 충전 온도는 평균온도 이하로 하락됨을 보이고 있어 X자형을 이루는 부위는 광화용액 (ore forming solution)의 主注入部(first attacked)에 해당한다고 가정할 수 있다.

예의적으로 고온의 온도가 분포되고 있는 동측 하위 항의 (-10坑의 1사항)는 광물학적 이상 부위로 베스비아나이트(Vesuvianite)가 灰重石과 함께 輝石-柘榴

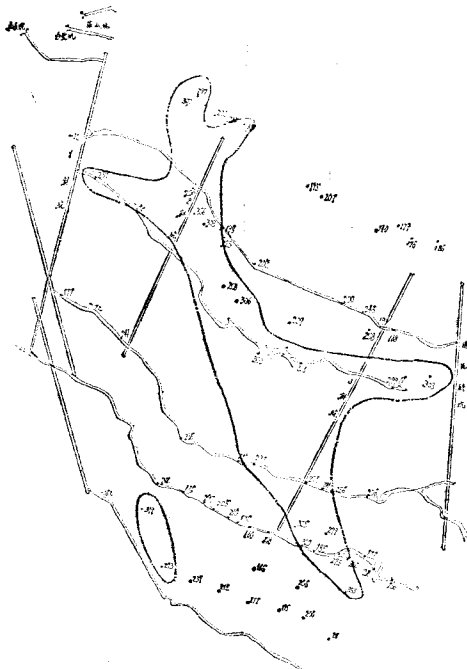


Fig. 2. 上東鑛床 本脈中 石英內 流體 包有物의 充填 溫度 分布

石帶에서 나타나고 있으므로 해서 동측하위부에서의 광화용액 통로의 지류를 가상하여 탐광에 대한 검토를 요한다.

동일한 石英결정 중에서도 위치를 달리한 포유물은 서로다른 충전온도를 보이고 있다. 흔히 석영결정의 중앙부위의 것이 결정의 가장자리의 것보다 더 높은 온도를 보이고 있다.

한 시료에서 서로 다른 石英 결정에 포획된 포유물들도 서로 다른 온도를 보이는 경우도 관찰되고 있다. 이같은 서로 다른 석영결정에서 최고 온도와 최저 온도와의 차는 X형을 이루는 범위에서 보다 크게 나타나고 있다.

즉 최고온도가 높으면 높을수록 그 차이는 커지는 것이므로 이는 석영결정이 오랜동안 계속 또는 불연속적으로 열수 용액이 공급됨으로서 정출 결정화하였음을 암시해 주고 있다.

따라서 광화용액의 주통로에 해당했던 X형의 중앙부위는 서로 다른 시대에 상이한 양의 광액이 반복되어 공급되어 점으로써 본광체의 다른 부위보다 더 상이한 온도를 갖게 되었으리라 추정할 수 있다.

5. 석영맥내 석영중의 充填溫度

(표 1)에서 보이는 것처럼 석영맥 중의 충전온도가 심도에 따라 어떤 변화를 보이고 있는지의 여부를 검토한 바 있다.

-4坑에서 液相包有物로부터 최고 온도가 측정되었으나 최고, 최저 및 평균 온도를 고려하여 그 변화를 주시할 경우 -4坑을 중심으로 일정한 변화를 보이지 않은 파상형태 (wave-like pattern)의 변화를 보이고 있다.

이 파상형의 변화는 상동광산의 석영맥의 형성 과정이 여러 다른 생성 시기에 걸쳐 형성 되었기 때문이라고 추정된다. 실제 모든 석영맥은 그 연속성이 길지 않고 斷續되고 있으나 일정한 방향성이나 구조선을 따르는 경향을 보이고 있다. 실제 굴진에 의해 확인된 연장성으로 가장 컸던 것은 -6坑과 -11坑 사이에 걸쳐 나타난 폭 0.5~1.0M, 수평연장 250M, 수직 150M 규모의 석영맥을 들수 있다.

서로 다른 조건하에서(특히 압력) 서로 다른 시간적 간격으로 Si로 포화된 열수용액이 구조선을 따라 상승 주입되어 지면서 적정 온도에서 정출되기 시작하여 공급된 양에 따라 그 연장성의 규모가 결정되어 지고 그 부존 범위가 한정되어 불연속적인 많은 석영맥을 형성 시켰음을 알수 있다.

Molybdenite를 함유한 석영맥의 발달이 하 7坑을 下

限으로 하여 그 하위에서는 molybdenite를 보이지 않고 있어 이는 온도에 의한 결과가 아닌가 주시 관찰하였으나 기타 석영맥과 하등 차이를 보이지 않고 있었다.

6. 灰重石 中 流體包有物의 充填 溫度

관찰 대상은 주로 본맥 시료에 한하였다. 특히 灰重石이 다량 분포하는 부위의 시료에서는 유체포유물의 수가 극히 희소하고 또 석영 중에서도 流體包有物이 많이 관찰되지 않는다. 灰重石중 유체 포유물은 그 크기가 직경 0.05mm 정도의 것도 있으나 대부분은 극히 작아 관찰 대상에서 제외되었다. 관찰대상의 것은 대체로 液相의 包有物中 기포의 면적이 40~50%의 것을 택하였다. 그중 얼마는 氣相 流體包有物에 해당한다.

Sigurdson(1974)이 기술한 미국 灰重石 광상에서의 유체 포유물을 4가지 형으로 구분한바 있으나 상동 광상의 경우는 형태와 온도와의 상호 관계를 찾아 볼 수 없다. 다만 온도에 따라 구분을 해본다면 4개의 群으로 나눌수 있는바. 이들온도의 범위는 190~230°C 군, 245~265°C군, 265~285°C군, 285~367°C 군으로 대별된다.

비록 제외된 숫자만의 포유물의 充填온도 측정이 scheelite에서 가능하였으나 높은 온도에 해당된 Group은 석영에서 보여준 X형의 고온대와 근사한 범위내에서 분포되고 있음을 찾아 볼수 있다.

灰重石과 석영이 동시에 관찰되는 시료에서 그충전 온도는 石英에서 보다 灰重石의 포유물이 10~100°C의 온도차를 보이고 있다.

灰重石은 유체 포유물 이외에도 보다 세립의 灰重石,

표4. 석영, 회중석, 인회석 내 유체포유물의 충전온도 비교표

角閃石, 磷灰石, 螢石, 硫砒鐵石(최초로 microprobe에 의해 감정된) 등이 포획되어 나타나기도 한다. 이외의 아주 불규칙한 형태를 이루며 엷은 분홍 빛갈의 물질들이 많이 포획되어 있어서 이들에 의해 灰重石은 박편상에서 표면에 점점이 얼룩진 상태를 보이고 있다. 이 물질은 주로 포타시움(K), 칼슘(Ca) 그리고 실리콘(Si)으로 구성되어 있다. 灰重石중의 유체포유물의 양상과 그 충전온도가 석영에서의 경우와 비교한 예를 그림으로 표시하면 (표 4)와 같다.

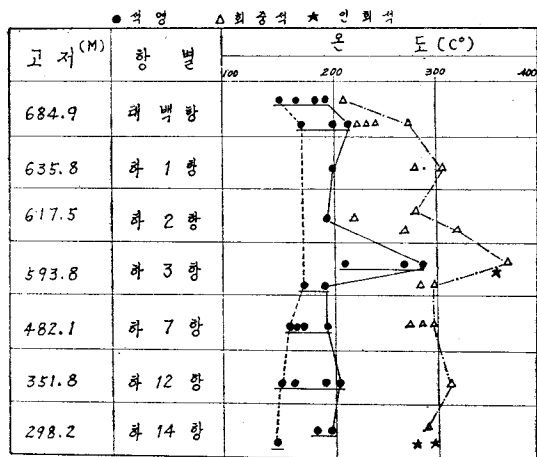
7. 기타 鑛物에서의 流體包有物의 充填 溫度

연마편의 제작 기술에 따라 유색광물의 경우에도 많은 유체포유물을 확인한바 있으나 여기에서는 石英과 灰重石, 輝石만을 주대상으로 관찰하다 우연히 관찰되는 것만을 기록 대상으로 삼았다.

대체로 螢石내의 유체포유물이 가장 낮은 充填 온도를 보이고 있으며 다음 표에서 보이는 바와 같이 동일한 시료의 경우 석영에서 보다 낮은 온도를 보인다.

石英과 螢石이 접촉된 부위에서의 그 流體包有物의 充填 溫度 對比는 다음과 같다.

| 시료 번호 | 충전 온도 C°  |             |
|-------|-----------|-------------|
|       | in Quartz | in Fluorite |
| P-2-1 | 283       | 119         |
|       | 301       | 134         |
|       | 317       | 262         |
| M-2-4 | 214       | 160         |
|       | 223       | 171         |
| J-1   | 194       | 195         |
| 0-1   | 257       | 208         |
| 4-1   | 301       | 266         |



磷灰石은 灰重石 이 갖는 것과 類似한 充填 온도를 갖는다. 이 어렵게 보여준 유체 포유물은 몇개의 경우만이 관찰 기록되었을 뿐으로 287°C로부터 345°C까지의 온도 변화를 갖는다. (예, N-13-1의 경우 291°C~307°C, 7-13에서 287°C~293°C, 103226은 345°C)

方解石의 경우 그 充填 온도가 289°C를 기록된바 있으며 黑雲母는 石英-雲母帶에서 그 유체 포유물의 充填온도가 331°C로 이와 접근한 지역의 石英-角閃石帶에서의 角閃石내 充填온도 293°C보다 높은 온도를 보인다.

이상 두 帶에서의 石英내의 포유물의 充填溫度는 前者가 293°C 後者の 경우 207°C를 보이고 있어 광물생성 온도로서의 좋은 본보기를 보이고 있다. 柘榴石의 경우 아주 드물게 유체포유물이 관찰되고 있는바 輝石

과 거의 유사한 온도를 보이고 있는데 가능한 예를 보 이면 다음과 같다.

| 試料番號   | 充 填 溫 度    |            |
|--------|------------|------------|
|        | 柘 榴 石      | 輝 石        |
| N-11-1 | 480°C      |            |
| 12-13  | 439, 442°C | 432, 456°C |
| B-4    | 387°C      | 369°C      |

8. 輝石내 流體包有物의 充填 溫度

시료채취 가능한 한도에서만 채취되었다. 본광체 중 양부위는 石英—雲母帶와 石英—角閃石帶에 의해 고대 되지 않은 심부향과 광체 가장자리 부위의 시료만이 관찰대상이 되었다. 대체로 輝石중의 포유물은 카스가 많은 氣相流體包有物이 주이고 부수적으로 液相流體包有物이 수반된다. 대체로 充填온도는 383°C부터 573°C까지의 높은 온도를 보이고 있으며 일부 包有物은 600°C까지 가열하여도 均質化하지 않는다.

평균온도 444°C를 높게 상회하는 온도의 분포(600°C 이상을 포함)는 상부향과 심부향을 연결할 경우 그 분포된 지역의 방향성은 ore shoot 방향과 거의 일치하고 있다(Fig. 3). 氣相流體包有物은 대체로 기포가 팽대하여 均質化되고 있는 것과 기포의 축소로 均質化되

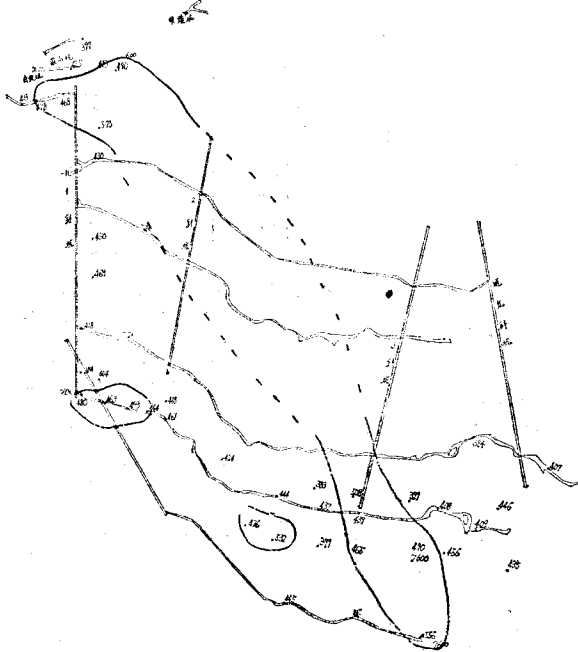


Fig. 3. 上東鑛床 本脈中 pyroxene. 內 流體包有物의 充填溫度

는 경우가 함께 관찰되는 경우도 있는데 이때의 온도는 팽창하는 경우와 서로 다른 온도를 보인다. 예)

| 試料番號   | 膨 脹   | 凝 縮   |
|--------|-------|-------|
| T-2    | 404°C | 380°C |
| 9-5    | 405°C | 418°C |
| N-29-2 | 411°C | 439°C |
| 12-23  | 456°C | 432°C |

9. 동축연장 스키른 帶에서의 充填온도 변화

본맥의 灰重石의 광화작용이 급작스레 침멸하는 대 곡 계곡으로부터 동측으로 본맥층은 石灰岩層으로 나타나 있는바 표봉층과의 경계부만이 부분적으로 스키른화 광화대가 계속되어 점차적으로 쇠퇴하는 양상을 보이면서 약 500M 東側 연장 부위에서 스키른 연 광화대에서 100M 간격으로 채취된 시료로부터 관찰된 流體包有物의 充填溫度는 동A에서 481°C, 동B에서 469°C, 동F에서 368°C로 점차 본맥 광화대로부터 멀어짐으로서 그 온도를 강하하여 skarn의 동단 지점등 I에 이르러서는 313°C까지 강하하여 充液의 흐름이 분명 동측으로 계속되어 졌음을 암시해 주고 있다.

10. 灰重石과 石英중 유체포유물의 溫度(Salinity)

가) 石英

염도에 대한 자료는 Roeder(1963)의 냉각법에 의해 얻어졌으며 일부는 포유물내에 daughter mineral인 소금의 결정(NaCl)이 분해되는 현상을 이용하여 얻어졌다.

냉각된 포유물내의 얼음이 완전 용해되는 순간의 온도를 측정하기 위해서는 충분히 포유물의 크기가 어느 정도 이상 이어야 온도 측정이 가능하였기에 제한된 수만이 측정이 가능하였다. 어떤 경우에는 냉각 현상을 보이지 않는 경우도 관찰되었다. 21개의 시료에서 관찰측정이 가능하였는바 측정된 염도는 광화용액의 염도에 있어서 약간의 불규칙성을 보이고 있다.

석영맥의 석영으로부터 냉각법에 의해 얻어진 염도는 1.4%~13.8% NaCl의 범주에 들며 본맥내의 석영으로부터 얻어진 염도는 2.3%~8.8% NaCl에 해당한다. 일언하여서 석영맥중 석영의 유체의 평균 염도는 7.5% NaCl이며 본맥내에 있는 석영의 유체 염도는 5.2% NaCl이다.

본맥중 석영의 염도 분포는 중요한 의미를 보이지 않고 있으나 대체로 염도가 높은 부위가 본맥의 중앙 부위에 해당하고 있다. 充填 온도에 따라 석영보다 무

期에 정출되었다고 추정되는 灰重石은 낮은 염도를 보이며 本脈보다 후기에 형성된 석영맥은 높은 염도를 보이고 있다.

따라서 열수용액은 상동지역을 광화할 초기 단계에서는 염도가 극히 묽은 상태였으나 점차로 연속 또는 불연속적으로 공급되는 동안 그 염도의 농도는 짙어졌을 것으로 추정할 수 있다.

유체포유물이 NaCl-H<sub>2</sub>O System에 의해 적절하게 나타내어 진다고 가정할 경우, NaCl의 농도는 수용액 중의 NaCl의 용해도(solubility)를 다른 도표(Sourirajan and Kennedy, 1962)로부터 추산될 수 있다.

관찰된 子結晶(daughter Crystal)이 그 결정 형태로 보아 NaCl 결정으로 단정할 경우 포유물내의 NaCl 결정의 분해 온도는 그 충전온도와와의 관계에 따라 열수용액이 광화작용 당시 NaCl로 포화된 상태였었다. 또 는 그렇지 않았나를 암시해 줄수 있다고 본다.

표 5 심도에 따른 석영맥내 유체포유물의 염도

| 고저 <sup>(M)</sup> | 함 별    | 충전온도 <sup>(C°)</sup> | NaCl (wt%)     |
|-------------------|--------|----------------------|----------------|
| 735.1             | 광선향    | 385                  | * 3.7          |
| 593.8             | 하 3 향  | 176<br>236           | * 9.3<br>* 10  |
| 565.8             | 하 4 향  | 298                  | * 7.8          |
| 508.6             | 하 6 향  | 217                  | * 7.6          |
| 407.4             | 하 10 향 | 238<br>272           | * 1.4<br>* 6.9 |

제한된 수의 NaCl 결정이 포유물 중에서 관찰되었지만 NaCl 결정이 완전용해되는 온도는 기포가 완전히 사라지는 온도보다 높은 경우와 낮은 경우의 두양상을 시료에 따라 보이고 있는바 예를들면 본맥의 한시료 층에서 NaCl 결정은 기포가 사라지는 온도(充填온도)가 127°C에 다다른 후에도 계속 남아 있다가 169°C에서 완전 사라졌고 또한 경우에는 NaCl 결정이 327°C에서 먼저 사라진 뒤에 기포는 343°C에 사라졌다. 이들 예는 열수 용액이 초기 공급단계에서는 NaCl로 포화하지는 않았으나 점차 냉각되면서 NaCl로 포화되어졌음을 암시해 주는것 같다.

석영맥중의 한 시료 (No. 103195)에서는 균질화온도(NaCl의 용해온도)는 充填溫度(기포가 사라진 온도)보다 약간 높은 경우(예, 균질화 온도; 250°C, 259°C, 충전온도; 250°C, 248°C)와 낮은 경우(예, 균질화 온도; 256°C, 충전온도; 261°C)를 함께 보이고 있고 또 다른 시료(No. 103196)의 경우에는 균질화 온도가 321°C로서 충전온도(222°C)보다 훨씬 높게 나타나고 있어 이러한 예는 광화용액 중에는 다양한 염도를 가졌을 것이라는 것과 본 광체를 형성하는 동안 또는 그뒤에

있어서 열수용액은 보다 높은 염도로 농축되어지기도 했었음을 잘 암시해 주고 있다.

나) 灰重石의 경우

아주 몇개의 회중석 결정에서만 관찰이 가능하였다.

한 시료(No. 103136)에서 회중석중 유체포유물의 염도는 석영에서 보이는 것과 거의 같은 값을 보인다. (예, shceelite -2.5°C=4.4% NaCl, quartz -2.7°C=4.7% NaCl) 한편 다른 시료에서는 scheelite 에서의 염도는 quartz에서보다 낮은 값을 보인다. (예, 灰重石 -2°C=3.6% NaCl, 石英 -4°C=6.7% NaCl)

灰重石에 밀접히 수반되고 있는 磷灰石에서 보이는 유체포유물은 灰重石과 거의같은 염도를 나타내 보인다(5.1% NaCl). 대체로 灰重石중 유체 포유물의 염도는 1.9%에서 4.4% NaCl까지 나타내고 있다.

이상의 결과로 미루어 초기단계의 열수광화 작용시 灰重石을 형성하게한 광화용액의 염도는 아주 낮았음이 분명하다. 이는 최초열수용액이 super-critical 또는 critical에 가까웠을 것임을 암시 해주며 일련의 압력 보정을 위한 정보를 제시해 주고 있다.

표 6 심도에 따른 본광체내 유체포유물의 염도

| 고저 <sup>(M)</sup> | 함 별    | 충전온도 <sup>(C°)</sup>     | NaCl (wt%)                       |
|-------------------|--------|--------------------------|----------------------------------|
| 684.9             | 괘백향    | 220<br>244<br>297        | * 2.3<br>* 3.4<br>* 5            |
| 635.8             | 하 1 향  | 213<br>243               | * 7.2<br>* 8.2                   |
| 593.8             | 하 3 향  | 303                      | * 5.2                            |
| 565.8             | 하 4 향  | 198<br>279<br>313<br>368 | * 6.4<br>* 4.7<br>* 3.7<br>* 4.4 |
| 482.1             | 하 7 향  | 238<br>299               | * 3.7<br>* 4.9                   |
| 278.2             | 하 14 향 | 211                      | * 8.8                            |

11. 溫度 補正

充填온도로부터 石英의 정출온도를 얻기 위해서는 압력보정을 해줄 필요가 있다. 상동지역의 광화작용 시기는 8,100만년 내지 8,400만년 사이로 연구보고된바 있다(Clark, 1977). 따라서 함백향사라고 불리우는 지각변동 이후에 상동의 tungsten 광화작용은 일어 났다고 보면 상동광산 인접부의 백운산 향사에서 보이는 지질양상은 광화작용이 일어날 당시에는 적어도 Triassic 퇴적암층이 퇴적되어 졌으리라 추정케 해주고 있다. 그러므로 현재 상동광산 상위부에 덮여 있었을 지층의 층후는 약 2.5km 이상으로 광산부근 지질 단면도로부터 추산해 볼수 있다.

1.5km~2 km의 靜岩壓(lithostatic pressure)을 광화

당시에 있었을 것으로 가정할 경우 최소한 500 bars를 가산할 수 있다. 광화용액이 靜水壓(hydrostatic pressure)을 받았다고 볼때는(Hass, 1970의 포유물의 halite의 용해온도에 의하면 200°C에서 30wt% NaCl의 용액에서  $e=1.1g/cm^3$ ) 상동지역에서의 가산된 지층의 심도의 경우 300 bars의 압력을 추정할 수 있다.

充填온도와 물과 수성용액(aqueous solutions)의 균질화 온도와의 관계를 보이는 Lemmlen & Klevtsov의 diagram 위에 올려놓고 본다면 壓力은 350°C와 450°C 사이의 NaCl-H<sub>2</sub>O system에서 공존하는 gases와 liquids의 성분을 보이는 Sourirajan과 Kennedy의 diagram을 이용해서 critical temperature로부터 추산될 수 있다.

그러나 이미 언급된것 처럼 염도는 불규칙한 상대였음을 보이고 있으므로 Sourirajan과 Kennedy의 diagram은 적절하게 이용되지 않았고 다만 critical temperature만이 유체포유물이 포획될 때의 압력을 얻기 위해 고려되었다.

液相流體包有物이 300°C에서 均質化될때 그 液相流體包有物의 가까이에 있는 氣相流體包有物이 385°C에서 critical temperature 임을 보이고 있다. (예, No. 1031888→380°C, No. 103176→385°C, No. 103194→405°C) 380°C~405°C 범주의 critical temperature로부터 압력은 230 bars에서 290 bars까지 추정될 수 있다. 230 bars는 광화작용 당시의 가장 최소압력에 해당한다.

Gas-rich inclusion과 liquid-rich inclusions는 흔히 동일한 석영결정내에 존재하면서 서로 다른 充填 온도를 보인다. 그러므로 이러한 사실로 보아 그들이 서로 다른 시간 또는 다른 압력과 염도의 조건하에서 포획되어 졌다고 가정할 수 있다. 이상의 자료에 의하면 상동지역에서 현 광체의 鑛化當時의 지층심도는 1.5km와 2 km 사이에 놓여졌을 것으로 추리된다.

유체 포유물의 충전온도에 대한 압력보정은 염도에 따라 변화될 수 있다. 309°C에서 0~30% NaCl이고, 500~230 bars의 범주에서 Lemmlen과 Klevtsov(1961)에 의한 보정치는 다음 표와 같다.

※상동 회중석 광상에서 상이한 압력과 온도에 의해 포획된 灰重石內 流體 包有物의 充填溫度에 대한 가능한 보정 범위

| wt% NaCl | 230 bars | 300 bars | 500 bars |
|----------|----------|----------|----------|
| 0        | 18°      | 24°      | 37°      |
| 15       | 20°      | 25°      | 43°      |
| 30       | 21°      | 30°      | 44°      |

압력 및 염도에 따른 보정치는 18°~44°이며 이 조건하에서 전체적인 평균 보정치는 29°C가 된다. 주류

를 이룬 scheelite의 정출 온도는 상동의 경우 311°C±15°C이다.

Takenouch(1971)와 Kennedy & Takenouch(1964)가 내놓은 diagram에 의해서도 압력은 추정될 수 있다. 관찰된 수가 너무 적어 그 신빙성이 문제이긴 하지만 약 13.5%의 CO<sub>2</sub>가 압력 500bars에서 광화작용중 작용되었다고 할 수 있다. (예, 시료 103195의 liquid CO<sub>2</sub>에서 gas 체적/포유물체적=0.64 : 기포의 체적/포유물체적=0.08 liquid 체적/포유물체적=0.28)

12. Discussion

本 鑛體내 石英중의 流體包有物의 充填 온도는 灰重石광화작용중의 온도조건을 잘 나타내고 있다. 석영중 평균온도 보다 높은 充填온도를 갖는 포유물의 분포는 본 광체에서 灰重石의 高品位帶와 일치하고 있다.

全 鑛床을 통해 灰重石이 가장 많이 분포된 지역은 石英의 유체 포유물이 보다높은 充填 온도의 분포를 보이는 X형을 이루는 부위가 되고 있어 바로 이 X형은 광체를 형성케한 열수용액의 통로가 되었음을 가르켜 주고 있다(그림 2 참조).

스카른맥에서 輝石중의 유체포유물은 이미 언급된 바와 같이 열수교대 작용에 의해 형성된 석영중 유체포유물 보다 훨씬 높은 온도를 갖는다.

氣相流體包有物의 우세, 높은 充填온도(평균 440°C), gas 상으로 균질화하는 양상등은 바로 이 스카른 광체가 기성시대에 형성되어 졌음을 말해주고 있다. 현재 까지 알려진 지질학적 현상으로 보아 이 스카른 광체는 점촉교대 변성작용에 의해 모봉층내의 석회암 협층이 교대되어 이루어졌음이 분명하므로 상동광상 하부 어느 위치에서 장차 잠두 Pluton이 발전되리라 믿는다.

上東과 유사한 Australia의 King Island Scheelite 광산에서 얻어진 유체 포유물의 충전온도 연구에 의하면 (Kwak 1977 그림 4) 火成岩體로부터 거리가 멀어짐에

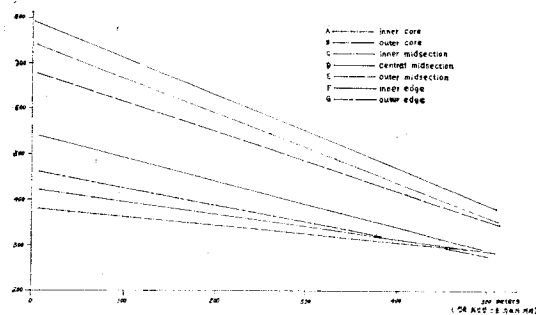


Fig. 4. 호주 킹아일랜드 중석광상의 Garnet 결정중 유체포유물의 온도 변화



따라 점차 그 온도가 저하되는 사실을 보여주고 있어 上東의 경우에도 Pluton과 輝石내의 充填온도와의 관계를 일정한 규칙성을 갖을 수 있다고 가정할 경우 그의 diagram에 의한다면 최소한 350M 이상은 거리를 두고 Pluton의 존재를 생각해야만 될 것이다.

Kwak의 모델을 이용해서 수평으로 이동한 열수용액의 온도와 거리 관계를 고려하여 상동광상에 적용시켜 볼 경우 상동에는 선캠브리언기에 생성된 내덕 및 각화花崗岩이 노출되어 있을 뿐이므로 상동의 경우는 수평 방향으로 이동된 열수 용액이 아닌 방향을 고려해 볼 필요성을 보여 주고 있다.

본광체 광물공생군의 누대분포가 동심원상을 이루고 있다는 점에 착안하여 金과文(1972)은 광화용액의 營力이 본맥층준에 수직하는 방향으로부터 작용되었을 것이라고 가정한다.

이 가정에 추가하여 금번 실시된 充填온도의 분포상태에서 보여준 고온대와 灰重石고품위대의 일치현상은 Cathles(1977)의 실험모델에 적용하여 상동광상의 생성의 일면을 살펴볼수 있다. 그의 모델에서는 Pluton이 관입된 시기로부터 공급되어진 전유체(fluid)의 순환량을 잘 보이고 있다.

즉, 유체의 전량을 integrated mass flux (kg/cm<sup>3</sup>)로 나타낼 경우 열원(heat source)으로부터의 거리와 관계된 특정한 지역에 광체가 국한 부존할 가능성을 잘 설명해 보이고 있다(Fig. 5).

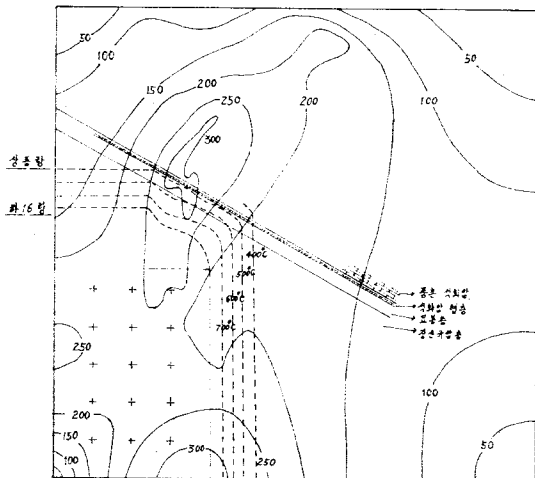


Fig. 5. Cathles diagram을 이용한 상동지역에서의 광체 형성 보식도

투수성 0.25 millidarcies(md)를 조건으로 할 경우 광대한 Pluton에 의해서 최대 유체가 유통되는 지역이 관

입된 Pluton의 밖에 생기게 된다. 이 최대 유체 유통 지역은 유체와 화학 반응을 쉽게 일으킬수 있는 특수 암층에 광화작용을 일으킬수 있는 가장 이상적인 지역으로 볼수있기 때문에 上東鑛床의 경우 표봉층내 석회암 협층과 풍흔 석회암의 하위부에 광체를 형성하게 한 지역과 공간적인 일치를 시켜볼수 있어 上東鑛床의 규모가 일정한 규모를 갖게 된 이유를 살펴 볼수 있으며 또이를 근거로 潛頭해 있는 Pluton의 위치를 추정해 볼수도 있는 것이다.

灰重石이 우세한 X형의 본광체의 石英—雲母—灰重石帶는 Cathles의 모형도에서 cm<sup>3</sup>당 300kg의 열수가 유통된 지역에 해당된다.

스카른의 충전온도가 570°C~580°C까지 고온을 보이고 일부는 600°C 이상을 보이며 평균 440°C의 온도를 보이고 있어 Cathles의 실험 모형도의 관계를 따를 경우 등온선이 Pluton으로부터 모든 방향으로 규칙성 있게 前進하면서 온도는 하강하고 있으므로 上東本鑛體스카른중 充填온도가 제시하는 온도 분포는 Pluton의 형태가 Cathles의 모델로 가정해 본다면 그 형태가 좀 평이하지 않고 극부적으로 돌출해 있는 상태를 가정하게 해 주기도 한다.

이 모델로부터 추정되는 본광체로부터의 Pluton의 거리는 약 1km까지도 추정이 가능하나 좀더 상세한 스카른내의 充填온도의 변화가 조사 비교되어야 되리라 본다.

石英과 灰重石을 비교해서 볼때 유체포유물의 온도가 높게 나타나고 있는 사실로 보아도 灰重石과 石英사이의 생성관계를 암시해 주고 있다.

스카른 鑛化帶에서 현재의 灰重石 富化帶에 해당하는 각력위약부를 통과해간 광화용액은 輝石, 柘榴石 등을 교대하면서 灰重石을 형성했을 것이다. 초기에 정출된 灰重石은 주로 적은 입자를 이루었으며 따라서 대체로 石英결정은 비교적 큰 scheelite들과 함께 작은 scheelite 결정을 포획하며 정출되었을 것으로 본다.

充填온도의 변화와 포유물의 종류, 氣相 또는 液相(gas or liquid rich)과는 일련의 관계를 갖는바 氣相 流體包有物과 高溫性 充填온도의 流體包有物은 함께 생성된 本鑛體 中央部位의 石英中에 나타나 X형에 유사한 분포를 보이고 있다.

상동향내 平斷面圖위에 石英中 氣相 流體包有物의 분포와 그 充填온도를 기록해 보면 분명히 스카른중에 X형태를 이룬 壓碎 및 構造帶를 따라 들어온 광화용액이 上下, 左右로 점차 침투 확산하면서 交代鑛化作用과 함께 점차적으로 전진해감에 따라 그 온도는 점차 하락했음을 보여주고 있다. (Fig. 1과 2 참조)

13. CO<sub>2</sub> 가스의 함량

CO<sub>2</sub> 가스 측정기를 이용하여 광물의 누태분포에 따른 CO<sub>2</sub> 가스의 함량을 대표적 시료를 이용하여 실시한 결과는 아래와 같다.

| 시 료 내 용      | CO <sub>2</sub> % | 비 고   |
|--------------|-------------------|-------|
| 石英—雲母帶의 石英   | 1.184%            | 下 3 坑 |
| 石英—角閃石帶의 石英  | 0.954%            | "     |
| 輝石—柘榴石帶의 輝石  | 1.513%            | 下 6 坑 |
| 輝石—柘榴石帶의 柘榴石 | 1.152%            | "     |
| 石英—雲母帶의 灰重石  | 0.658%            | 下 3 坑 |
| 石英—角閃石帶의 灰重石 | 0.392%            | "     |
| 石英—角閃石帶의 角閃石 | 0.148%            | "     |

이상의 결과로 보아 많은 유체 포유물중의 氣相流體包有物은 CO<sub>2</sub> 가스로 되어 있음을 알수 있다. CO<sub>2</sub> 가스의 함량은 유체 포유물에서 氣相 流體包有物을 가장 많이 보이는 輝石—柘榴石帶에서 가장 많은 양을 보여 주고 있고 후기 熱水礦化作用에 의해 형성되었다고 보

는 石英—雲母帶와 石英—角閃石帶를 비교해 볼 경우도 가스相 包有物을 많이 보인 石英—雲母帶에서 보다 많은 CO<sub>2</sub> 가스가 검출되므로서 流體包有物의 充填은도에서 보이는 결과와 일치하고 있다.

바로 이 결과는 스카른을 형성한 시기로부터 石英—雲母를 형성, 그리고 石英—角閃石帶를 형성한 순서로 CO<sub>2</sub> 가스의 함량이 점차 감소하고 있음은 광화시기중 초기에는 높은 CO<sub>2</sub> 가스의 환경으로부터 점차 CO<sub>2</sub> 가스는 감소(즉 압력의 감퇴)하는 환경으로 변화하였음을 입증해 주고 있다.

謝辭: 본 보고서는 Australia의 Tasmania 大學에서 碩士過程履修中 博士過程 전환시험을 위한 研究 論題로 제출된바 있는 上東鐵床의 流體包有物 및 地化學的 研究보고서中 한 chapter가 번역 소개된 것으로 상동광업소 조사과 이창우, 김창호 및 제동료들의 협조에 의해 기고할 수 있게 됨을 크게 감사드립니다.

## References

- Cathels, L.M., 1977, An analysis of the cooling of intrusives by groundwater convection which includes boiling: *Econ. Geol.*, v. 72, no. 5.
- Clark, A.H., 1977, Age dating in Sangdong ore and rocks. Personal letter.
- Kwak, T.A.P., 1977, The measurement of the thermal history around a cooling conditions of formation of the King Island scheelites, King Island, Tasmania, Australia: Personal communication.
- Lammlejn, G.G., Klevtsov, 1961, Relation among the principal thermodynamic parameters in a part of the system H<sub>2</sub>O-NaCl: *Geochemistry* no. 2.
- Moön, K.J., Kim, T.S., 1972, Discussion on the origin of the Sangdong tungsten mine based on its mineralogical assemblage: *J. Korea Inst. Mining Geol.* v. 5, no. 3.
- Naumov, V.B., Ivanova, G.F., 1971, The pressure and temperature conditions in formation of wolframite deposits: *Geokhimiya* (translated) no. 6.
- Park, H.I., Choi, S.W., 1974, A study on the fluid inclusion in the minerals from Daehwa tungsten-molybdenum deposits: *J. Korea Inst. Mining Geol.* v. 7, no. 2.
- Raymahashy and Holland, 1968, Composition of aqueous solutions in equilibrium with sulfides and oxides of iron at 350°C: *Science*, v. 162, p. 895-896.
- Roedder, E., 1962, Studies of fluid inclusion; Low temperature application of a dual purpose freezing and heating stage: *Econ. Geol.*, v. 57, p. 1045-1061.
- Roedder, E., 1967, Fluid inclusions as samples of ore fluids: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, edited by Barnes.
- Sigurdson, 1974, Mineralogical paragenesis and fluid inclusion thermometry at four western U.S. tungsten deposits: Univ. of California, Riverside. PhD thesis.
- Sourirajan, S., G.C. Kennedy, 1962, The system H<sub>2</sub>O-NaCl at elevated temperatures and pressures: *Am. J. Sci.*, 260, p. 115-141.
- Takenouchi, S., G.C. Kennedy, 1964, The binary system H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> at high temperatures and pressures: *Am. J. Sci.*, 262, p. 1055-1074.
- Takenouchi, S., 1971, Study of CO<sub>2</sub>-bearing fluid inclusions by means of the freezingstage microscope: *Japanese Mining Geol.* v. 21, p. 286-300.