

# 流體包有物에 의한 地質溫度測定

尹 碩 奎

## Fluid Inclusion Geothermometry

Yun, Suc Kew

### <目 次>

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. 序 言                        | 4-3. 유리質包有物과 水溶液包有物           |
| 2. 單相包有物과 多相包有物               | 4-4. 二酸化炭素의 二相包有物과 水溶液의 二相包有物 |
| 3. 初生(一次 및 假二次)包有物과 後生(二次)包有物 | 4-5. 不混合液의 包有物                |
| 3-1. 一次包有物                    | 5. 測定器具와 裝置                   |
| 3-2. 假二次包有物                   | 6. 測定の 實際                     |
| 3-3. 二次包有物                    | 6-1. 試片(薄片)準備                 |
| 4. 包有物의 識別과 成因                | 6-2. 豫備觀測                     |
| 4-1. 包有物의 產狀                  | 6-3. 加熱試驗과 均一化溫度的 測定          |
| 4-2. 多溫性 鑛物                   |                               |

### 1. 序 言

鑛物內에 捕獲된 液體나 氣體의 包有物(Inclusion)이 該鑛物 生成當時의 母液일 경우 이 包有物은 千萬多幸히도 鑛化母液의 “샘플”이 될 수 있다는 點이 注目되어 包有物에 關한 研究가 始作된 것은 決코 最近의 일은 아니어서 일찌기 1858年 벌써 Sorby(1)는 包有物에서 鑛物이나 岩石의 起源을 찾아보려는 着想을 發表한바 있었던 것이다.

그後 1933年 Newhouse(2)는 Mississippi Valley의 鉛·亞鉛鑛床의 研究에 있어서 液體包有物에 依한 鑛床의 生成溫度測定을 하었는데 이를 嚆矢로 하여 北米에서는 Wisconsin 大學을 中心으로 螢石, 岩鹽, 石英, 綠柱石等의 生成溫度測定이 盛行되었고 歐洲에서는 佛國의 Deicha(3), 獨逸의 Correns(4)等의 研究가 눈에 뜨인다.

한편 캐나다에서는 Toronto 大學을 中心으로 Decrepitation 法에 依한 地質溫度測定이 開拓되었고 第二次 大戰後 蘇聯에서는 Xermakov 를 中心으로 한 一連의 研究結果가 發表되었으(5),

日本에 있어서는 東京大學의 今井秀喜(6), 東京教育大學의 宮澤俊彌(7)等의 研究를 들수 있으며, 特히 神岡鑛山等에서는 Decrepitation 法을 探鑛에 應用하고 있다(8).

最近 이 部門의 研究方向은 溫度뿐만아니라 包有物의 化學成分을 分析하기 始作하였고, 溫度測定에 있어서는 壓力變化와 關聯시켜서 物理化學的으로 다루려는 이른바 Geothermobarometry(9)라는 分野를 指向하고 있으며, 鑛脈의 下部 連續性 推定論(10)에 地質溫度測定을 應用할수 있을 뿐만 아니라 潛頭鑛體의 探鑛에 까지도 이를 適用하려는 動向을 보여주고 있다.

流體包有物에 依한 地質溫度測定論은 오늘날 鑛床學의 實驗的 研究分野에서 새로운 境地를 開拓하고 있으며 地史學에 있어서의 “化石”에 匹敵하리만한 魅力을 갖이고 大象科學(11)에 까지 어필하고 있는 것이다.

이러한 情勢에 비추어 筆者는 우리나라의 鑛床學 研究分野에서 于先 注力해야 할 課題의 하나가 流體包有物에 對한 研究가 아닐가 生覺하여 本稿에서는 이分野에 觀心을 갖는 讀者들을 爲

하여 基礎的인 몇가지 問題들을 다루어 볼가 한다.

## 2. 單相包有物과 多相包有物

偏光顯微鏡下에서 岩石薄片을 高倍率로 觀察할때, 우리는 흔히 石英, 長石, 雲母等, 造岩鑛物의 結晶內에 微細한 Zircon, Rutile 等 鑑定키 어려운 鑛物粒이 包有되어 있는 것을 보게된다. 이것이 鑛物學上의 所謂 “包有物”인데 包有物에는 上記한 바와 같은 固體 뿐만 아니라 液體나 氣體같은 流體인 경우도 있다. 勿論 크기는 數 mm~mm<sup>-1</sup> 程度로서 적어도 100× 以上の 倍率下에서야 비로서 觀察이 可能한 경우가 많다.

流體包有物에는 液體單一相 또는 氣體單一相으로 된 것도 있지만 液相과 氣相이 同一包有物內에 共存하는 경우가 많다.

液相과 氣相이 共存하는 것은 假令 鑛床이 熱水溶液內에서 晶出될 때 어떤 原因에 依하여 周圍의 溶液이 結晶內에 捕獲되어 密封된 狀態로 保存된채 結晶의 成長이 끝난것인데 그後 溫度의 低下로 차츰 密封된 液體의 體積이 收縮되었고 收縮한 만큼 空虛가 生길것이나 이 空虛는 眞空狀態를 계속하지는 않을 것이고, 溶液中의 溶媒(水溶液의 경우는 물)가 蒸發한 氣(水溶液의 경우는 水蒸氣)로 채워질 것이다.

이와 같이 包有物은 二相으로 分離되어 있는 경우가 많으나 溶液이 捕獲된 以後에 自體內에서 沈澱晶出된 微細한 鑛床(Captive mineral)이

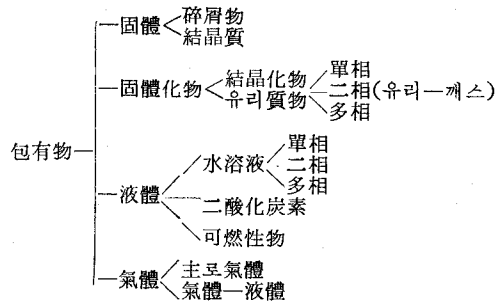


사진 1. 多相包有物  
a. 水溶液  
b. 氣體  
c. 液體二酸化炭素  
d, e. Captive minerals

共存하는 일도 있다.

사진 1.에서 엿볼수 있는 바와 같이 1個의 包有物內에 水溶液(a)과 液體二酸化炭素(c)가 分離되어 있어 液體가 2相을 이루고 있는가 하면, 液體二酸化炭素(c)內에는 氣의 氣泡(b)가 分離되어 있고 또 따로 水溶液內에는 固體結晶(d, e)이 包有되어 있다.

包有物에는 固體 液體 또는 氣體中의 그 어느 單一相으로만 된 單相包有物과 固體와 液體, 液體와 氣體, 氣體와 固體, 液體와 液體, 液體와 氣體와 固體等 二相 또는 三相 即 多相包有物로 二大分된다. 包有物을 成分과 狀態에 따라서 分類하면 다음과 같다.



## 3. 初生(一次 및 假二次)包有物과 後生(二次)包有物

流體包有物은 그를 包有하는 結晶이 本來 母液內에서 晶出成長할때 그 母液의 一部가 結晶內에 捕獲되어 嚴密히 密封된 狀態로 現在까지 保存되어 있다면 이는 훌륭한 “化石水”라고도 할수 있으며 鑛物生成 當時의 物理化學的 環境을 말해줄수 있는 貴重한 證言者의 役割을 할수 있을 것이다.

그러나 여기서 留意해야할 點은 모든 包有物이 다 母結晶의 成長 初期에 捕獲된것, 다시 말해서 初生(Syngenetic)包有物은 아니며 長久한 地史過程을 겪는 途中(特히 變成作用等) 어떤 力學的 原因으로 鑛床內에 機械的인 裂隙等이 生기고, 外部로 부터 液體나 氣體가 浸入되고 그後의 附着으로 因하여 鑛床內에 封入된, 다시 말해서 後生(Epigenetic)包有物도 있다는 點이다. 이 後生包有物은 그 鑛物이 晶出成長한 當時의 母液의 成分이나 物理化學的 條件과는 相違할지

도 모르는 環境下에서 導入되었을 것이므로 後生包有物은 鑛物의 生成溫度 測定이나 母液의 化學成分 研究의 샘플로 될 수는 없는 것이다. 單至 最近 變成岩 研究者中(12)에는 이 後生(二次)包有物에 依하여 變成過程에 있어서의 化學的 環境이나 熱水溶液의 役割等을 追求하려는 傾向도 있음은 興味있는 着想이라 하겠다.

包有物의 成因에 對하여 初生起源과 後生起源의 概念이 確立되지 못했던 包有物 研究史上의 初期, 花崗岩의 成因에 關한 水成論者와 火成論者間의 論爭에 있어서 花崗岩中の 石英에 包含된 液體包有物을 갖이고 花糜岩이 水成起源인 證據라고 水成論者들이 主張한 일이 있는데 그 後 花崗岩中の 石英에 包有된 液體包有物이 花崗岩 生成後 動力作用에 緣由된 石英內의 裂隙을 따라 流入되고 이것이 附着된 後生包有物이었다는 事實이 밝혀짐으로서 問題는 제대로 落着되었다는 우수운 에피소드도 있듯이 液體包有物에 依한 鑛物이나 鑛床의 生成溫度 測定은 包有物에 對한 成因의 鑑識과 正當한 解釋이 先行되어야 하는 것이다.

앞서 말한 바와 같이 液體包有物은 母結晶과 同時性인 初生包有物과 母結晶보다 後期性인 後生包有物로 區別되어야 하는데, 初生包有物에는 다시 一次包有物과 假二次包有物이 있고 後生包有物은 假二次包有物이라고도 한다.

### 3-1. 一次包有物

一次包有物이 捕獲되는 機構는 結晶의 骸晶의 成長(Skeletal growth)에 緣由하는 경우와 多核性成長(Multinucleated growth)에 起因하는 경우의 두가지 原因을 들 수 있다. (Ansheles(1933)는 結晶의 成長은 稜에서 始作되어 面의 中心方向으로 進行되면서 面全體를 덮게 되는데 이때에 溶液의 局部的 缺乏이나 結晶面上에 不純物의 集中等이 原因이 되어 結晶面의 中央部가 成長이 뒤떨어지게 됨을 指摘하였다. 이러한 環境下에서 成長이 계속되면 稜에 沿한 成長帶는 두드러지게 되고 稜과 稜의 사이 即 面의 中央部에는 도랑과 같은 凹部가 생기게 될 것이다. 骸晶은 이렇 式으로 또는 좀더 複雜한 飢餓成長(Starva-

tion growth)의 結果 이루어지는 것인데 成長途中 正常環境으로 回復되어 稜에 沿한 成長帶가 面의 中央으로 進行되어 드디어 凹部를 덮어 버리면 鑛液의 一部가 凹部內에 捕獲되어 包有物로 封入되는 것이다.

Shubnikov는 K-明礬의 人工成長 實驗에 依하여 (111)面은 正常成長을 하나 (100)面은 骸晶性成長을 하므로 結晶의 어떤 部分에는 多數의 包有物이 包含되나, 어떤 部分에는 全然 包含되지 않음을 指摘하였다.

帶狀結晶(Zoned crystal)에 있어서 急速히 成長한 汚染帶에는 包有物이 많으나 緩漫히 正常成長을 한 透明帶에는 包有物이 적음을 볼수 있다.

或種의 石英 特히 黃玉, 綠柱石等에서 板狀包有物을 볼수 있는데, Vadilo(1950)의 研究에 依하면 이는 結晶의 稜에 沿하여 다이야 바퀴 자국 같은 凹部가 생기고, 그 뒤를 急速히 成長하는 面이 덮어 싸우므로서 이루어지는 것인데, 이때에 稜에 沿하여 凹部가 생기는 것은 두 갈래의 濃縮된 흐름이 서로 稜을 넘어서 相逢할때, 이 部分의 成長이 停滯되어 稜이 純化되고, 다음 正常的인 面으로 被覆되므로서 稜에 平行한 延長된 包有物 (Elongated inclusion)이 이루어진다고 했다. 結晶의 稜에 平行한 一連의 延長된 包有物은 이러한 過程이 反復된 結果라고 하겠다. 그리고 結晶의 尖端에 따라서 成長經路에 沿하여 配列되는 包有物의 成因도 大概 이와 類似한 것으로 보고 있다.

多核性成長에 依한 包有物은 結晶成長이 一時中斷되었다가 다시 再開될 때 機械的, 化學的 또는 物理的(Annealing)으로 損傷된 結晶의 一部가 再生하는 사이에 이루어진다. 結晶面上에 一團의 結晶核이 生成되고, 成長하는 小結晶核頭 사이의 凹部에 있는 小量의 母液은 結局 一次包有物로서 捕獲될 것이다.

### 3-2. 假二次包有物

包有物에는 一次的 및 二次의 特性을 同時에 나타내는 것이 있다. 이러한것을 假二次包有物(Pseudo-Secondary inclusion)이라 하며 이는 普通 結晶의 內部를 가로지나가는 裂隙에 包含되는

包有物이다. 이때에 裂隙은 結晶의 外部까지 貫通되어 있지 않고 結晶內에서 中斷되어 있는데 이는 結晶成長 途中에 생긴 裂隙에 鑛液이 流入되고 계속하여 正常成長帶로 돌려쌓인 結果이며, 裂隙 生成의 原因으로는 結晶成長過程에 自體內에서 일어나는 内部的 應力(張力) 또는 機械的 外力(地殼變動等)을 들 수 있다.

結晶內部를 가로지르되 外部까지 貫通되지 않은 裂隙에 따라 包含된 假二次包有物은 처음 N. P. Xermakov 等(5)에 의하여 螢石結晶에서 發見되었는데 이 경우 包有物은 結晶의 中心部에 對하여는 二次의이나 外郭帶에 對하여는 一次의이어서 이 包有物에 依한 均一化溫度는 中心部の 生成溫度 보다는 낮을 것이나 外郭帶의 그것 보다는 높거나 對等할 것이다.

假二次包有物이 形成되는 機構로서는

a) 한 結晶成長過程에서 相違한 成長帶에 생긴 小裂隙에 包有되는 경우

b) 成長途上에 있는 結晶의 不平坦한面 또는 溶蝕된 面이 再生할 때의 既存面과 새로 생겨나는 面과의 사이에 包有되는 경우.

c) 結晶成長面上으로 부터 異物質 粒子的 退却路에 따라 包有되는 경우 등을 들 수 있으며 이 밖에 結晶이 晶簇狀으로 成長할 때의 隣接面들 사이의 接合部에 생기는 所謂 誘導性包有物(Inductional inclusion)도 이 種類에 包含시키는 사람이 있다(13).

假二次包有物의 根本的 特徵은 結晶의 中心部에 對하여는 一次의이나 外郭部에 對하여는 先次的 또는 一次의이라는 二重性이라 하겠으나, 結晶 全體로 볼 때에는 大體로 同生的이라고 할 수 있으며 準一次包有物이라고 함이 더욱 妥當할 것 같다.

### 3-3. 二次包有物

二次包有物은 前述한 一次~假二次包有物과는 反對로 하나의 鑛物個體에 對하여 全적으로 後生的起源에 屬하는 것이다.

이는 鑛物個體 全體를 貫通하는 裂隙內에 配列하여 마치 모든 岩層들을 짜르고 지나가는 岩脈과도 같이 結晶의 모든 成長帶나 雙晶面, 再

生面, 誘導面, 假二次包有物이 配列된 鑛物內裂隙(Intra-mineral fissure) 등의 既存方向을 짜르고 지나가는 方向으로 配列되는 것이 特徵이다. 또 그들의 配列方向은 서로 交叉하며 他를 切斷하여 配列되는 경우도 있다.

二次包有物은 그들 서로의 사이에서나 母結晶의 成長過程과의 사이에 아무런 關聯性이 없으며, 鑛物個體의 外郭에 까지 빠치는 裂隙은 鑛物生成以後나 變質作用의 末期에 外部로부터 誘着된 것이다.

鑛物個體에 裂隙이 생기는 原因은 大部分 造構的(Tectonic)應力에 依한 機械的인 것이지만 同質多像의 變移에 依한 體積의 急激한 減少에 起因하는 경우도 있다.

包有物에 對한 研究과 그 結果의 適用은 그들의 成因과 母結晶의 成長過程에 있어서의 捕獲時期等에 對하여 鮮명한 理解가 있어야 한다는 點을 附言하여 둔다.

## 4. 包有物의 鑑識과 成因

顯微鏡下에서 包有物을 發見하고 地質溫度測定을 하기 爲하여는 測定原理上의 理論問題, 測定裝置와 操作法等을 包含한 여러가지 克服해야 할 課題가 가로놓여 있으며 특히 研究者로서 먼저 精通해워야 할 일은 視野에 나타난 包有物이 一次型이나 二次型이나? 液泡나 氣泡나? 單相이나 多相이나? 等等 成因上的인 鑑別을 正確히 할 수 있어야 한다는 것이다.

앞서 말한 바와 같이 包有物研究史上 初期에는 包有物에 對한 그릇된 解釋으로 花崗岩內的 石英의 生成溫度測定이나 堆積起源인 岩鹽의 結晶溫度測定에서 重大한 誤謬를 犯하였던 것이다. 即 花崗岩의 경우는 石英粒에 包含된 二次包有物에 依하여 溫度測定을 하였던 것이고 岩鹽의 경우는 液泡內에 二次起源의 氣泡가 들어 있는 것으로 均一化溫度를 測定하여 모두 眞實한 生成溫度를 代表하는 包有物이 많임을 몰랐던 것이다.

包有物을 地質溫度計로 利用하는 경우 二次的起源의 包有物이 障害를 끼칠 것이라는 可能性에 對하여는 80餘年前에 이미 Sorby에 依하여 指摘

된 바 있으나 그後 이 意見이 看過되어 왔으며 結晶成長途中에 造成된 所謂假二次包有物이 지니는 眞實한 意義에 對하여 最近 20年동안 全혀 無視 當하여 왔든 것이다. 그 包有物이 어떤 種類에 屬하는 것인지를 正當하게 理解함이 없이 그저 닳치는 대로 溫度만 測定했다고 하면 그 資料는 勞力의 浪費일 뿐이고 別로 科學的인 價値는 없을 것이다.

#### 4-1. 包有物의 產狀

至今까지 本欄에서는 主로 包有物의 成因의 分類와 產狀을 中心으로 論하여 왔는데 그 理由는 이런 基本概念의 確立이 없이는 包有物에 依한 效果的인 地質溫度測定이란 不可能하겠기 때문이다.

이제 包有物의 產狀과 成因에 關한 現在까지의 概念을 一般化하여 演譯의 으로 추려보면 다음과 같다.

a. 마그마性溶液(Magmatic solution)에서 結晶된 鑛物에는 一次型의 固體化包有物(Solidified inclusion)이 包含된다. 이 경우 萬一 어떤 液體 包有物이 發見된다면 그는 필경 二次의 起源인 證據를 보여줄 것이다. 이러한 包有物에 依하여 生成溫度를 測定한다면 그는 後期의 熱水變質이라 epimorphism에 依하여 浸入된 溶液의 溫度에 不過하다는 點에 留意해야 할 것이다.

b. 氣性溶液(Gaseous solution)에서 結晶된 鑛物에는 室溫에는 一次~假二次型의 여러가지 氣體를 主로 하는 包有物이 包含될 것인데 이때에 大概 液體가 섞이며 室溫에서 液體는 全包有物의 50%(體積으로)를 넘지 않을 것이다.

萬若 液體가 優勢하다면 이는 二次起源인 可能性이 많으며 事實 氣成鑛物에도 一次~假二次型의 液體包有物이 發見되는 일이 있는데 이는 結晶의 外郭帶에서만 볼수 있으며 이는 結晶成長의 末期로 부터 熱水期에 걸치어 계속 成長하는 時期에 捕獲된 것이다. 氣體와 液體의 包有物의 研究는 持히 鑛液의 成分과 混合의 狀態 및 그들 相互間의 反應을 究明하는데 有用하다.

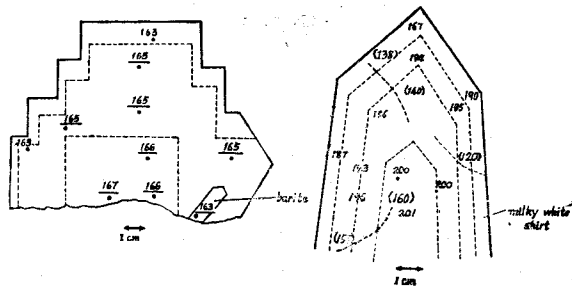
鑛物生成時의 眞實한 溫度를 決定하기는 아직 困難하나 氣體와 液體의 包有物의 相對的 均一

化溫度를 決定할수는 있으며 이는 鑛床形成過程에 있어서의 母結晶의 位置等 어떤 終局的 問題 解決에 有用한 資料로 될 것이다.

c. 熱水性鑛物(Hydrothermal mineral)은 母液의 一次~假二次包有物을 包含하며 이에 對한 研究는 鑛物의 生成溫度 또는 溫度域의 決定, 相違한 世代와 核化(Nucleation)의 順序, 生成溫度에 따르는 晶相과 着色의 差異 究明等 高度의 科學的 및 實用的 意義를 지니고 있는 것이다.

#### 4-2. 多溫性 鑛物

結晶의 成長이 比較의 一定한 溫度下에서 끝났다면 同一個體內的 溫度測定値는 一定한 값이 나오겠지만 個中에는 成長初期에서 末期에 이르는 사이에 溫度의 變化가 甚한 때가 있으며 이런 경우에는 各 成長帶마다 若干式 生成溫度를 달리하게 된다. 그림 2에서 螢石(a)의 경우는 3個의 成長帶를 區別할수 있고 各成長帶의 生成溫度는 中心部로 부터 各各 167~166°C, 165°C 및 163°C로서 結晶成長의 初期로 부터 末期로 向하여 계속 溫度가 低下되었음을 알수 있다.



a. 螢石(Kulikolon產) b. 水晶(Maydantal產)

그림 2. 多溫性鑛物의 生成溫度域(Yermakor로부터, 1965)

水晶(b)의 경우는 中心部로 부터 4個의 成長帶가 있는데, 各帶의 生成溫度는 中心으로 부터 各各 207~200°C, 196°C, 195~193°C, 및 190~167°C로 亦是 生成溫度가 低下되면서 結晶이 成長하였음을 말하고 있다. 그리고 各 成長帶를 가로 지나가는 裂隙에 따라 包有된 假二次包有物이 3個處 보이는데 그 溫度는 一次包有物의 그것 보다 훨씬 낮아서 各各 160°C→155°C, 140°C→138°C 및 120°C로 나타나 있다.

鑛物에는 1個體의 成成溫度가 比較的 一定한 單溫性鑛物(Monothermal mineral)도 있겠으나 生成溫度域이 넓은 多溫性鑛物(Polythermal mineral) (5)도 있어 이러한 경우의 研究는 Geothermometry 라기 보다는 Mineralothermometry 라고 해야할것 같다.

包有物에 對한 研究에 있어서 初步者가 때때로 부딪히는 困難의 하나는 二相包有物中에서 유리質包有物과 水溶液包有物, 水溶液과 二酸化炭素 또는 2種의 不混合溶液等の 識別問題이다.

#### 4-3. 유리質包有物과 水溶液包有物

固體化包有物(Solidified inclusion)中에서 大概의 유리質은 몇가지 鑛物成分에 對하여 溶媒와 같은 役割을 하며 마그마性 溶液에서 “유리質방울”은 水溶液에서 물방울과 類似한 役割을 한다. 그러므로 때로는 마그마性 溶液에서 分離된 冷却中에 있는 유리質방울이 捕獲當한 後 마치 飽和 水溶液의 包有物에서 溶質이 沈澱되는것 처럼 유리質內에 녹아(몰려)있는 溶質이 晶出되어 多相包有物을 이루는 일이 있다.

유리質包有物內에는 흔히 둥근 氣泡가 들어 있기는 하나 유리質自體는 水溶液과 같이 均質하게 보이며 顯微鏡下에서 完全히 透明하게 보이기 때문에 어떤 包有物이 유리質(固體)인지? 水溶液(液體)인지? 를 識別하기가 어려워지는 것이다. 이를 區別하는데는 여러가지 基準이 있는데 예를 들면 水溶液의 包有物은 輪郭이 둥근 모양인데 비해 유리質包有物은 不規則하고 지그자그한 輪郭을 이루며 包有物內에 작은 氣泡가 包含되어 있는 경우 水溶液包有物일때는 單一氣泡로서 들어 있는 것이 普通인데 反하여 유리質包有物의 경우는 數個 또는 多數의 작은 氣泡로서 들어 있다는 事實을 비롯하여 顯微鏡下에서의 光學的試驗, 加熱時 包有物內에서의 氣泡의 舉動等으로 區別이 可能한데, 이밖에 論理的으로 考慮해야할 點의 하나는 유리質包有物은 火山岩鑛物에서 흔히 期待할수 있는 것이고 水溶液의 包有物은 熱水鑛物에서 볼수 있으며 단지 火山岩鑛物이라 하더라도 後期熱水作用에 依한

二次起源의 水溶液包有物이 包含될수 있다는 點을 留意해야 할 것이다.

#### 4-4. 二酸化炭素의 二相包有物과 水溶液의 二相包有物

二酸化炭素의 液相과 氣相으로 된 包有物과 水溶液의 液相과 氣相으로 된 包有物은 往往 同一 結晶에 같이 나타나며 그들이 서로 類似하게 보이므로 이들을 混同하기 쉽다. 이를 區別하는데는 加熱時 氣相의 舉動의 差異를 利用하는 것인데 二酸化炭素의 경우는 30~30°C 정도의 加熱即 슬라이드에 손을 한참 댄다든지 電氣스탠드로부터 熱에 依하여 二酸化炭素의 液相이 消滅되어 버리며 若干의 急速한 冷却로 氣泡가 다시 나타나는데 反하여 水溶液의 경우는 이 정도의 加熱과 冷却으로는 아무런 變化도 이러나지 않는다는 點이다.

#### 4-5. 不混合液의 包有物

水溶液과는 不混合性인 液體二酸化炭素가 同一包有物로 共存하며 液體二酸化炭素內에는 다시 氣體二酸化炭素의 氣泡가 들어 있어 多相包有物을 이루는 일이 있다. 이때에 三者사이에는 明確한 境界線이 보이며 水溶液은 外測에, 二酸化炭素는 內測에 位置한다. 때로는 水溶液內에 固體로서의 小結晶이 包含되어 四相을 이루는 일도 있다. 이와 같은 複合包有物(Complex inclusion)에 있어서 各相의 體積比는 경우에 따라서 棼한 變動을 보여준다.

때때로 水溶液과 二酸化炭素와의 包有物과 같이 原油(不混合性)樣 物質의 包有物을 볼수 있는데 이 경우는 透過光下에서 黃色을 띤다는 點으로 이를 쉽게 識別할 수 있다.

### 5. 測定器具와 裝置

鑛物內에 包含된 微小한 母液의 包有物을 顯微鏡下에서 研究하는 方法은 前世紀의 後半期부터 始作되었는데 이의 研究器具로서는 試片을 加熱하기 爲하여 顯微鏡에 特別한 附屬裝置를 設置할 必要가 있었다. 처음에는 슬라이드를 載物臺上에 놓인 蒸氣浴槽內에서 加熱하였는데 이는 二酸化炭素의 包有物을 均一化시키는데는 足하

였을지 모르나 其他 大部分의 重要한 包有物에 對하여는 거의 無力하였음은 두말할 나위도 없는 일이다.

그 後 Sorby(1859), phillips(1975) 등에 依하여 加熱과 溫度測定裝置가 考案되었으며(測定溫度 180°C 程度까지), Königsberger(1906)의 파라핀 槽를 使用한 裝置는 最高 400°C 까지의 測定이 可能하게 되었다 이는 다시 Newhouse(1933)에 依하여 改良되어 最近까지 歐美科學者들 사이에는 이것이 넓이 使用되어 왔다. 한편 Yermakov 는 一連의 改良을 거듭하여 650°C 까지 測定할 수 있는 顯微加熱室(Microthermochamber)를 製作하여 1946年 以來 使用하고 있다(5).

其他 Thermo-chamber 型인 Leitz 製의 Microscope Heating Stage 에는 測定溫度域  $-20^{\circ}\text{C} + \sim 350^{\circ}\text{C}$  인 Model 350 를 비롯하여 最高測定溫度 1270°C, 1370°C, 1480°C 등 여러가지 高性能의 것이 있으며 日本유니온社製에는 測溫度 500°C 인 MHS, CMS 등이 있다.

## 6. 測定の 實際

包有物의 加熱試驗에 依한 地質溫度測定法에는 均一化法(Homogenization method)과 Decrepitation method 이 있는데 여기서는 主로 均一化法을 中心으로 論議해왔으므로 本章에서도 Heating stage 에 設置된 Thermo-chamber 를 使用하는 均一化法에 依한 溫度測定法을 다루기로 하고 Decrepitation 法에 對하여는 別途의 機會로 다루기로 한다.

均一化法에 依하여 溫度測定이 可能한 鑛物은 石英 螢石, 方解石, 重晶石, 綠柱石, 黃玉等 아무튼 透明한 것이면 된다.

採取된 結晶은 于先 慣例的인 結晶學的 試驗과 記載를 한다. 即 結晶成長의 形態 그들의 世代와 時期 그들의 初生的 또는 後生的 缺損部分 등의 有無를 顯微鏡下에서 確認해 뒤야 한다.

個個의 鑛物의 特性 또는 다른 鑛物들과의 接觸面에 對한 徹底한 調査는 生成溫度 測定을 爲한 研究에 앞서야 할 必須的인 일이다. 結晶의 內部構造는 特別히 注意하여 調査해야 하며 이 作業은 燈油나 또는 適當한 屈折率의 液體로서

結晶面을 닦고 強한 透過光下에서 하면 훨씬 容易하다.

### 6-1. 試片(薄片)準備

上記한 過程이 끝난 다음 結晶을 스킷취하거나 寫眞을 찍어두고, 溫度測定을 爲한 包有物이 包含된 適當한 部分을 잘라낸다. 이러한 試片의 準備는 偶然히 떨어진 조각中에서 고르기도 하고 알맞는 部分을 잘라내든지 하여 되도록 平滑한 研磨板이나 크로스에다 酸化크롬을 치고 原則的으로 손으로 研磨해야 한다. 粗雜하게 研磨된 試片으로는 到底히 結晶內部의 包有物을 發見하기 어려울 것이므로 薄片面은 最高度로 完全하게 研磨해야 한다. 薄片의 두께는 一定한 規定은 없고 鑛物의 透明度에 따라서 좀 달라질 수 있을 것이나 岩石薄片과는 달라서 너무 얇게 하면 안되고 보통 數mm 程度의 두께로 만든다.

5mm 以上 두꺼운 것은 不適當하며 半透明한 鑛物은 兩쪽으로 研磨하여 最高 5mm 까지로 하고 可能하면 0.2~0.4mm 程度로 얇게 하는 것이 좋다.

透明鑛物의 경우 가장 適當한 두께는 2~3mm 程度이다. 두께는 試片으로서 그속에서 一定한 크기와 形態의 包有物이 保有될 수 있으며 그를 찾아내는데 알맞는 것이면 된다.

試片(薄片)의 研磨面上의 面積은 Thermo-chamber 의 容積으로 보아 1.5~2.0cm<sup>2</sup> 를 넘어서는 困難할 것이다.

大部分의 包有物은 切斷機로 切斷할때의 振動에 依하여 또는 研磨時에 發生하는 熱에 依한 爆發等으로 消滅될 可能性이 있다. 二酸化炭素의 包有物이 包含된 試片은 特別히 注意하여 다루지 않으면 안된다. 普通 岩石薄片에서는 거의 流體包有物을 보기 어려운 것은 上記한 點에 留意함이 없이 極도로 얇게(0.03mm) 갈았기 때문임을 알 수 있다.

### 6-2. 豫備觀測

對象結晶의 여러 個所에서 잘라낸 試片의 研磨面을 만든 다음 顯微鏡下에서 가장 適當한 一次, 假二次 및 二次包有物 등의 알아볼 수 있는 크

기 形態, 顯微鏡軸에 垂直한 方向에 있어서의 延長狀態 또는 扁平한 狀態等을 調査한다.

低倍率下에서는 包有物은 極히 작아서 마치 星雲과도 같은 히미한 斑點狀으로 보이며 이들은 高倍率下에서 比로써 個個의 包有物로 區別이 可能하게 된다. 包有物의 個體 또는 集團은 研磨面上에 色別로 點을 찍든지 圓을 그려 標的을 해 두면 後에 다시 찾을 때 便利하다.

大部分의 典型的 包有物은 스킷취하거나 寫眞을 찍어두어야 한다. 이것은 特히 多相包有物에서 必要한데, 一旦 加熱했다 나면 捕獲物(Captive mineral)의 配置가 달라진단든지 本來의 狀態가 그대로 再現되지 않는 일이 있기 때문이다.

同一 包有物內에서의 二相間의 線上 또는 平面上의 比를 micrometer Scale 이나 Grid 를 써서 그를 細心히 測定해야 한다. 이것은 甚히 微細한 裂隙의 發生으로 包有物의 一部가 새어나가지나 않았는지를 檢査해 보는 뜻에서 必須의인 일이다.

### 6-3. 加熱試驗과 均一化溫度的 測定

以上の 豫備觀測이 끝난 試片은 Thermo-chamber 안에 넣어서 固定시키는 것인데 製作會社에 따라 多少의 差異는 있으나 共通的인 條件은 試片과 Thermocouple 이 密着되어 있어야 하며 試片中の 包有物이 顯微鏡視野에 들어올수 있는 適當한 位置에 오도록 試片의 位置를 잡아놓아야 한다는 點이다.

이 作業이 끝난 다음에 于先低倍率을 걸고 下部로부터의 照明을 써서 顯微鏡의 stage 를 平行으로 움직여 미리 標的해 놓은 包有物을 視野內로 끄러드린다.

加熱試驗은 微小한 氣泡를 隨伴하는 二次 및 假二次包有物 부터 먼저 始作해야 하며 氣相이 優熱한 包有物은 맨 나중으로 돌려야 한다. 前者에 屬하는 包有物은 加熱時 溫度가 그의 均一化溫度를 超過할때는 大部分이 爆發해 버리게 되므로 이 順序는 義務의으로 지켜야 한다. 이 爆發은 薄片의 裂隙化에 隨伴되기도 하며 裂隙化에 따라서 豫備觀測에서 찾아놓은(標的한) 包有物 마저 破壞되거나 보이지 않게 되기도 한다.

그러므로 이러한 突發事故에 對備하여 미리 試片의 다른 部分에 같은 條件의 包有物을 몇個 더 標的해 놓거나 豫備用 試片을 二重으로 準備해 둘 必要가 있다.

먼저 低倍率로 標的된 包有物을 포착한 다음 高倍率로 바꾸어야 하는데 가장 흔히 쓰이는 倍率은 180~200× 300× 400× 등이고 드물게는 600×도 쓰인다.

加熱室은 電氣回路에 連結되어 있고 回路에 變抗器가 그의 最高抵抗을 받게 되면 抵抗이 漸移의으로 節調되어 試片이 願하는 溫度에 이르기 까지 徐徐히 均一하게 加熱되는가의 如否를 確認할수 있게 되어 있다.

주어진 產地의 주어진 鑛物內의 같은 型의 包有物의 均一化를 爲하여는 같은 加熱速度가 確立되어야 한다. 二相包有物의 加熱試驗에 있어서의 平均時間經過는 1時間 程度로 보고 있다. 그러나 주어진 產地의 주어진 鑛物을 爲한 加熱速度는 時間經濟를 爲하여 經驗的으로 決定하는 것이 좋을 것이다.

加熱速度는 低溫性鑛物의 二相包有物보다 高溫性鑛物의 多相包有物의 경우가 더욱 느려서 이때에 滿足스러운 結果를 얻기 爲하여 하나의 均一化實驗이 끝나는데는 無慮 4~5時間이 걸리는 것이다.

加熱이 계속되어 包有物內의 氣泡가 完全히 消滅되고 完全히 液體로 均一化되었으면 이때의 溫度를 읽는 同時에 加熱室의 電氣回路를 끊어서 若干冷却됨에 따라 다시 氣泡가 再現할때의 溫度를 보아 均一化溫度를 찾는다. 이것을 몇번 反復하여 眞實한 均一化溫度를 決定하게 되는데 萬一 結果가 疑心스러울때는 처음 부터 다시 始作하고 같은 實驗을 反復하여 測定值의 正確性을 期하는 것이다.

以上是 主로 室溫以上の 高溫下에서의 操作이지만 이와 아울러 氷點 以下の 低溫領域에서 包有物質의 氷點까지 測定하는 特殊한 경우도 있다(14).

## 7. 結 言

以上是 流體包有物에 依한 地質溫度測定法中,



主로 均一化法에 依한 測定實驗을 爲하여 研究者가 精通해 뒤야할 몇가지 基礎的 事項에 對하여 論議한 것이다.

即 流體包有物의 產狀과 成因의 分類 各 成因의 類型의 鑑識論 測定裝置와 測定實驗의 實際의 節次等에 對하여 그 要點을 極히 概略的으로 記述한 것이다.

그러나 流體包有物의 均一化 過程에 있어서의 液相과 氣相과의 體積比에 따르는 變動이라든지 加熱室의 構造와 機能等 充分히 論盡되지 못한 部分이 많이 있을 뿐만 아니라, 이밖에 아직 測定誤差論을 비롯하여 實驗曲線에 依한 視讀法이나 計算法等의 補充的 諸方法 流體包有物에 依

한 地測溫度測定論의 缺陷과 限界性等 더욱 研究檢討해야 할 問題가 許多히 남아 있으니 이러한 問題들에 對하여는 紙面의 關係上 다음 機會로 미루기로 한다.

특히 最近에 와서는 流體包有物의 化學成分에 關한 研究가 始作되였으며 水溶液包有物中의  $\delta O^{18}$  이나  $\delta O^{13}$  等 同位元素를 定量하여 鑛化過程에 있어서의 同位元素의 移動關係等을 다루려는 研究 傾向이 나타나고 있다<sup>(15)</sup>.

이 글을 통하여 流體包有物에 依한 地質溫度 測定 乃至 鑛床成因 研究에 觀心을 갖고 同學者 들을 爲하여 조금이라도 도움되는 點이 있으면 無上의 榮光으로 여기는 바이다.

### 參考文獻

- (1) Sorby, H. C. (1858) On the microscopic structure of crystals, including the origin of minerals and rocks. J. Geol. Soc. of London. Pt. 453-500.
- (2) Newhouse, W. H. (1933) The temperature of formation of the Mississippi Valley lead-zinc deposits. Econ. Geol., 28, 744-750.
- (3) Deicha, G.A. (1951) Neue methoden zur erforschung der hydrothermalen und pneumatolytischen einschlusse in mineralien und gesteinen. Neues Jahrb. f. Min., Monatsheften, 193-203.
- (4) Correns, C.W. (1953) Flüssigkeiteinschlüsse mit gasblasen als geologische thermometer. Geologische Rundschau, 42, 19-34.
- (5) Yermakov, N. P. et al (1965) Research on the nature of mineral-forming solutions, Pergamon. Press, 30-96.
- (6) 今井秀喜(1961) 液體包有物地質溫度計, 鑛床學의 進歩, 加藤武夫紀念出版委員會, 288-293.
- (7) Miyazawa, T. (1967) Lowest limit and depth of formation of hydrothermal veins. Science Reports of Tokyo Kyoiku Daigaku, 1-5.
- (8) 神岡鑛山地質課(1966) Decrepitation method. 實驗鑛物學, 日本鑛物學會, 573-578.
- (9) 武內壽久福(1966) Program of meeting on geothermobarometry and inclusions of ore forming media in minerals. 鑛山地質, 日本鑛物學會, 213-216.
- (10) 尹碩奎(1967) 鑛脈의 下部連繼性과 地質溫度測定의 適用에 對하여, 鑛振, 大韓鑛業振興公社, 39-45.
- (11) Roedder, E. (1962) Ancient fluids in crystals. Scientific America vol., 207, No.4, 38-41.
- (12) 都城秋穂(1965) 流體包有物, 變成岩과 變成帶, 79-82.
- (13) Grigor'ev, D.P. (1948) On the subject of recognition of primary and secondary liquid inclusions in minerals. Mineralog. Sb. L'vov. geolog. obshch. No.2,
- (14) Rye R.O. and O'Neil J.R. (1968) The  $O^{18}$  Content of water in primary fluid inclusions from providencia, North-Central Mexico, Econ. Geol., Vol. 93, No.3, 232-238.
- (15) Roedder, E. et al (1968) Environment of ore deposition at the Mex-Tex Deposits, Hansonburg District, New Mexico, from studies of fluid inclusions. Econ. Geol., Vol. 63, No.4, 336-348.