

上東 텅그스텐 스카른 鑛床의 流體包有物 研究

文 建 柱*

Fluid Inclusion Study of the Sangdong Tungsten Skarn Deposits

Kun Joo Moon

Abstract: Fluid inclusion study reveals that the mineralogical zonal distribution of the Sangdong skarn orebody may be likely related to (homogenization) temperatures of fluids with time and spaces. Firstly limestone beds were replaced by hot boiling fluids ranging from 350 to 550°C and formed the pyroxene-garnet skarn, which was replaced into the amphibole and the quartz-mica skarns by non-boiling fluids at 300 to 500°C, mainly penetrated the central part of the pyroxene-garnet skarn orebody.

Freezing tests identify presence of CaCl_2 and MgCl_2 as brines in the fluids besides NaCl and KCl that are shown as daughter minerals and show that two or more fluids be involved in mineralization by showing a bimodal distribution of salinities. This study has contributed to find a new orebody and a granitic pluton as a source rock.

序 言

1960年代 初부터 活潑히 進行되어온 流體包有物 研究는 初期에는 主로 生成溫度를 推定하는 均一化 溫度 (T_h : homogenization temperature) 또는 充填 溫度 (filling temperature) 測定에서 부터 시작하여 점차 관심은 包有物內 流體의 性質에 관심을 갖기 시작하고 가장 간단한 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 계로 부터 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{MgCl}_2-\text{KCl}$ 계에 이르는 복잡한 成分을 流體의 冷却실험을 통해 규명하기에 이르렀다.

著者는 이미 上東鑛床 流體包有物 研究結果를 일차 발표한 바 있으나(文建柱, 1979) 均一化 溫度에 대한 일부 결과만이 다루워졌다. 이번 研究는 광범위한 多量의 試料로 부터 얻은 均일화 온도뿐만 아니라 冷却에 의한 共融 온도(eutectic temperature: T_e) 측정을 통해 包有物內 유체의 성질을 규명하는 연구가 박사학위 논문의 일부 소재로 다루었기에 이를 종합하여 소개시켜 준다. 그의 가장 큰 목적은 실제 유체포유물 연구결과와 정보가 실험체 발견에도 이용될 수 있는 중요한 端緒가 될 수 있다는 점을 강조하고 鑛床成因을 규명하는 유체의 성분 추정을 冷却-觀察을 통해 期할 수 있다는 實事例를 들어 유체포유물 연구의 중

요성을 강조하고자 한다.

觀察된 對象鑛物은 上東 本鑛體(M_1) 스카른과 石英脈으로 부터 채취된 석영, 투워석, 석류석, 회중석, 형석, 인회석, 흑운모, 각섬석 등으로 Roedder(1963)의 기준에 따라 분명히 二次的 起源이 아니라고 보이는 包有物만을 다루었다.

本 報文의 理解를 위해서는 上東 스카른 鑛體가 初期鑛化期에 柘榴石-透輝石을 주로 하는 鑛體를 形成한 뒤에 계속되어진 熱水鑛化作用에 의해 鑛體中心部는 石英-雲母를 主로하고 그 가장자리는 角閃石 우세 부위를 형성하게 되어 특징적인 累帶分布를 이루었음을 認定할 수 있어야 한다(Moon, 1983).

流體包有物의 形態와 그 分布

상동광상에서 관찰되는 유체포유물은 다음과 같은 4가지로 구분된다.

A型: 多樣한 크기의 氣包를 보이면서 액체와 기체의 二相(two phases)으로 되어짐.

B型: 31°C 이상에서는 A형과 다름바 없으나 室溫에서 액체 CO_2 를 보여 세개의 相을 이룸.

C型: 기포의 크기가 포유물 체적의 半 이하이고 固體狀의 結晶을 가짐으로 세相 또는 그 以上の 相으로 됨.

* 韓國動力資源研究所

D型: 單一相을 이룬 것.

각 형태별 포유물이 가지는 특징을 요약하면 다음과 같다.

A형에 속하는 포유물은 가장 흔히 관찰되는 것으로 실온에서 기포의 체적이 전포유물의 반 이상이 되는 A형은 주로 투휘석에 많고 석영의 경우는 鑛床의 중심부에 해당하는 3坑~4坑 사이의 石英-雲母 스킨 대에 대체로 국한되고 있다. A형 포유물은 대체로 액체상으로 균일화 하지만 투휘석과 석류석에 함유된 기포가 비교적 큰 포유물은 주로 기체상으로 균질화 한다. 이들 중 일부는 두相(two phases)의 경계가 갑자기 사라져 버리는 臨界溫도의 習性(Roedder, 1967)을 보인다. 소수의 A형 포유물은 580°C까지 가열할 때까지도 균일화 하지 않는다. 기포의 색깔이 어둡게 보이는 A형 포유물은 高溫에서 균일화 하는 傾向이 많으며 특히 투휘석에서 많이 관찰되고 있다. 광체내에 회중석이 다량 분포된 部位, 특히 石英-白雲母-灰重石帶의 석영내에서 이런 유체포유물은 거의 찾아보기가 어렵다. 그러면서도 회중석은 뚜렷한 유체 포유물을 두서너개씩 함유하고 있는 점으로 미루어 灰重石이 서서히 成長하는 동안 석영은 再結晶되면서 포유물이 除去된 것으로 추정된다. 관찰된 A형 포유물은 작은 것이 많지만 가열하는 동안 작은 氣泡가 심한 운동(Brownian motion)을 보여주어 均一化 溫度測定이 容易하다.

B형 포유물은 常溫에서 액체 CO₂가 環狀으로 기포를 둘러싸아 세개의 상을 보이므로 쉽사리 A형과 구분된다. 본 포유물은 석영과 螢石 結晶에서 관찰되나 회중석과 투휘석에서는 관찰되지 않았다. B형 포유물은 특히 壯山硅岩내의 물리브덴 광상과 관련된 석영맥에 많이 발달되어 있다.

C형 포유물은 固體 結晶을 함유하는 A형의 포유물이라 할 수 있다. 함유된 고체 결정은 等方性 또는 異方性이나 580°C까지 가열하는 동안 용해되지 않는 것은 우연하게 포획된 것으로 간주하고 daughter mineral로 취급치 않는다. 正六面體의 halite가 가장 흔히 관찰되는데 이것이 완전 용해되는 온도(T_m NaCl)은 T_h보다 높거나 또는 낮다. Halite는 본맥 스킨 광체의 각 대의 석영, 투휘석, 형석 및 회중석의 포유물에서 관찰되고 석영맥의 경우도 下 4~5坑의 휘수연석을 함유한 석영맥중의 석영에 한해서 관찰되고 있으나 본맥 스킨의 경우 下 4~5坑에서의 석영은 halite를 보이지 않는다. 회중석, 석영, 투휘석내의 C형 포유물은 sylvite를 드물게 보이고 있는데 이는 형석 halite를 수반한다.

D형의 포유물은 모든 광물에서 흔히 관찰된다. 특히 형석에서 크게 불규칙한 형태를 보이는 단일상 포유물은 가열 또는 냉각과 함께 기포를 보이기도 한다. 회중석과 형석은 옅은 pink색을 띄우는 불규칙한 단일상의 포유물을 많이 가지고 있어 배율이 낮은 현미경으로 관찰하면 표면이 많은 斑點으로 얼룩진 것 처럼 보인다(포유물의 빛의 遮斷에 의한 현상). 회중석내에 관찰되는 어두운 빛갈의 單一相 포유물은 그 내부를 관찰키 어려우나 일부 단일상은 냉각하는 경우 드물게 두개의 相으로 변형되기도 한다.

石英脈內 A形 包有物의 均一化 溫度

石 英

상동광상에서 산출되는 석영맥을 주요 鑛石鑛物에 따라 분류하면 휘수연-석영맥, 흑중석-석영맥, 황동석-석영맥, 창연-석영맥, 기타 不毛 석영맥으로 구분되어 있다. 석영맥의 석영에서 유체포유물의 均一化 溫度는 138°~450°C이다. 각 特有 鑛種別로 분류된 석영맥은 Fig. 1에서 보여주고 있듯이 일관성 있게 相互間的 온도차를 보이지 않고 있으나 黃銅石, 蒼鉛石 및 不毛 석영은 흑중석이나 輝水鉛石을 함유하는 석영맥중의 석영 보다 비교적 낮은 균일화 온도를 보인다.

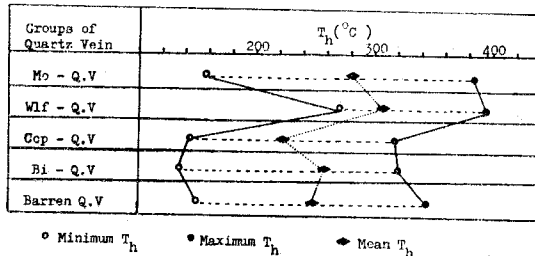
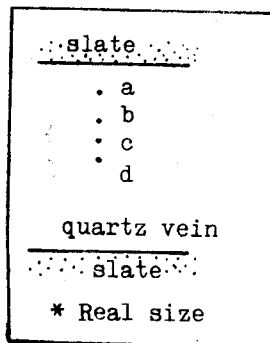


Fig. 1 Variation in the range of T_h shown by different groups of quartz veins (based on Appendix 10. 2).



- T_h(°C)
- (a) 158, 178, 215
 - (b) 229, 270
 - (c) 282, 333
 - (d) 262, 333, 344

Fig. 2 Variation of T_h in type A inclusions in a quartz vein (Specimen 103203).

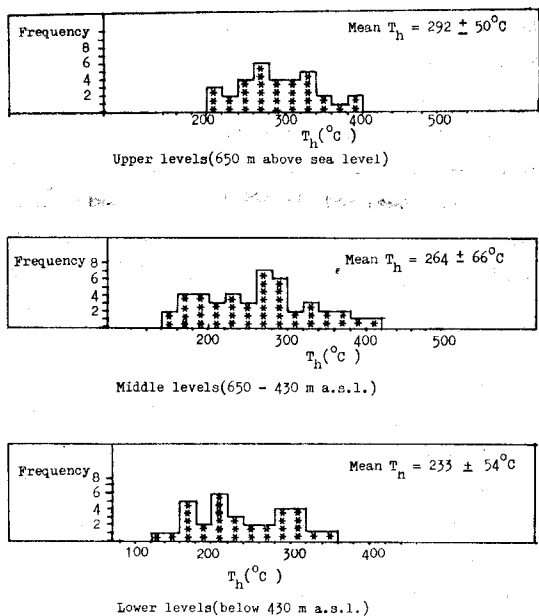


Fig. 3 Frequency distribution of T_h for vein quartz.

개별 脈狀體에서 부분적으로 내부와 모암벽 사이의 온도의 변화를 점검기 위해 채취된 標品(103203)에 의하면 몇 cm 이내의 거리에서도 중앙부로 부터 外廓로 가며 점차 下降하는 均일화 온도를 보인다(Fig. 2). 이 같이 중앙부에 가장 높은 T_h 값을 보이고 있음은 시간-공간에 따라 유체의 온도는 변하여 流動하였음을 暗示해 준다.

석영맥의 T_h 의 평균치는 上部坑으로 부터 下部坑으로 감에 따라 점차적으로 하강한다(Fig. 3). 그러나 가장 높은 T_h 값은 중부항에서 기록되며 수직적 온도 변화는 명확하지 않다(文建柱, 1979).

螢石

석영맥에서 산출되는 형석은 대체로 淡紫色·淡青色 또는 백색을 띄우는데 청색을 띄우는 형석만은 거의 유체포유물을 보이지 않는다. 형석내 유체포유물의 均일화 온도(T_h)는 석영내의 것보다 좁은 범위의 온도 변화를 보이면서 그 값은 대체로 낮은 편이다. 그러나 灰重石을 수반하는 형석은 예외적으로 넓은 범위의 온도 변화를 보이며 어떤 것들은 형석과 접하고 있는 석영보다 훨씬 높은 온도를 나타낸다. 석영맥의 회중석을 수반하는 형석내에서 측정된 T_h 는 本脈 스카른광체의 회중석을 수반하는 형석과 거의 類似한 온도를 보인다.

본맥(M_1) 스카른의 A형 包有物の 均一化 溫度

M_1 스카른 鑛體의 石英

均일화 온도는 투회석-석류석 스카른대로 부터 각 섭석대를 지나 석영-운모대에 가면서 석영내에서 측정된 최고온도와 평균온도는 점차증가 한다(Fig. 4). 坑內 평면도에서 채취 장소마다 관찰된 최고온도를 記載해 보면 온도의 분포는 회중석의 最高鑛部位(석영-운모대)와 거의 일치하는 양상을 보인다. T_h 가 270°C 이상인 部分의 境界線은 坑內 중심부항에서 “+”형을 이루고 바로 이 형태내 부위는 텅그스텐 함량이 가장

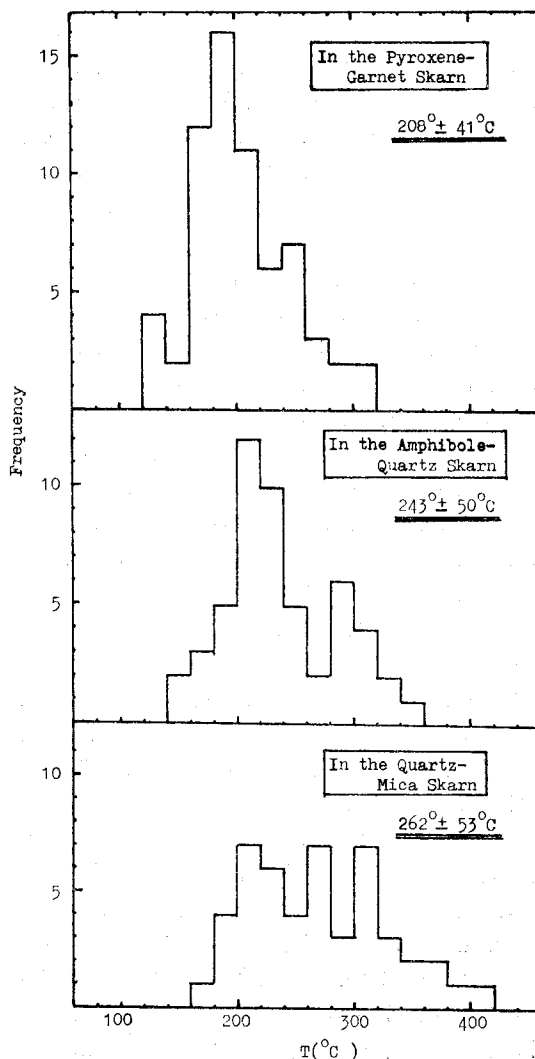


Fig. 4 Comparative histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions within quartz from three different skarns at the Sangdong deposits.

높은 부위에 해당한다. 이 도포가 암사하는 점은 “+”형을 이루는 부위는 광화용액의 주요 통로가 되었기 때문에 가장 높은 온도의 유체가 포획되어졌고 일부 후기 產物로 보이는 백운모 優勢帶는 후기의 낮은 온도의 유체의 影響을 받은 것으로 추정된다.

유체는 통로로 부터 멀어지면서 점차 온도는 하강하며 포획되어진 것으로 추정된다. 그러나 텅스텐의品位가 가장 높은 석영—운모대에서 고온의 T_h 를 보이는 운모대는 흑운모가 大宗을 이루지만 저온의 T_h 를 보이는 白雲母帶에서는 상당히 온도가 저하된 상태에서 텅스텐 광화작용이 일어났으며 그 범위는 통로 부위에 局限되는 듯하다.

단일 석영 결정내에서도 흔히 결정의 중심부는 가장 자리 보다 훨씬 높은 T_h 를 보인다. 한 시료에서 관찰되는 많은 석영에서도 결정마다 相異한 T_h 를 보이므로 이들의 상대적 온도를 비교하기 위해서 각 결정마다 최대 T_h 와 최소 T_h 를 구하여 최대 최소의 온도차를 검토한 결과 가장 큰 온도차를 보이는 유체포유물은 바로 “+”형에 해당하는 부위에서 나타나고 있다. 이 사실은 이 부위가 장구한 기간에 걸쳐 온도를 달리하는 광화용액의 통로이었음을 暗示하여준다.

Fig. 6에서 12화과 14화의 동부 스카른 광체의 가장자리에 T_h 異常高溫值를 보이고 있다. 이 部位에는 다른 곳에서 볼 수 없는 vesuvianite-scheelite가 共生하여 광물학적 異常 產狀을 보이고 있어 주 통로에 연관된 별개의 附隨 통로가 있을 것으로 假定하고 본광체 주변부에 부수통로의 존재를 확인하기 위한 시추를 실시한 결과 주 스카른帶로 부터 200여m 떨어진 동측부위에서 약 5백만톤(0.5% WO_3) 규모의 광체를 발견함으로써 본 가정은 實證化 되었다.

M_1 스카른의 螢石

스카른내 형성은 석영맥중의 형식 보다 훨씬 적은 량의 포유물을 갖지만 T_h 값은 보다 넓은 幅의 變化와 더 높은 최대온도를 보인다. 대체로 형석과 인접된 석영의 유체포유물도 유사한 T_h 값을 보인다.

한 시료(103120)에서 구상의 기포를 갖는 것과 타원체형 기포를 보이는 두 포유물이 동일한 온도에서 균일화 하면서 서로 相異한 양상을 보인다. 전자는 기포의 윤곽이 급작스레 376°C에서 사라져 균일화 하고 후자는 정상적으로 기포가 축소되어지다가 액상으로 균일화함을 관찰할 수 있다. 처음의 것은 임계온도나 그에 가까운 온도에서 형성되어진 것으로 볼 수 있으므로 이 두 포유물이 보인 T_h 는 참 온도를 나타낸다고 볼 수 있다. 많은 D형 포유물이 160°~200°C의 T_h 를 갖는 A형 포유물과 흔히 수반되어 관찰되는데 이들은

대개 가열후 냉각되면 실내온도에서 다시 관찰할때 正常의 A형의 포유물 같이 되어 보이고 있어 漏出에 의한 現象으로 보여진다.

M_1 스카른 광체의 透輝石

투회석내 포유물은 지극히 작아서 직경 32마이크론까지의 크기를 보인다. 석영내 포유물과 그 형태는 유사하나 기포의 색깔이 비교적 암흑색을 보이며 높은起伏를 보이는 것들이 많고 투명하게 보이는 것들은 소수만이 관찰된다. 포유물의 빈도수는 거의 fractures와 무관한 등근 형태의 투회석 보다 길쭉한 형태의 결정에 더 많은 포유물을 내포하고 있다. 이들 포유물은 세가지 방법으로 균일화 한다. 첫째는 대부분의 석영내 A형 포유물이 보이듯 가열 됨에 따라 기포가 축소되어 사라져 액체상으로 균일화 하고, 둘째는 기포가 팽창하면서 결국 기체상으로 균일화 하거나, 셋째로 臨界 온도에 이르면 포유물내 meniscus가 갑자기 사라지는 특징적 현상으로 균일화 한다.

투회석내 유체포유물의 T_h 는 Fig. 5와 같이 요약되는데 313°C로부터 600°C까지 보이는 T_h 의 평균 온도는 $418^\circ \pm 42^\circ C$ (T_h max. = 600°C로 계산)이다. 대부분

Table 1 Comparison of T_h of fluid inclusions for different styles of homogenization in pyroxenes.

Sample No.	Phase of Homogenization (°C)		Critical Point (°C)
	T_h (V) Vapour	T_h (L) Liquid	
106084(B-4)	—	423	425
106086(T-2)	404	380	—
106106(5-0A)	—	396	403
106113(7-24)	418	418	—
106119(9-5)	405	418	—
106131(N-25-2)	462	424	—
106135(N-34-1)	—	409	—
106133(N-29-2)	411	439	—
106140(12-29)	420	373	—
	465	—	—
106144(12-33)	456	432	—
106137(12-23)	462	414	—
	—	476	—
106130(N-23-2)	—	444	422
106089(T-5)	397	413	—
106103(3-2)	380	422	—
106116(9-1)	384	384	—
106121(9-9)	366	366	—
	383	371	—
106039(K-10)	—	—	416

의 기체균일화 포유물은 인접하는 액체 균일화 포유물과 유사한 온도를 나타낸다(Table 1). 바로 이것은

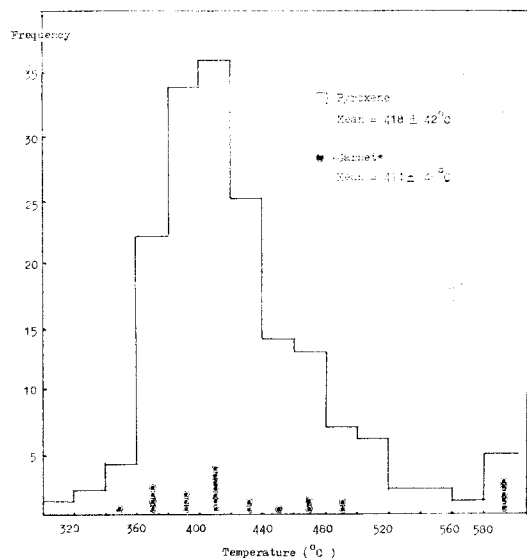


Fig. 5 Histograms plotting frequency versus T_h of fluid inclusions in pyroxenes and garnets from the M_1 skarn ore body.

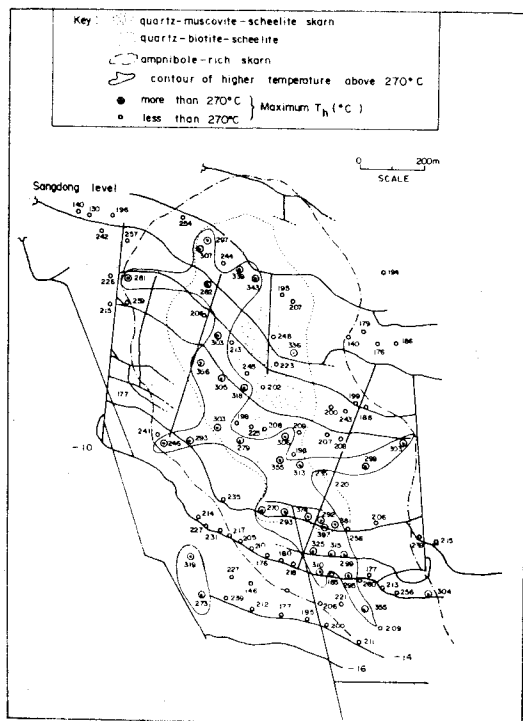


Fig. 6 Plan showing distribution of T_h in fluid inclusions in quartz in the M_1 skarn ore body.

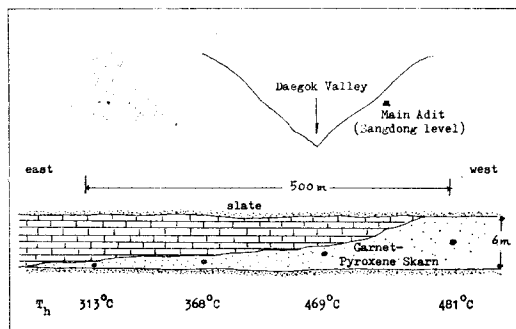


Fig. 7 Variation of T_h of fluid inclusions at the marginal part of the M_1 skarn orebody.

이들 포유물이 2相系(two-phases system)의 유체로 포획되어졌음을 암시해 준다. 공존하는 두 개기상 포유물과 액체상 포유물이 보이는 가장 낮은 온도는 366°C 임으로 366°C 이하의 T_h 값은 500~800bar에서 압력의 보정을 요한다(섬아연석-황철석-자류철석의 지압계 근거). M_1 광체 동측 가장자리에 석류석-투회석 스키른은 약 500m 이상 주향 방향으로 연장하며 尖滅하는 바 이들이 보이는 T_h 는 Fig. 7에서 보이듯이 본 광체로부터 멀어지면서 온도는 하강한다. 366°C 이상의 경우는 壓力 補正을 要하지 않고 그 이하의 온도에서는 壓力 補正을 해야되므로 이렇게 되는 경우 이와

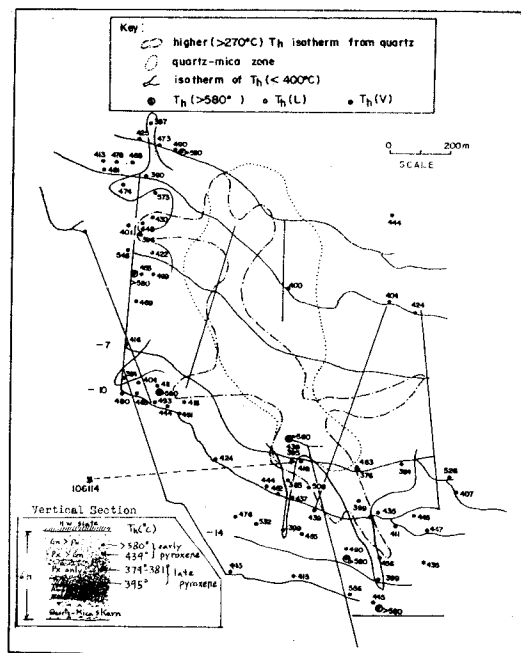


Fig. 8 Plan showing distribution of the highest T_h values in pyroxene (hedenbergite) crystals.

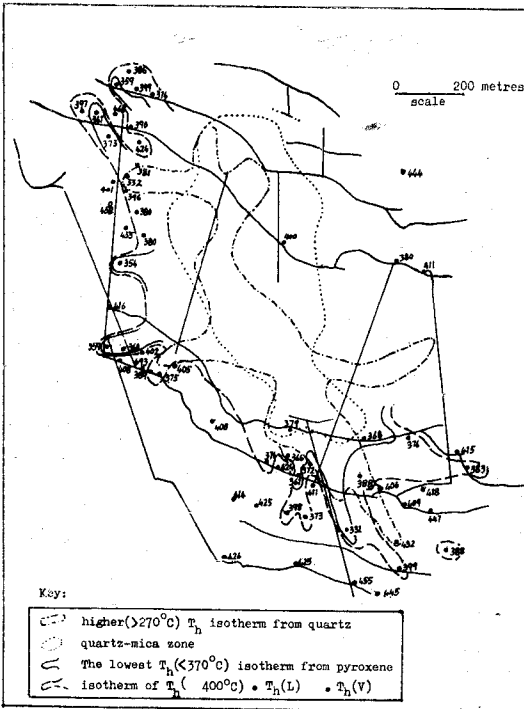


Fig. 9 Plan showing distribution of the lowest T_h values in pyroxene (hedenbergite) crystals.

같은 변화도는 何等의 의미를 갖지 못한다. 어디까지나 압력의 추정은 유화물에 근거를 둔 만큼 이로 부터의 압력의 적용은 무리 일런지도 모른다.

Fig. 8과 Fig. 9은 각 시료에서 얻은 最大와 最小 T_h 값을 향내 평면도에 圖示 한 것이다. 그림이 보이고 있듯이 가장 낮은 T_h 는 주 광화용액의 통로 가까이 분포하는 경향을 보인다. 바로 이것은 후기에 연이어 주입된 용액에 의해 투회석은 재 결정된 것임을 암시해 준다. 시간이 지남에 따라 점차 온도가 하강하였음은 시료 106114에서 분명하게 보여주고 있다. 즉 초기 투회석 스카른으로부터 후기 투회석 스카른으로 가면서 T_h 는 下落된다(Fig. 8).

몇 개 투회석 시료는 C형 포유물을 함유하고 있음을 관찰케 했다. $T_h > T_m$ 인 경우는 포획될 당시의 비포화된 용액으로 있었음을 암시해 주며 이러한 염 용액은 두개의 상, NaCl-rich 水溶性계로 개스가 많은 포유물과 공존할 수 있었으리라 믿는다.

M_1 스카른내의 회중석(scheelite)

회중석내의 유체포유물은 직경이 약 0.05mm의 것도 있으나 대부분은 너무나 작아 관찰이 불가능하다. 단 하나의 시료(103170)에서 halite와 sylvite 및 불투

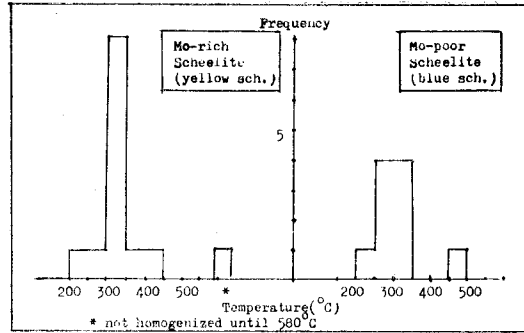


Fig. 10a Histograms showing a comparative range of T_h between Mo-rich scheelite and Mo-poor scheelite.

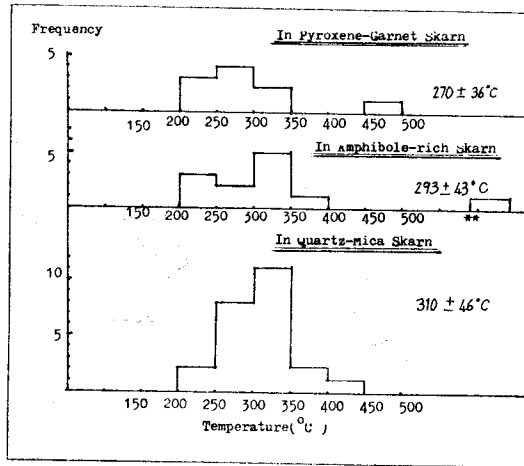


Fig. 10b Histograms of T_h values in scheelites of the M_1 orebody.

명광물(차류철석?)을 함유한 C형 포유물과 A형 포유물이 관찰되었다. A형과 C형 포유물이 갖는 T_h 는 207°로부터 498°C까지의 변화를 보이며 평균은 302°C로 나타난다. 이 가장 높은 498°C의 均一化 온도는 투회석과 共存하는 灰重石에서 일어난 것인 만큼 이 회중석은 초기의 스카른 형성단계에 정출되어진 것으로 추측할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이 한 회중석 결정에서 Mo를 많이 함유한 중심부와 Mo를 거의 함유하지 않는 가장자리 부분의 유체포유물이 보이는 T_h 값과 Mo-rich scheelite와 Mo-poor scheelite에 함유된 유체포유물의 T_h 값을 구분하여 조사하면 Fig. 10a, 10b와 같다.

M_1 스카른중 其他 鑛物

磷灰石: 이들이 가진 유체포유물이 보이는 T_h 는 250°C로부터 320°C까지 비교적 좁은 범위의 변화를 보이며 평균은 280°C를 기록한다. 인회석은 회중석 및

석영과 긴밀한 수반관계를 갖는 만큼 인회석내 T_h 값은 거의 공존하는 회증석의 T_h 와 거의 같다. 그러나 이때의 온도는 인접한 석영내 포유물의 T_h 보다 훨씬 높다(文建柱, 1979).

石榴石: 대체로 대부분의 석류석은 유체포유물을 보이지 않고 있으나 비교적 후기 생성된 것으로 보이는 소수의 석류석에서 A형의 포유물이 관찰 된다. 대체로 공존하는 투휘석의 T_h 와 유사하여 340°에서 600°C까지의 온도 변화를 보이며 평균 411°±34°C를 기록한다(Fig. 5). 균일화되는 양상도 투휘석과 거의 유사한데 일제온도를 보이면서 균일화 하는 한 포유물의 T_h 는 433°C이었다.

角閃石: 두개의 시료에서 관찰된 유체포유물의 균일화 온도는 292~307°C(106126)와 287~293°C(106048)이며 후자의 경우 공존하는 석영의 T_h 는 207°C이다.

黑雲母: 두 포유물에서 측정된 T_h 는 381°C(103093)와 286°C(106173)로 후자의 경우 인접하는 각섬석의 포유물이 갖는 T_h 는 293°C이고 공존하는 석영의 T_h 는 194°C이다.

Vesuvianite: 변질광화된 함내 맥암의 스키르화 광체의 vesuvianite로부터 측정된 포유물의 T_h 는 365°, 397° 및 454°C로 가장 높은 온도는 기체상으로 균일화 하는 포유물이 보여준 T_h 값이다.

B형 包有物의 均一化 溫度

실내 온도에서 CO₂는 두개의 상을 보인다. 이때 액체 CO₂는 가스 CO₂의 주위에 얇은 층을 이루는 바드물게 B형 포유물의 기포는 액체 CO₂내에서 流動함을 관찰할 수 있다. B형의 포유물은 석영과 형석에서 많이 관찰되는 바, 대부분의 CO₂는 액체상으로 균일화 하거나 관찰된 시료중 하나(103160)는 장산규암의 석영에서 23.7°C에 가스상으로 균일화 하며 다른 하나(103214)는 석영맥의 것으로 350°C에 가스상으로 균일화 한다.

CO₂가스를 많이 함유한 포유물은 31°C 이상에서 A형과 같이 되고 더 가열시킴에 따라 그들중 소수는 類似한 T_h 를 보인다. 그러나 대부분 A형 포유물과 B형 포유물은 그 根源을 달리하는 유체로 부터 포획되어진 것으로 믿는다. 왜냐하면 CO₂가 많은 B형 포유물은 한 시료에서 그 수가 다량인 A형 포유물에 비해 너무나 적고 때로는 별개의 시료에서 나타나기 때문이다. 스키르이 아닌 석영맥과 장산규암의 석영맥중의 유체내에 CO₂가 존재하고 있음은 CO₂도 광화용액중의 한 구성성분이었음을 提示하여주나 T_h 가 비교적 낮으므로 CO₂를 함유하는 유체는 광화대내를 循環하는 이차의 유체가 석회석과 반응함에 따라 형성되지 않았을까 하고 假定해 본다. 스키르에서 단 하나의 시료만이 CO₂ 가스 포유물을 보이고 있음으로 미루워 CO₂는 재결정되는 과정에서 제거되었거나 비교적 후기에 循環한 二次的 용액중에서 형성되어진 것으로 믿어진다.

CO₂를 함유한 포유물에서 냉각과정중 clathrate 형성은 포유물이 너무 작기 때문에 관찰하기가 거의 어렵다. 그러므로 약간 큰 포유물 중에서 관찰되기는 하였지만 T_m clathrate는 Burrus(1981)에 의해 개발된 방법을 이용하여 CO₂함유 포유물중 CO₂의 몰 %를 계산해 볼 수 있었다(Table 2). 대부분의 범위는 0.1~0.2이며 최저값은 스키르 시료에서의 0.05에 이른다. 대부분의 上東 M₁ 스키르(106020)의 경우 액체 CO₂가 보이지 않는다는 것은 2~3몰% CO₂(Collins, 1979)를 암시해주며 clathrate 관찰이 어려움은 아마도 0.2몰% CO₂ 이하 이었음을 推測할 수 있다.

C형 包有物의 均一化

완전한 正六面體로 식별되는 halite가 가장 많고 몇 포유물은 회증석(103170), 투휘석(103063) 및 석영으로부터 halite 이외에 sylvite 결정을 함께 보여준다. 유백색 석영중에서 맑게 투명한 석영 결정 하나(103154)

Table 2 Calculated values of bulk density of CO₂-bearing inclusions (using data from Burruss, 1981).

Sample No.	T_h CO ₂ (°C)	Dco ₂ g/cc	Pco ₂ at 40°C (bars)	Bulk D mole/l	Bulk Molar V cm ³ /mole	H ₂ O Mol %	H ₂ O V %	Xco ₂	T_h (°C)
103161	28.8	0.70	120	46	21.7	83.9	65	0.16	254
103161	23.7	0.78	135	42.6	23.5	88.0	68	0.12	236
103155	29.1	0.55	98	36.4	27.5	81.6	52.3	0.19	243
103156	25.1	0.6	100	48.6	20.6	90	82.5	0.1	223
103106	28.1	0.67	113	43	23.3	88.6	68.3	0.11	220
106020	28.9	0.65	110	50.1	19.9	95	87.5	0.05	308
103198	28.9	0.65	199	42.5	23.5	89	69	0.11	199
103215	30.7	0.5	90	47.5	21.1	94	81.4	0.06	394

D=density, V=volume

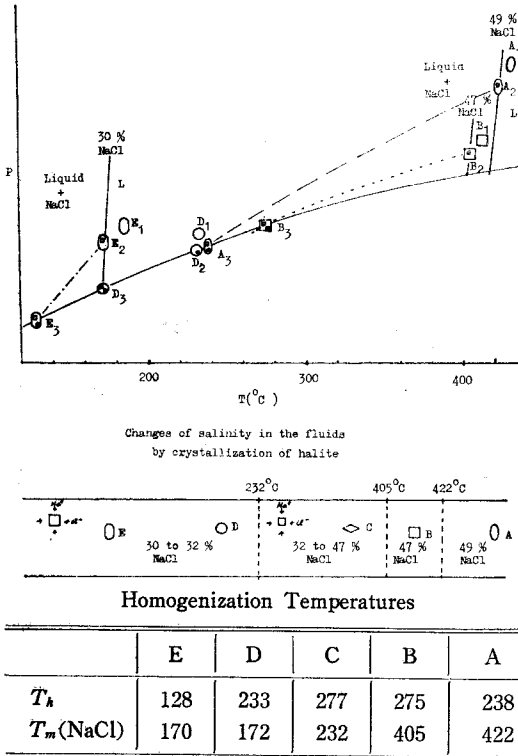


Fig. 11 Extrapolated solubility curve along the Sangdong halite trapping (e.g. specimen 103154).

는 많은 수의 halite를 수반하는 포유물이 관찰되고 그 가운데 여섯개 포유물은 halite와 sylvite가 함께 나타난다.

Ravich & Bororaya(1949)와 Roedder(1971)의 鹽溶液에 대한 자료를 이용해서 sylvite-포유물에 대한 K/Na율을 결정할 수 있다. 0.29로부터 0.73까지의 변화를 보이고 있음은 傾向性を 파악하기 위한 자료가 충분치 못함을 알 수 있다. 어떤 C형 포유물은 $T_m \text{ NaCl} > T_h$ 인 異常値를 보여주며 Fig. 10, 11에 圖示한 바와 같이 Cloke & Kesler(1979)의 halite trend를 보여준다. 시료 103154가 주는 現象은 유체가 냉각해 가는 동안 유체가 氣相曲線(vapor curve)을 교차하기전에 halite가 정출하는 경우 또는 교차한 후에 결정화하는 경우를 설명해 주고 있다.

투회석-석류석 스카른내 투회석의 C형 포유물은 개스가 많은 포유물과 공존하면서 二相(two phases)系の 염성분이었을 것임을 이미 주목케 한 바 있다. 이는 C형 포유물이 석영-운모 스카른과 석영맥내에서 끓음(boiling) 흔적을 전혀 보이지 않은 상태에서도 존재하

고 있음을 가능토록 한다. 두번째로 높은 염도는 영구적인 관계를 가지면서 지하수가 열수계와 합류되어졌음을 나타내 주고 있다고 가정된다. 이러한 결과는 가장 높은 온도를 보이는 스카른으로부터 후기 석영맥의 비교적 낮은 온도까지에서 보여지고 있다.

壓力的 決定과 壓力補正

투회석 결정의 성장기 동안 유체가 끓었다는 증거는 366°C 이상의 T_h 값은 압력보정을 요하지 않고 있음을 가리켜 준다. 균일화 하는 중 臨界點에 가까운 유체는 진짜 포획온도이거나 그보다 낮은 온도를 나타낸다. 포유물이 단순한 NaCl-H₂O계로 가정할 경우 최소 압력은 225와 375 bar 사이로 추산된다(Table 3). 이들 값은 유체가 분명히 더욱 복잡해질때 정성적인 값일 뿐이다. 임계점에 가까운 투회석내 T_h 값은 包含物이 갖는 T_h 와 類似하여 실제 포획온도임을 나타내주고 있다. 석영과 형석에서 임계점에 가까운 포유물은 개스가 많은 포유물을 수반치 않지만 약간의 압력보정이 필요한것 같다. 왜냐하면 그들이 갖는 T_h 값이 임계현상을 보이지 않는 공존하는 A형 포유물의 수정된 포획온도와 맞먹기 때문이다.

壓力的 獨自的 推定은 석영-운모 스카른중 황철석-자류철석-섬아연석의 共生을 보이는 것으로 부터 섬아연석을 EPMA로 분석해 이를 근거로 산출하였다. Shimizu & Shimazaki(1981)이 Scott & Barnes(1971)의 자료를 이용해 만든 아래의 같은 식을 근거로 스카른 형성의 總壓力을 추정하였다.

$$P(bb) = 42.30 - 32.10 \log M_{\text{FeS}}^{\text{Sph}}$$

여기서 $M_{\text{FeS}}^{\text{Sph}}$ 는 섬아연석중 FeS몰%이다. 시료 103121에서 FeS몰%는 19.36에서 20.96%의 범위를 가짐으로 평균 800bars의 압력을 추정케 한다. K-Ar년대 측정에 의하면(Farrar et al. 1978) 咸白向斜 形成

Table 3 Critical temperatures applied to estimate minimum pressure of trapping inclusions. (from Sourirajan and Kennedy, (1962))

Sample No.	Host Mineral	Critical Temperature (°C)	NaCl content (%)	Pressure (bars)
103200	quartz	405	3.0	380
106044	quartz	397	2.2	275
106084	pyroxene	425	5.0	340
106039	pyroxene	416	4.2	330
106130	pyroxene	422	4.8	340
106106	pyroxene	403	3.7	280
103120	fluorite	376	0.2	225

Table 4 Range of possible corrections to the homogenization temperatures A inclusions at different pressures and salinities at the Sangdong tungsten skarn deposit.

300 bars						
Salinity NaCl (%)	$T_h(^{\circ}\text{C})$					
	150	200	250	300	350	400
1	30	24	15	15	—	—
5	32	25	21	19	20	—
10	—	—	25	20	20	20
15	—	—	30	22	18	15
20	—	—	35	25	20	18
25	—	—	27	20	17	15

500 bars						
Salinity NaCl (%)	$T_h(^{\circ}\text{C})$					
	150	200	250	300	350	400
1	45	40	40	47	60	80
2	45	40	38	38	45	48
10	—	—	43	39	40	42
15	—	—	45	40	38	38
20	—	—	50	45	45	48
25	—	—	40	48	60	80

800 bars						
Salinity NaCl (%)	$T_h(^{\circ}\text{C})$					
	150	200	250	300	350	400
1	66	62	64	75	90	108
5	66	63	62	66	78	100
10	—	—	70	69	72	78
15	—	—	71	70	70	104
20	—	—	80	74	70	72
25	—	—	70	70	71	78

에 뒤따라 일어난 텅그스텐 광화작용은 적어도 Triassic 퇴적암이 上東地域에 쌓여있을 때 일어난 것임을 암시해 주고 있으므로 현재 광산 노두 층준 위에 백악기—Triassic년대의 퇴적층이 덮힌 두께는 2.5km 이상이 되었을 것으로 미루어 약 625bars의 lithostatic pressure를 추정해 볼 수 있다.

300, 500, 800bars의 세 경우 석영의 A형 포유물로 부터 얻은 염도의 유체에 대한 壓力補正은 Potter(1977)의 도표를 이용해 Table 4와 같이 구하였다. 임계온도와 끓음의 증거를 보이는 것을 제외한 A형 포유물중의 T_h 에 대해서 표의 보정치를 적용하면 대부분의 포

획온도는 스카른이나 맥상광체에서 300~500°C 사이에 놓인 넓다란 帶狀의 範疇내에 들게 됨을 알 수 있다. 광물내의 T_h 의 변화와 맥을 가로질러본 유체포유물의 온도변화는 분명하나 주 成長期 동안 스카른내에서 온도변화를 보였는지는 분명치 않다. 그렇지만 초기 스카른은 비교적 높은 온도에서 형성되었고 운모스카른은 비교적 낮은 온도에서 형성되었음은 전체적으로 시간이 흐름에 따라 온도는 하락하였음을 나타내주고 있다.

流體包有物의 成分

유체포유물에서 검출된 가장 흔한 species는 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_2 , CH_4 및 N_2 등이다(Roedder, 1972). 이들 이온을 포함하는 계열에 대한 phase diagram은 개개 포유물의 성분과 밀도의 추정을 가능케 한다. Crawford(1981)는 많은 유체포유물로 부터 한꺼번에 추출된 유체의 분석은 수용액의 포유물을 연구하는데 만족스런 결과를 얻을 수 없음을 지적하였다. 왜냐하면 유체마다 다양한 성분을 가질수 있기 때문이며 또한 분석중 표면의 汚染을 피하기가 어렵기 때문이다(Patterson et al., 1981).

관찰 되어진 유체포유물의 分量과 성분이 변하지 않는다는 가정하에 명확히 관찰할 수 있을 만큼 큰 결정에 局限하여 冷却과 加熱을 통한 관찰을 하였다. 실내 온도로 부터 냉각시켰다가 서서히 다시 가열되는 동안 相의 변화는 포유물내 유체의 성분을 감정케 해준다. A형 포유물에서 T_c (공용점), T_m (용해온도), T_f (어름의 용해온도) 측정은 溶質의 종류(solute species: 예 CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl 등)의 정보를 제공하여 총체적인 용융체의 농도를 알려준다. Daughter mineral의 T_m 은 포유물중 유체내 NaCl 과 KCl 의 용질농도와 K/Na 비를 합리적으로 결정케 한다(Fig. 12). B형 포유물중 T_f 로 부터의 염도는 냉각하는동안 clathrate가 생기게 되는 경우는 잘못 측정되기 쉽다(Collins, 1979). 典型的인 相의 변화에 대한 기록은 여기서는 생략키로 한다. 대부분 A형 포유물은 -50°C 로 부터 서서히 가열하는 동안 hydrohalite를 보이는데 이들은 보통 일음과 구분하기가 어렵고 또 관찰하기도 극히 어렵다. C형 포유물은 halite 결정이 약 0.1°C 에서 晶出을 시작할 때까지 hydrohalite를 보인다(예: 시료 103154는 hydrohalite의 최종 T_m 은 -0.6°C 에서 그리고 halite의 첫 出現은 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 이었다).

단지 소수의 시료에서만 sylvite와 halite를 함께 갖는 C형 포유물이 觀察된다. 대부분의 C형 포유물에서 sylvite가 관찰되지는 않았지만 富化帶에서

Sample No.	Host Mineral	KCl	NaCl	H ₂ O
103170(B)	scheelite *	70	27	3
103154	quartz *	29	71	40
	quartz •	14.5	85.6	46.9
	quartz •	16.7	83.3	55.1

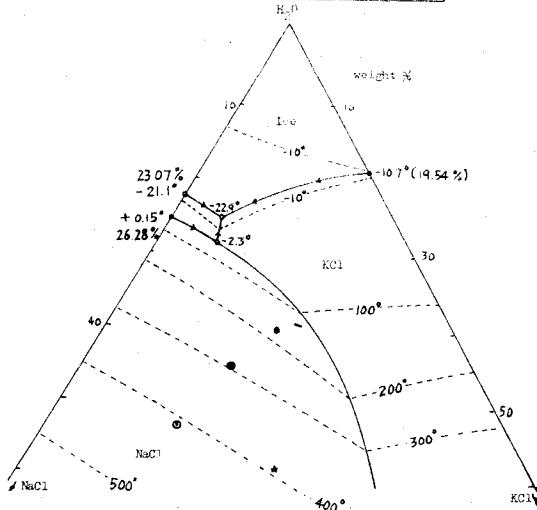


Fig. 12 Phase diagram for part of the system NaCl-KCl-H₂O. (data from Roedder (1971)).

운모의 多樣產出 그리고 K-고대변성작용에 관한 증거는 광화용액중 K이 중요한 원소가 되고 있음이 틀림없다는 것을 보여줘야 될텐데 측정된 KCl/NaCl비는 비교적 높은 것으로 나타난다(예: 회중석중 KCl/NaCl=0.9, 석영에서 0.4~0.9).

많은 수의 포유물은 NaCl-H₂O계의 경우보다 약간 낮은 T_e를 보였다. 즉 -20.8°C 보다 낮은 온도를 보인다(Potter et al., 1978, Crawford, 1981). -20°C와 -30°C 사이에서 변하는 T_e와 이 共融點의 하락은 KCl의 존재 탓인 것 같다. 공용점이 -30°C까지 떨어지는 원인은 -28°C에서 NaCl-H₂O계는 準安定性 共融狀態(metastable eutectic)가 되기 때문이다(Crawford, 1981).

Kwak & Tan(1982)은 King Island 스카튼 광상의 유체에서 CaCl₂존재의 중요성을 강조한 바 있다. 많은 수의 첫 T_e는 -50~55°C에서 보여주어 上東의 경우도 CaCl₂·6H₂O와/또는 MgCl₂·12H₂O계의 용융에 基因되는 것 같다. Linke(1965), Ypma(1979) 및 Crawford(1981)에 의한 냉각시험 자료는 CaCl₂-H₂O계의 용융점(T_e)이 NaCl, KCl 및 MgCl₂의 첨가로 -55°C 이하로 떨어진다는 사실을 가리켜 주며 Roedder(1963) 또한 Seidell의 자료를 인용해 CaCl₂-NaCl-MgCl₂-H₂O계에서 T_e는 -58°C, CaCl₂-H₂O계는 -51°C 그리고 CaCl₂-NaCl-H₂O계는 -52°C임을 소개한바 있다. 시료 103154에서 첫 T_e가 -56°C에서 -61°C까지로 측정된 것은

MgCl₂, KCl 및 CaCl₂의 존재를 암시해 주고 있다. NaCl이라고 생각되었던 소수의 daughter minerals는 實은 존재하면서도 냉각-가열 관찰에 의해 탐지하기 어려운 종류(species)인 FeCl₂ 또는 FeCl₃ 일런지도 모른다.

액체 CO₂를 함유한 B형 포유물은 희귀하며 대부분이 석영맥에서 발견된다. 그러나 소량의 CO₂는 대부분의 系에서 존재할 것이지만 아주 작은 포유물(12~18 마이크로론)에서 냉각할때 생기는 clathrate를 탐지하기는 극히 어렵다고 본다. B형과 A형 포유물이 공존하는 경우 유사한 T_h가 측정되지만 不混合 系로써 기대되는 CO₂가 많은 포유물은 보이지 않는다. 낮은 T_h 값을 보이는 포유물은 약 5% NaCl 濃度의 유체에서 이상하게 높은 CO₂ 함량을 보이며 높은 T_h 값을 보인 포유물은 불혼합 CO₂-NaCl-H₂O계의 일부로 고려되는 경우 이상하게 낮은 CO₂ 함량을 갖는다(Table 2: Gehrig et al., 1979). 그러므로 그 포유물은 하나의 相의 系로부터 포획되어 졌으며 그들은 後期 유체에 의해 다시 채워지는 작용에 의해 거의 이동되어진 初期 流體의 殘留로 여겨진다.

T_f에 의해 측정된 B형 포유물의 총염도는 CO₂의 영향을 받게 될 것이므로 NaCl의 重量 %로 나타낼 경우는 너무 높게 나타난다. 여러가지 광물중 제한된 수의 A형과 B형 포유물로부터 얻어진 염도의 범위는

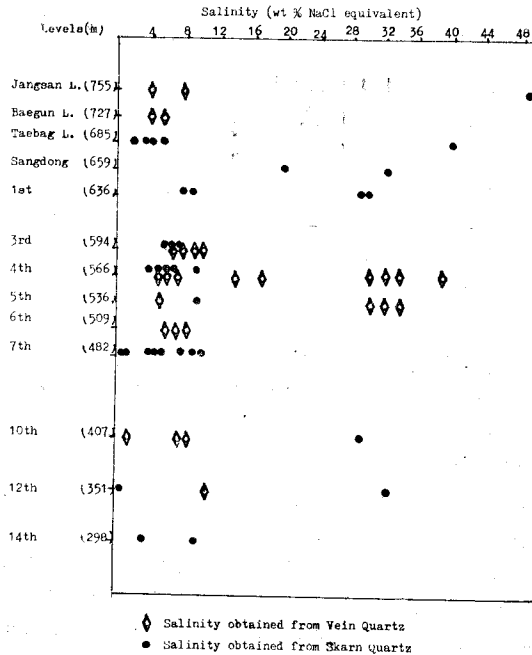


Fig. 13 Variation in salinities of fluid inclusions in quartz with depth.

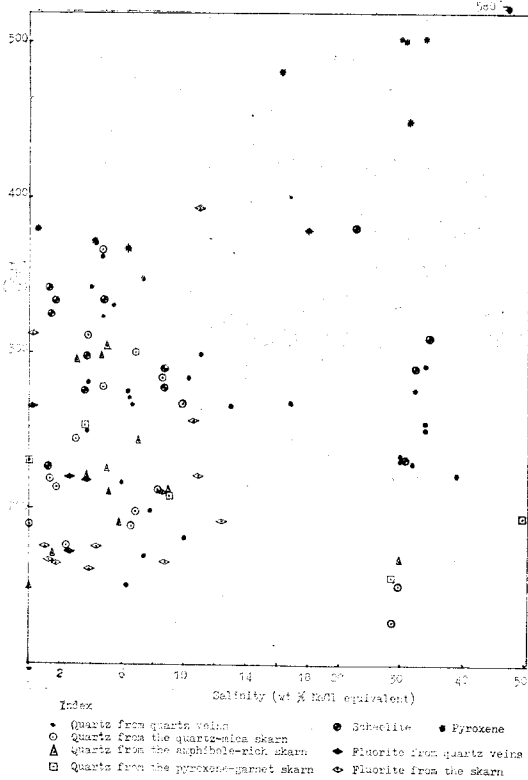


Fig. 14 T_h versus salinities from quartz, scheelite, fluorite and pyroxene.

거의 신선한 물과 약 22% NaCl농도 사이에 놓인다. Halite를 함유하는 C형 포유물은 28%에서 51 wt % NaCl에 이르는 광대한 범위의 범위의 염도를 보인다. 하지만 온도에 따른 염도 변화는 찾아볼 수 없다(Fig. 13). Fig. 14은 主構成鑛物과 産狀에 따른 염도 대 T_h 를 圖示한 것이다. 여기서 bimodal분포의 徵候를 약간 보이고 있어 앞서 언급했듯이 둘 또는 그 이상의 유체가 判別되었음을 확인해 주는 듯 하다.

結論 및 要約

同一한 T_h 값을 보이는 氣體 또는 液體로 均一化 하는 A형 包有物에 투회석-석류석 스키르른에서 共存하고 있음은 boiling을 나타내 주며, 이들중 약간은 臨界 온도에서 나타나는 樣狀을 보여준다. KCl-NaCl-MgCl₂-CaCl₂-H₂O系에 대한 이용 가능한 實驗資料가 없기 때문에 NaCl-H₂O系에서 Sourirajan & Kennedy(1962)의 것과 같은 가스-액체 圓錐의 위치를 도시하기는 불가능하다. 그러나 대략적인 P-T 조건을 일반적인 용도로 나타내 보이기 위해 얻어진 값을 그 도표에 圖示해

보면 Fig. 12와 같다. NaCl-H₂O계는 거의 臨界的 流體의 경우 225~380 bars의 壓力을 의미 해주고 있지만 두개 相의 원추는 다른 鹽들의 첨가로 움추려져서 더욱 낮은 壓力을 나타내준다(예 : NaCl-KCl-H₂O계, Linke 1965).

비교적 높은 염도를 보인 투회석내 C형 포유물은 二相系(two phases system)의 염이 많은 流體를 나타내 주나 더욱 가능성 있는 설명은 그 계를 통과하여 鑛化溶液과 混合된 地下水를 나타내 주고 있다. 대조적인 염도를 갖는 두 유체의 존재는 기타 스키르른내와 석영맥으로 부터의 石英內의 bimodal 分布를 보이는 염도에 의해 類推할 수 있다. $T_m NaCl > T_h$ 와 $T_h > T_m NaCl$ 을 보이는 C형 포유물은 初臨界 유체로 부터 약간 다른 길을 따라 冷却되어졌음을 反映해 준다. 가장 높은 T_h 값은 투회석-석류석 스키르른의 투회석 중에서 보여준다. 투회석과 공존하는 석영은 대체로 더 낮은 T_h 를 보이며 기체가 많은 包有物을 갖지 않는다. 석영의 T_h 는 투회석-석류석 스키르른으로 부터 각섬석 스키르른을 경유 석영-운모 스키르른으로 가면서 漸次的으로 증가한다. 그렇지만 이들 석영의 T_h 값은 투회석이 보이는 T_h 만큼 높지는 않다. 비교적 낮은 T_h 는 석영-운모대의 증양부 가까이 나타난다. 회중석은 석영이 보이는 것과 類似한 경향을 보여준다. 이상을 요약하면 다음과 같다.

(1) 투회석-석류석 스키르른은 350°~550°C 온도의 二相 流體에 의해 석회암이 교대받아 형성되어졌다. 더 낮은 T_h 값은 후에 再結晶作用에 의한 것이다. 가스-액체의 二相으로 있었을 것이므로 366°C 이상의 온도에서는 壓力補正을 要하지 않는다. 이 스키르른은 초기의 슝-wollastonite 스키르른 보다 더 낮은 온도에서 주로 형성되어졌다.

(2) 투회석-석류석 스키르른은 300~500°C(압력보정 온도)의 끓지 않는 유체에 의해 部分的으로 투회석, 각섬석 운모 스키르른으로 교대된다. 온도는 석영, 형석, 회중석이 일부 정출되는 동안 증양의 운모대로 부터 밖으로 나아가며 下降한다.

(3) 운모 스키르른의 核心이 되는 部位에서 백운모, 석영의 형성을 가져온 후기 유체는 비교적 묽은 상태로 온도는 약 350°C이었다. 石英脈은 包有物이 유사한 특징적 均一化를 보이고 있으므로 백운모가 많은 스키르른과 동일 시대에 형성된 것으로 본다. 석영맥에서 온도 변화도를 보이는 증거는 없으나 슝-철망간중석과 슝-휘수연석영맥이 기타 석영맥 보다 더 높은 온도에서 형성된 것 같다.

(4) 灰重石이 보인 均一化 溫度는 207°~498°C인 만

큰 灰重石의 晶出은 透輝石-柘榴石의 生成이 한참 전 행된 그 중반기부터 생성되었음을暗示해준다.

(5) 石英과 螢石은 더욱 낮은 온도(250°C 이하)에도 그 晶出이 계속되었다.

(6) 灰重石을 晶出시킨 鹽化溶液의 殘留水溶液의 成分은 $KCl-NaCl-MgCl_2-CaCl_2-CO_2-H_2O$ 系로 대표된다.

(7) 유체포유물 연구의 성과는 均一化溫度 資料를 上東嶺山 新鑛體 探查에 應用토록 慫慂하여 다음과 같은 成果를 얻게 하였다.

스카른 形成溫度의 高溫(600°C)을 근거로 가까운 거리(1km이내)에 花崗岩類의 존재를 예측 하였다. 그 구체적 위치는 일차보고서(문건주, 1979)에서 Cathles (1977) 모델을 인용해 본맥의 석영-운모대 적하부에 해당하는 태백산 상위부로 국부적으로 돌출된 형태를 가상하였던 바 이미 鑛振試錐에 의해 花崗岩이 著者の豫想대로 발견되었다. Clark(1985)는 이 화강암으로부터 측정된 백운모의 $K-Ar$ 년대는 85MA로 上東本鑛體로부터 측정된 角閃石과 黑雲母의 年代(83~85 MA: Farrar et al. 1978)와 거의 類似한 年代를 보여 주어 流體包有物의 높은 T_h 의 熱供給源이 確認된 셈이다.

參 考 文 獻

- Burruss, R.C. (1981) Analysis of phase equilibria in C-O-H-S fluid inclusions. In: L.S. Hollister et al. (ed.) Short Course In Fluid Inclusions. Application to Petrology, p. 39-73.
- Cathles, L.M. (1977) An analysis of the cooling of intruises by grounwater convection which includes boiling. *Econ. Geol.*, v. 72, no. 5.
- Clark A.H. (1985) Personal Communication.
- Cloke, P.L. and Kesler S.E. (1979) The halite trend im hydrothermal solutions. *Econ. Geol.*, v. 74, p. 1823-1831.
- Collins, P.L. (1979) Gas hydrates in CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. *Econ. Geol.*, v. 74, p.1435-1444.
- Crawford, M.L. (1981) Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. In: L.S. Hollister et al. (ed) Short Course In Fluid Inclusions. Mineral assoc. Canada, p. 75-100.
- Farrar, E., Clark, A.H. and Kim, O.J. (1978) Age of Sangdong tungsten deposit, Republic of Korea, and its bearing on metallogeny of the southern Korean peninsula. *Econ. Geol.*, v. 73, p. 547-566.
- Gehrig, M., Lentz, H. and Franck, E.U. (1979) Thermodyanmic properties of water-carbon dioxide-sodium chloride mixtures at high temperatures and pressures. In: K.D. Timmerhaus et al. (ed) High-Pressure Science and Technology. v. 1, Physical Properties and Material Synthesis. p. 539-542.
- Kwak, T.A.P. and Tan, H.T. (1981b) The importance of $CaCl_2$ in fluid composition trends-evidence from the King Island (Dolphin) skarn deposit. *Econ. Geol.*, v. 76, p. 955-960.
- Linke, W.F. (1965) Solubility of inorganic and metal-organic compounds. (4th ed.). 2, Am. Chem. Soc., 1914p.
- 文建柱, 1979. 상동중석광상의 유체포유물연구, 광산지질, 12권 4호, p.197-206.
- Patterson, D.J., Ohmoto, H. and Solomon. M. (1981) Geologic setting and genesis of cassiterite-sulfide mineralization at Renison Bell, western Tasmania. *Econ. Geol.*, v. 76, p. 393-438.
- Potter, R.W. (1977) Pressure corrections for fluid-inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system $NaCl-H_2O$. *J. Res. U.S. Geol. Surv.* v. 5, No. 5, p. 603-607.
- Potter, R.W., Clynne M.A and Brown, D.L. (1978) Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Geol.*, v. 73, p. 284-285.
- Ravich, MI. and Borovaya, F.E. (1949) Phase equilibria in ternary watersalt systems at elevated temperatures. *Akad. Nauk. U.S.S.R. Izvyestiya Syktora Fiz.-Khim. Analiza*, v. 19, p. 69-81.
- Roedder, E. (1963) Studies of fluid inclusions II; Freezing data and their interpretation: *Econ. Geol.*, v. 58, p.167-211.
- Roedder, E. (1971) Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah; Butte, Montana; and Climax Colorado. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 98-120.
- Roedder, E. (1972) Composition of fluid inclusions. *U.S. Geol. Surv.*, Prof. Paper 440JJ.
- Scott, S.D. and Barnes, H.L. (1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 653-669.
- Shimizu, M. and Shimazaki, H. (1981) Application of the sphalerite geobarometer to some skarn-type ore deposits. *Mineral Deposita*, v. 16, p. 45-50.