

東寶 重石—모리브덴 鑛床의 鑛物共生과 流體包有物

朴 喜 寅* · 文 相 鎬* · 裴 永 富*

Mineral Paragenesis and Fluid Inclusions of the Dongbo Tungsten-Molybdenum Deposits

Hee-In Park, Sang Ho Moon and Young Boo Bea

Abstract: The Dongbo tungsten-molybdenum deposits are fissure-filling veins emplaced in granites of late Cretaceous age. Integrated field, mineralogic and fluid inclusion studies were undertaken to illuminate the characters and origin of the ore deposits.

Mineral paragenesis is complicated by repeated fracturing, but four distinct depositional stages can be recognized; (I) tungsten-molybdenum minerals-quartz-chlorite stage, (II) iron-oxide and sulfides-quartz stage, (III) iron-oxide-base metal sulfides-sulfosalts-quartz-carbonates stage, (IV) barren rhodochrosite-zeolite stage.

Fluid inclusion studies were carried out for stage I quartz and stage III quartz, sphalerite and calcite. Fluid inclusion studies reveals highly systematic trends of homogenization temperature and salinity throughout the mineralization. Ore fluids during stage I were complex, NaCl rich brine and salinity reached values as high as 34.4 weight percent equivalent NaCl, but the later ore fluids were more dilute and reached to 9.7 weight percent equivalent NaCl during stage III. Intermittent boiling of ore fluid during stage I is indicated by the fluid inclusions in stage I quartz. Depositional temperatures and pressures during stage I range from 520°C to 265°C and from 600 to 400 bars. Homogenization temperatures of the stage III quartz, sphalerite and calcite range from 305°C to 190°C.

Fluid inclusion data from the Dongbo mine are nearly similar to those from other hydrothermal tungsten deposits in the Kyeongsang basin. Depositional temperature and salinity of ore fluids during precipitation of tungsten-molybdenum minerals in Dongbo mine were much higher, but CO₂ contents were much lower than those from hydrothermal tungsten-molybdenum deposits of late Cretaceous plutonic association in central parts of Korean peninsula.

序 言

釜山 附近에는 몇 個의 重石—모리브덴 鑛床이 密集 分布한다. 이들 中 規模는 작으나 現在 開發되고 있는 것은 釜山市 毛羅洞에 있는 東寶鑛山 뿐이다. 이 鑛床은 過去에는 重石을 主對象으로 하여 開發되어 왔으나 現在는 모리브덴을 主로 產出하고 있다.

이 地域의 地質에 對하여는 金海地質圖幅(李河榮 等, 1964)과 東萊·月內地質圖幅(孫致武 等, 1978)이 發刊 되어 있고, 鑛床에 對하여는 大韓鑛業振興公社 調查部에 依해 調查報告(1972)된 바 있다.

이 研究는 釜山 附近의 白堊紀末 重石—모리브덴 鑛床의 產出狀態, 鑛物共生關係와 流體包有物에 對하여 研究하여 본 것이다.

地 質

釜山附近의 地質은 慶尙累層群의 楡川層群에 屬하는 流紋岩質 火山岩類와 後期에 이를 貫入한 花崗岩類로 構成되어 있다(Fig. 1).

이 地域의 花崗岩類에 對하여 金海地質圖幅(李河榮 等, 1964)에서는 黑雲母花崗岩으로 表示되어 있고, 東萊·月內地質圖幅(孫致武 等, 1978)에서는 馬山岩類에 屬하는 微文象花崗岩類로 表示되어 있다. 그러나, 이번

* 서울大學校 自然科學大學 地質科學科

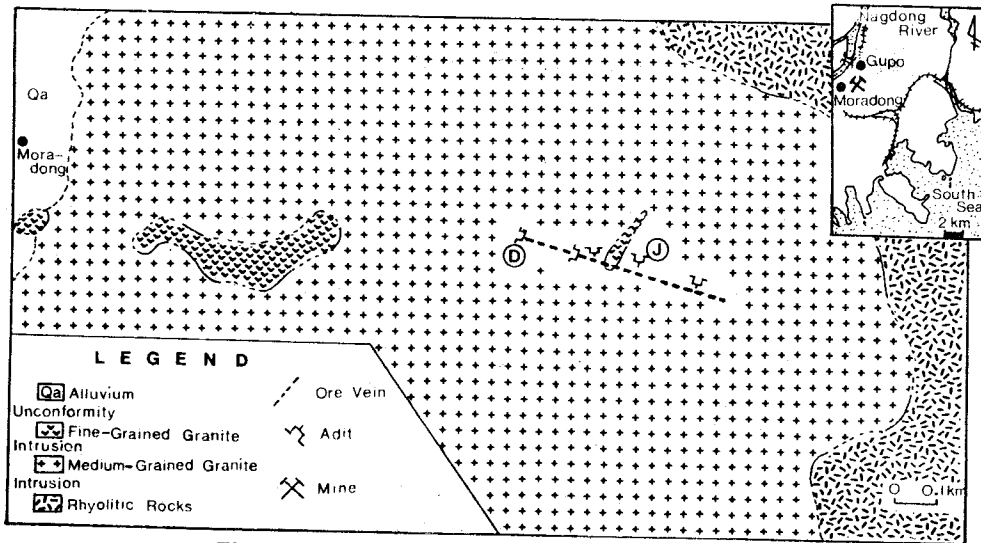


Fig. 1 Location and geologic map of Dongbo mine area.
D: Daejeol Adit, J: Jungang Adit

研究에서 鑛山 附近에는 貫入時期와 組織이 다른 中粒質花崗岩과 細粒質花崗岩이 있음을 알게 되었다. 이들 花崗岩內에는 N75~80W系와 N15~35E系의 節理가 優勢하게 發達되어 있다. 이 中 N75~80W系의 節理는 鑛山 附近에서 0.1~1cm 두께의 石英細脈으로 充填된 것이 많다.

流紋岩質 火山岩類는 이 地域의 東端部에 分布하며 中粒質黑雲母花崗岩에 依해 貫入되어 있다. 이 岩石은 流紋岩과 流紋岩質 火山岩碎屑岩으로 되어 있고, 流紋岩質 火山岩碎屑岩은 主로 溶結凝灰岩으로 되어 있다.

中粒質花崗岩은 粒狀組織을 보이나 部分的으로 斑狀組織을 갖기도 한다. 構成鑛物은 石英, 斜長石, 正長石, 피어다이트, 黑雲母를 主로 하고 少量의 角閃石,

Table 1 Modal analysis of granites in Dongbo mine area.

Sample No.	fine-grained granite		medium-grained granite	
	1-1	1-2	D-X	5-1
Compositions				
Quartz	37.1	34.6	36.3	36.3
Plagioclase	27.2	25.9	31.5	31.2
K-feldspar	33.6	38.7	29.5	28.0
Biotite	1.2	0.5	2.3	3.6
Hornblende	Tr.	—	Tr.	—
Opaques	0.7	0.2	0.4	0.3
Chlorite	0.1	Tr.	Tr.	0.6
Zircon	0.1	—	—	—
Apatite	Tr.	—	—	—

綠泥石과 不透明鑛物로 되어 있다. 이 岩石의 모으드 組成은 Table 1과 같고, 이를 Q-A-P圖(Fig.2)에 表示하여 보면 花崗岩 領域에 屬함을 알 수 있다. 不透明鑛物은 磁鐵石과 黃鐵石이다. 이 岩石은 마이아롤(miarole)構造를 갖기도 한다.

細粒質花崗岩은 前述한 中粒質花崗岩을 貫入하는 小規模의 岩體로 產出된다. 中粒質花崗岩과의 境界部의 이 岩體內에는 中粒質花崗岩片이 捕獲되어 있고 急冷帶도 觀察된다. 또한 巨晶質의 石英, 正長石, 磁鐵石으로 된 페그마타이트 팻취(patch)나 렌즈가 觀察되기

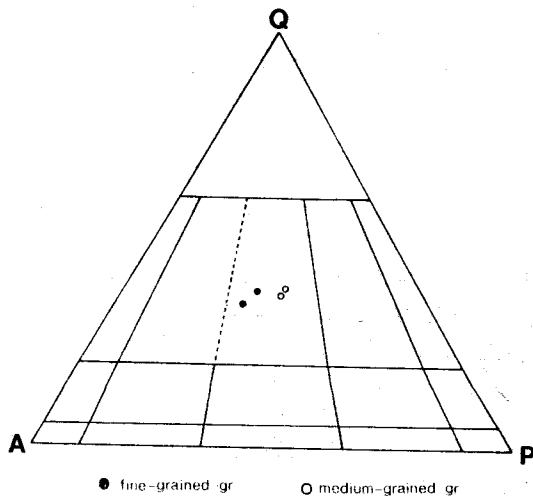


Fig. 2 Q-A-P diagram of granites in Dongbo mine area.

도 한다. 中粒質花崗岩에 比하여 細粒質이며 淡紅色을 띠우고 있어 兩者間에 區別이 容易하다. 構成鑛物은 石英, 피어다이트, 斜長石, 正長石을 主로 하고 少量의 黑雲母, 綠泥石, 黃鐵石, 磁鐵石, 角閃石, 저어콘, 磷灰石 等으로 되어 있다. 모오드組成은 Table 1과 같고 Q-A-P圖에 表示해 보면 Fig. 2에서와 같이 花崗岩 領域에 屬한다. 이 岩石에는 微文象組織이 顯著하고 마아타이트 構造도 觀察된다.

鑛 床

鑛床의 概要

鑛床은 中粒質花崗岩과 細粒質花崗岩內의 裂隙를 充填한 鑛脈鑛床이다. 鑛脈의 走向은 N75~80°W에 80° NE~垂直으로 傾斜한다. 鑛脈은 3個가 發達하나 主로 開發된 鑛脈은 1個脈 뿐이다. 이 鑛脈의 走向延長은 約 500m이고, 脈幅은 3~45cm로 膨縮한다.

이 鑛山에는 가장 東쪽의 No.2坑(195ML)으로 부터 西쪽으로 가면서 No.3坑, 中央坑(175ML), No.4坑, No.5坑과 大切坑(110ML) 등의 坑道가 開設되어 있다. 이 中 現在 入坑可能한 坑道는 中央坑 一部와 No.5坑, 大切坑 뿐이다. 鑛振(1972)의 調査資料에 依하면 中央坑以東의 鑛脈 上部는 重石을 對象으로 하여 모두 採盡된 것으로 보인다. 現在는 이보다 西쪽의 大切坑에서 모리브덴을 對象으로 採鑛中이다. 口傳에 依하면 이 鑛脈의 東端上部는 金鑛으로서 처음에 開發되기 始作하였다 하나 確認할 길이 없다. 高度로 보아 가장 높은 位置의 이 鑛脈露頭에서 大切坑 水準까지의 高度差는 約 100m이다.

鑛石과 鑛物의 共生關係

이 鑛床에서 產出되는 主要 鑛石鑛物로는 輝水鉛石,

鐵망간重石, 灰重石, 黃鐵石, 磁鐵石, 赤鐵石, 閃亞鉛石, 黃銅石, 方鉛石 等이며, 이 外에 輝蒼鉛石, 비스무스—硫鹽鑛物, 테트라에드라이트 等이 產出된다. 脈石鑛物로는 石英, 菱망간石, 綠泥石과 少量의 螢石, 方解石, 沸石鑛物 等이 算出된다. 이 鑛床의 鑛化作用은 鑛化期間中의 破碎作用을 基準으로 하여 I, II, III, IV期로 區分되며 各 期別로 特徵的인 鑛物共生群을 보이고 있다.

I 期: I 期에는 重石과 모리브덴鑛物의 主晶出期이다. I 期에 晶出한 鑛物은 輝水鉛石, 鐵망간重石, 灰重石, 黃鐵石, 螢石, 石英, 綠泥石 等으로 構成되어 있다. 이들 鑛物中 石英은 脈의 大部分을 構成하며 I 期의 早期에서 末期까지 產出되는 모든 鑛物들과 共生한다. 輝水鉛石과 綠泥石은 密接히 共生하며 主로 鑛脈의 下位部와 脈의 緣邊部에서 產出된다. 鐵망간重石과 灰重石은 intergrowth하거나 灰重石이 鐵망간重石을 交代하여 產出되며, 自形의 輝水鉛石이 이들 두 鑛物의 集合體內에 包有되어 나타나기도 한다(Fig.3-A). 螢石은 脈緣邊部에서 輝水鉛石, 綠泥石과 함께 少量 共生하여 產出되며, 黃鐵石은 脈全般에 걸쳐 散點狀으로 產出되고 있다.

II 期: II 期에는 酸化鐵鑛物의 晶出期이다. II 期에 晶出한 鑛物들은 磁鐵石, 赤鐵石, 黃鐵石과 石英이다. 이 時期의 磁鐵石에는 破碎된 I 期의 石英片이 包含되어 있다. II 期의 磁鐵石과 赤鐵石의 產出狀態는 둥그스름한 塊狀의 磁鐵石을 둘러싸고 葉片狀의 磁鐵石이 成長하였고, 그 外廓部에는 다시 葉片狀의 赤鐵石이 成長하였음이 特徵的이다. 葉片狀의 赤鐵石은 葉片狀의 磁鐵石을 一部 交代하고 있음이 觀察되고, 塊狀의 磁鐵石은 網狀으로 마아타이트(martite)化되었다(Fig.3-B).

<Explanation of Fig. 3>

- A: Euhedral molybdenite is included in wolframite and scheelite aggregates. Scheelite seems to be replaced by wolframite. (bar scale: 100 μ)
 B: Stage II magnetite shows massive and leafy form. Hematite of same stage crystallized around leafy magnetite encircling martitized massive magnetite. (bar scale: 50 μ)
 C: Stage II pyrite grows on and includes stage II magnetite (bar scale: 170 μ)
 D: Stage III minerals of rhodocrosite, sphalerite and pyrite cuts stage I minerals of quartz, chlorite and molybdenite. (bar scale: 2cm)
 E: Stage II magnetite is fractured and filled with stage III minerals of galena, sphalerite and chalcopyrite. Secondary mineral(SM) exists along the boundary between chalcopyrite and magnetite. (bar scale: 25 μ)

- F: Stage II minerals of magnetite, pyrite and quartz is intensely fractured and filled with stage III rhodocrosite. (bar scale: 200 μ)
 G: Another large scale part of Fig.4-F. Stage III minerals of bismuthinite and Bi-sulfosalts replaces stage II pyrite and stage III rhodocrosite. (bar scale: 25 μ)
 H: Stage III magnetite which crystallized rhythmically with rhodocrosite shows pod form. Stage III chlorite rims magnetite-rhodocrosite aggregates. (bar scale: 200 μ)

(Abbreviations)

Mo: molybdenite, Wf: wolframite, Sch: scheelite, Mt: magnetite, Hm: hematite, Qz: Quartz, Py: pyrite, Ch: chlorite, Rh: rhodocrosite, Sl: sphalerite, Cp: chalcopyrite, Gn: galena, Bi: bismuthinite, bi-S: Bi-sulfosalts

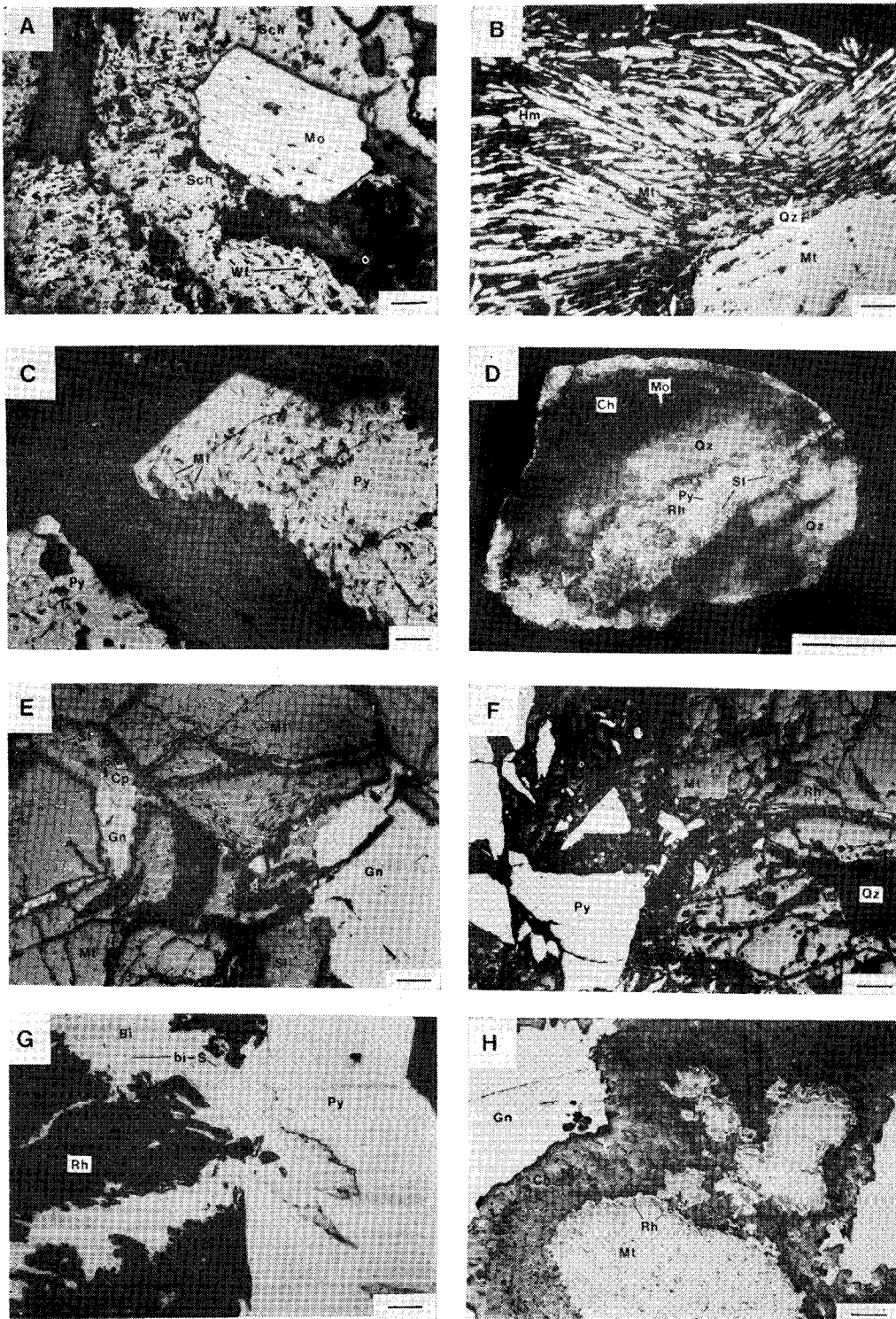


Fig. 3 Photographs of mineral paragenesis and fluid inclusions.

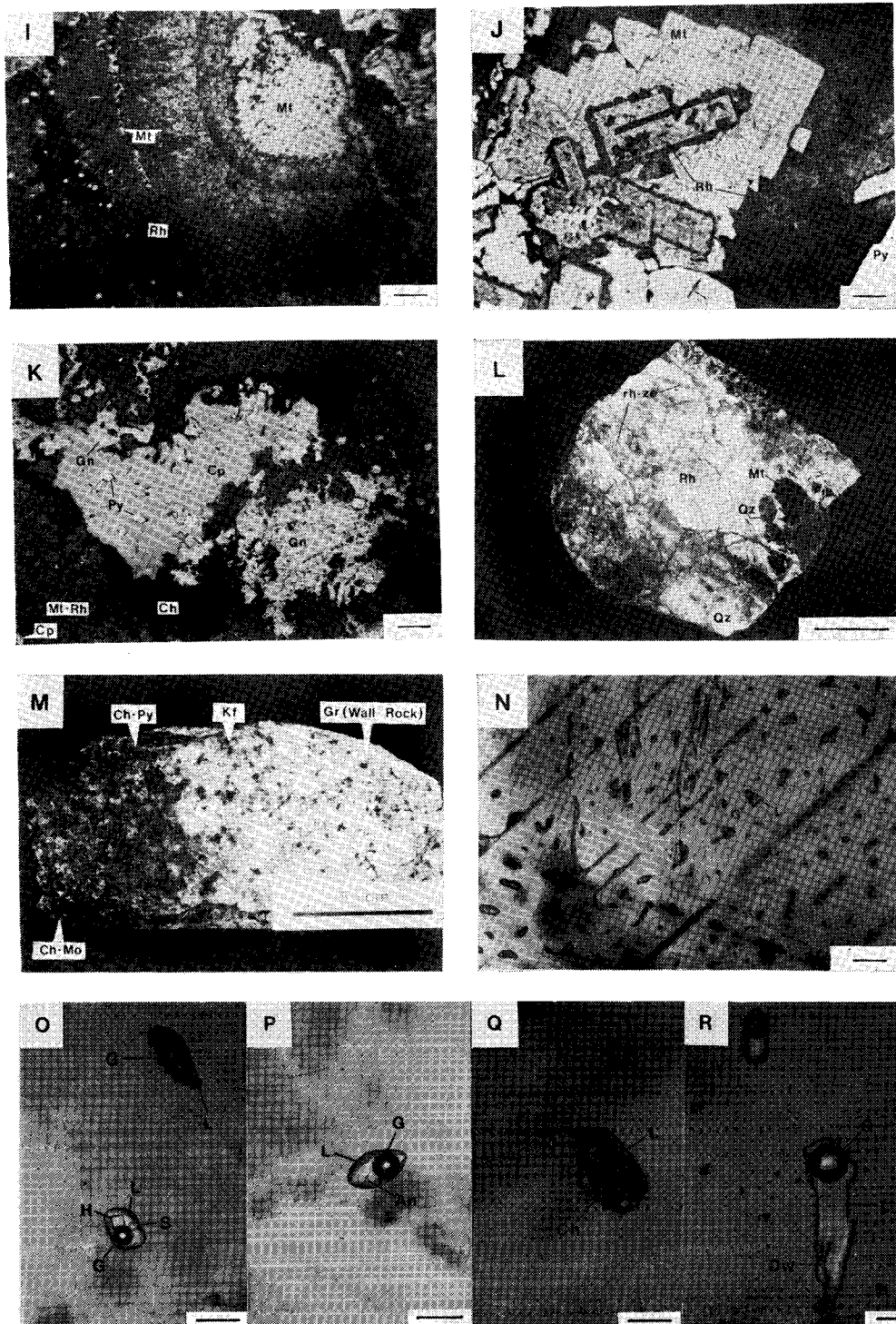


Fig. 3 Continued.

黃鐵石은 葉片狀의 磁鐵石과 赤鐵石이 晶出한 後에 成長하였으며 葉片狀의 磁鐵石을 包有하기도 한다(Fig.3-C). 石英은 塊狀의 磁鐵石 晶出後에 葉片狀의 磁鐵石, 赤鐵石들과 함께 晶出하였다(Fig.3-B).

Ⅲ期: Ⅲ期에는 여러 種類의 硫化鐵物과 비스무스-一硫鹽鐵物들의 晶出期이다. Ⅲ期에 晶出한 鐵物로는 磁鐵石, 赤鐵石, 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 輝蒼鉛石, 비스무스-一硫鹽鐵物, 테트라헤드라이트, 石英, 菱狀간石, 方解石, 綠泥石 等이다. Ⅲ期の 鐵物들은 前述한 I, Ⅱ期 鐵物을 細脈으로 切斷하기도 하고(Fig.3-D,E), 破碎된 틈을 채우며 一部 交代하고 있다(Fig.3-F,G). 이 時期에 晶出한 輝蒼鉛石과 共生하는 비스무스-一硫鹽鐵物에 對하여는 EPMA로 定性分析한 結果 Pb-Cu-Bi 硫鹽鐵物임이 밝혀졌으나 光學的 性質로 보아서는 Pb, Cu, Bi 含量에 差가 있는 두 鐵物이 있을 可能性이 있다. Ⅲ期の 磁鐵石은 Ⅱ期の 것과는 그 組織이 判異하다. 이 磁鐵石은 菱狀간石과 함께 rhythmic하게 晶出하여 pod form(Fig.3-H), framboidal(Fig.3-I), orthogonal form의 組織(Fig.3-J)을 갖고 있다. Fig.3-J는 orthogonal型의 組織을 갖는 磁鐵石을 濃鹽酸으로 構造腐蝕시켜 본 것이다. 菱狀간石을 사이에 두고 內部的 磁鐵石과 外廓部의 磁鐵石과는 構造가 相異한 別個의 것으로 보이며, 이 두 磁鐵石과 菱狀간石과는 rhythmic growth를 하였음을 알 수 있다. Ⅲ期の 磁鐵石-菱狀간石 集合體 사이는 綠泥石이 lining하고 空間 中央部는 黃銅石, 黃鐵石, 方鉛石의 晶出로써 채워져 있는 境遇가 많다(Fig.3-K). Ⅲ期에 晶出한 閃亞鉛石은 淡黃褐色을 띠우며, 이 閃亞鉛石內에는 黃銅石의

點滴이 많이 觀察된다(Fig.3-E), 이 閃亞鉛石은 方鉛石에 依해 一部 交代되어 있기도 하다.

Ⅳ期: Ⅳ期에는 鑛石鐵物의 晶出은 없었고, 菱狀간石과 沸石鐵物만이 少量晶出하였다. 이 時期의 鐵物들은 Ⅲ期の 鐵物들이 甚하게 破碎된 틈새를 채우고 있다(Fig.3-L).

위에서 記述한 鐵物들의 共生關係를 綜合하면 Fig.4와 같다. I期는 重石-모리브덴鐵物의 主晶出期였고, Ⅱ期는 酸化鐵鐵物의 晶出期였다. Ⅲ期는 酸化鐵鐵物外에 主要한 硫化鐵物과 비스무스-一硫鹽鐵物의 晶出期였고, Ⅳ期에는 菱狀간石과 沸石鐵物만이 晶出하였다.

母岩의 變質

輝水鉛石은 綠泥石과 密接히 共生하면서 鐵脈 緣邊部에서 主로 產出됨은 上述한 바와 같다. 特히 大切坑에서 鐵脈中 輝水鉛石이 豊富한 部分에서는 母岩의 變質이 甚하였다. 이는 主로 I期の 母岩變質의 產物로서 變質은 脈을 中心으로 하여 母岩쪽으로 가며 綠泥石-輝水鉛石帶, 綠泥石-黃鐵石帶, 正長石帶로 漸移함을 보이고 있다(Fig.3-M). 正長石帶와 接하는 肉眼的으로 新鮮해 보이는 花崗岩部位도 顯微鏡下에서 黑雲母는 劈開面을 따라 一部 綠泥石化되거나 斜長石이 正長石化된 것이 觀察된다.

鐵脈과 接하는 母岩中 綠泥石에 依한 變質이 甚하지 않은 部分에서는 斜長石과 綠泥石이 絹雲母에 依해 交代된 樣상을 보이고, 斜長石은 一部 炭酸鹽鐵物에 依해 交代되어 있는 것이 보여지기도 한다. 그러나, 이번 研究에서는 各 鑛化期別 母岩變質에 어떤 特徵이 있는가에 對하여 詳細한 檢討는 하지 못하였다.

<Explanation of Fig.3 (continued)>

- I: Magnetite-rhodocrosite aggregates of stage III shows framboidal texture. (bar scale: 100 μ)
 J: Stage III magnetite in orthogonal form coexisting with stage III rhodocrosite shows different etching structure between inner and outer crystals. (bar scale: 25 μ)
 K: Stage III chlorite rims stage III magnetite-rhodocrosite aggregates, and chalcopyrite, galena and pyrite fills the inner part of the rim. Minor chalcopyrite coexists with magnetite-rhodocrosite aggregates. (bar scale: 25 μ)
 L: Stage III minerals of rhodocrosite, magnetite and quartz are fractured and filled with stage IV minerals of rhodocrosite and zeolite. (bar scale: 3cm)
 M: Wall-rock alteration pattern with three alteration zones.
 Ch-Mo: chlorite-molybdenite zone.
 Ch-Py: chlorite-pyrite zone

Kf: K-feldspar zone.

Gr(Wall Rock): unaltered wall rock of granite.

N: Pseudosecondary type I inclusions in stage III sphalerite. Planar arrangement shows three cleavage direction of sphalerite. (bar scale: 50 μ)

O: Type III Inclusion coexisting with type II inclusion in stage I quartz. (bar scale: 25 μ)

p: Presumably anhydrite-bearing type I inclusion in stage I quartz. (bar scale: 25 μ)

Q: Presumably chlorite-bearing type I inclusion in stage I quartz. (bar scale: 25 μ)

R: Presumably dawsonite-bearing type I inclusion in stage I quartz. (bar scale: 25 μ)

<Abbreviations>

Mt-Rh; magnetite-rhodocrosite aggregates,

rh-ze; rhodocrosite-zeolite aggregates,

G: gas, L; liquid, H; halite, S: sylvite,

An: anhydrite, Dw; dawsonite.

Stage	I	II	III	IV
Minerals				
Molybdenite	-----			
Wolframite	-----			
Scheelite	-----			
Fluorite	-----			
Pyrite	-----	-----		
Magnetite		-----	-----	
Hematite		-----	-----	
Sphalerite			-----	
Chalcopyrite			-----	
Galena			-----	
Bismuthinite			-----	
Pb-Cu-Bi Sulfosalts			-----	
Tetrahedrite			-----	
Quartz	-----	-----	-----	
Rhodocrosite	-----	-----	-----	
Calcite			-----	
Zeolite			-----	
Chlorite			-----	

Fig. 4 Paragenetic sequence of ore and gangue minerals in Dongbo W-Mo deposits.

流體包有物

研究對象鑛物과 流體包有物의 分類

東寶 W,Mo鑛床에서의 流體包有物研究는 各 鑛化期別 鑛物品出順序와 聯關시켜 均一化溫度와 鹽濃度를 比較해 보았다. 研究對象鑛物로는 I, II 期の 石英, III 期の 石英, 閃亞鉛石 및 方解石 等이며, 以外에도 花崗岩의 節理를 充填한 石英細脈들이 鑛化作用과 어떤 關聯性이 있는가를 檢討하기 위해 細脈內의 石英에 對하여도 加熱實驗을 해보았다.

流體包有物의 研究는 形態와 分布狀態에 따른 初生 및 擬二次包有物을 對象으로 하였으며, 이들은 常溫에서 觀察되는 相의 種類와 充填度에 따라 아래와 같이 I, II 및 III 型包有物로 分類하였다.

I 型包有物: 氣相과 液相으로 되어 있고, 液相의 充填度가 約 50% 以上인 液體包有物로서 加熱實驗時 液相으로 充填된다. 常溫과 冷却實驗時 液體 CO₂와 CO₂ 水化物의 生成을 볼 수 없는 것 들이다(Fig.3-N).

II 型包有物: 氣相과 液相으로 되어 있고, 液相의 充填度가 約 50% 以下인 氣相包有物로서 加熱實驗時 氣相으로 充填된다. 常溫과 冷却實驗時 液體 CO₂와 CO₂ 水化物의 生成을 볼 수 없는 것 들이다(Fig.3-O).

III 型包有物: 氣相, 液相 및 固相으로 된 多相包有物로서 (Fig.3-O), 液相의 充填度가 50% 以上인 液體包

有物이다. 固相의 種類는 daughter mineral들로서 岩鹽(halite)과 카리岩鹽(sylvite)이다. 常溫과 冷却實驗時 液體 CO₂와 CO₂ 水化物의 生成을 볼 수 없으며 液相으로 充填된다. 이들 流體包有物의 均一化現象은, 高溫으로 점차 加熱됨에 따라 固相이 溶解되어 消失된 後 氣相이 消滅됨으로써 均一化되는 것이 特徵의이다.

固相을 갖는 包有物中 岩鹽이나 카리岩鹽 以外的 固相을 包有한 것들도 若干 觀察되나 이들은 I 型包有物에 包含시켰다. 이들 固相에는 平行消光을 하며 柱狀을 이루어 anhydrite로 여겨지는 것 (Fig.3-P), 綠色을 띠며 등근 葉片狀의 chlorite로 여겨지는 것 (Fig.3-Q), 複屈折이 높고 다발 모양의 集合體를 이루어 dawsonite로 여겨지는 것 (Fig.3-R) 등이 있다.

I 型包有物은 研究對象이 된 모든 鑛物內에서 觀察되며, II 型包有物은 I 期の 石英과 花崗岩內에 發達된 石英細脈內 石英에서만 觀察된다. 그리고 III 型包有物은 I 期の 石英內에서만 觀察된다. 輝水鉛石과 共生하는 I 期の 石英內에서는 I 型, II 型 및 III 型包有物이 量的으로 類似하나, 鐵鎂강重石과 共生하는 石英內에서는 III 型包有物의 量이 I 型과 II 型包有物에 比하여 적다. III 型包有物 中 카리岩鹽과 岩鹽을 함께 含有하고 있는 것들은 輝水鉛石과 共生하는 石英에서만 存在하며, 岩鹽만을 含有하는 III 型包有物에 比하여 量的으로 적다.

I 期 石英內의 I, II, III 型的 初生包有物들은 同一結晶內에서 各各 獨立的으로 分布하는 경우가 많다. 또, I, II, III 型的 擬二次包有物들도 各各 線狀配列을 하나 이들 包有物列이 서로 交叉하는 部位의 包有物이 變形된 것은 볼 수 없다. 이와 같은 事實들은 비록 各型的 包有物이 密集混在하고 있지는 않아도 I 期 石英晶出 期間中 斷續的으로 鑛化流體의 沸騰이 있었음을 뜻하는 것으로 보인다. 이에 對하여는 後에 詳述하기로 한다. III 期の 閃亞鉛石內 I 型包有物들은 獨立的으로 分布하는 境遇도 있으나, 結晶의 劈開面을 따라 線狀配列된 것들이 많다(Fig.3-N). 閃亞鉛石內에서 劈開面을 따라 分布하는 이들 流體包有物에 對하여는, 充填度가 서로 類似하며 後述하는 바와 같이 均一化溫度와 鹽濃도에 있어서도 差異가 거의 없어 necking down에 依한 二次包有物이 아님을 알 수 있다.

鹽 濃 度

I 型和 II 型包有物의 鹽濃度測定을 爲한 冷却實驗은 液體질소를 冷却劑로 使用하는 Nikon製 NE-1型 低溫顯微鏡을 使用하여 實施하였다.

冷却實驗은 I 期の 石英과 III 期の 石英, 閃亞鉛石 및 方解石을 對象으로 하였으며, II 期の 石英에 對하여는 流體包有物의 크기가 너무 작아 實驗이 不可能하

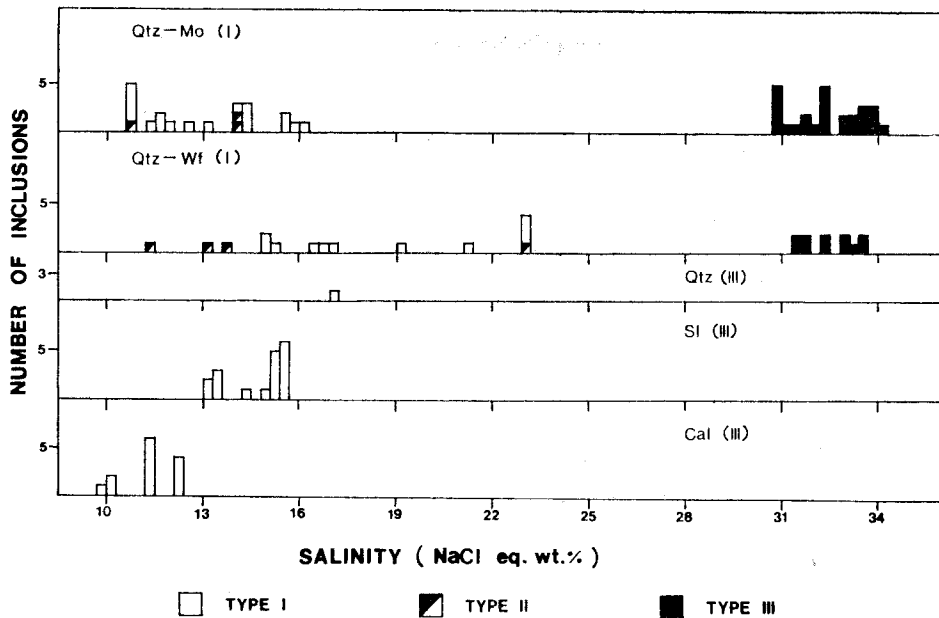


Fig. 5 Salinity of fluid inclusions in quartz, sphalerite and calcite from Dongbo W-Mo deposits.
 Qtz-Mo(I); Quartz coexisting with molybdenite of stage I
 Qtz-Wf(I); Quartz coexisting with wolframite of stage I
 Qtz(III); Quartz of stage III
 Sl(III); Sphalerite of stage III
 Cal(III); calcite of stage III

었다. I型和II型包有物에 대한 鹽濃度는 Roedder (1962)에 의한 一般의 方法으로 구했으나, 岩鹽을 含有한 III型包有物에 대하여는 Keevil(1942)과 Sourirajan and Kennedy(1962)의 H₂O-NaCl系 資料로부터 算出하였으며, 岩鹽과 카리岩鹽을 함께 含有한 III型包有物에 대하여는 Roedder(1971a)의 NaCl-KCl-H₂O系 資料로부터 算出하였다.

鎂化期別로 各 鑛物內 流體包有物에 대한 NaCl 相當 鹽濃度는 Fig. 5와 같다. I期の 輝水鉛石과 共生하는 石英과 鐵閃石重石과 共生하는 石英內 流體包有物의 NaCl相當鹽濃度는, 카리岩鹽을 含有한 것을 除外하면, 各各 10.6~34.4, 11.2~33.8wt%의 範圍를 보이며, III期の 石英, 閃鋅鉛石 및 方解石內 流體包有物의 NaCl相當鹽濃度는 各各 16.9~17.2, 13.0~15.7, 9.7~12.4 wt%의 範圍를 보인다. I期の 輝水鉛石과 共生하는 石英內 流體包有物中 岩鹽과 카리岩鹽을 함께 含有한 2個 流體包有物에 대하여는 岩鹽과 카리岩鹽의 融點으로부터 鹽濃도를 求해보면 各各 NaCl=21wt.%, KCl=16.4wt.%와 NaCl=27.7wt.%, KCl=17.6wt.%임을 알 수 있었다. 全般的으로 I期 早期로부터 III期 末期로 가면서 鎂化流體의 鹽濃도가 점차 낮아졌고, I期內에

서도 早期에 KCl濃도가 보다 높았던 것으로 보인다.

I期の 輝水鉛石과 共生하는 石英內 I型包有物 中에는 冷却實驗 途中에 생긴 固相이 0°C 以上の 溫度에서 녹지않고 남아 있는 包有物이 一部 觀察된다. 冷却後 새로이 생긴 metastable한 固相은 形態가 立方體이거나 粒狀이고 光學的으로 等方性이다. 이들은 +6.5~+89°C에서 녹으나 일단 녹은 후에는 常溫에서 固相은 생기지 않고 -50°C 以下로 冷却한 後에만 다시 생긴다. Roedder(1971b)는 冷却實驗中 얼음이 얼때 液相內에서 局部的으로 溶質의 濃도가 增加되어 새로운 daughter mineral이 生成되며, 이것은 다시 常溫까지 加熱시켜도 消滅되지 않는 現象을 報告하고 있다. 이와 같이 包有物內에서 metastability를 보이는 이들 daughter mineral은 形態, 光學的等方性, 그리고 I期の 流體包有物內 NaCl鹽濃도가 높다는 事實 등으로 보아 岩鹽일 것으로 推定된다. 이들 固相을 岩鹽으로 看做하고 Keevil(1942)의 資料에 extrapolating하여 NaCl 相當鹽濃도를 求해보면 25~28wt% 程度가 된다.

均一化溫度

均一化溫度 測定을 爲한 加熱實驗은 Leitz製 Model SM-Lux 加熱顯微鏡과 서울大學校 地質科學科 鑛床學

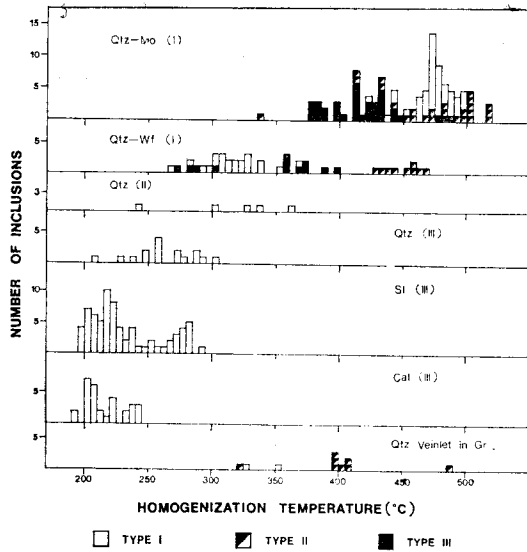


Fig. 6 Homogenization temperature of fluid inclusions in quartz, sphalerite and calcite from Dongbo W-Mo deposits.
 Qtz(II); Quartz of stage II
 Other symbols are similar to Fig. 5.

研究室에서 製作한 加熱顯微鏡을 作用하여 實施되었다.
 研究對象鑛物內 流體包有物의 均一化溫度는 Fig.6와 같다. I 期의 輝水鉛石과 共生하는 石英과 鐵鎂간重石과 共生하는 石英內 流體包有物의 均一化溫度는 各各 335~520, 265~470°C이고, II 期의 石英內 流體包有物의 均一化溫度는 240~365°C이다. III 期 石英, 閃亞鉛石, 方解石內 流體包有物의 均一化溫度는 各各 205~305, 195~295, 190~270°C의 範圍를 보인다. 그리고, 花崗岩內 石英細脈으로 부터 採取한 石英內 流體包有物의 均一化溫度는 320~490°C로서 I 期의 均一化溫度 領域에 屬한다. 均一化溫度는 Fig.6에서 보는 바와 같이 I 期 早期로부터 III 期 末期로 가면서 점차 낮아졌음을 알 수 있다. I 期의 石英內에서는 I 型, II 型 및 III 型包有物이 共存하는 現象이 觀察되는데, 이들의 均一化溫度가 類似하나, 輝水鉛石과 共生하는 石英의 境遇에는 III 型包有物이 다른 I 型과 II 型包有物보다 다소 낮은 傾向을 보인다. 鐵鎂간重石과 共生하는 石英의 境遇에는 III 型包有物의 均一化溫度가 I 型包有物과 類似하고 II 型包有物은 다소 높은 傾向을 보인다. 輝水鉛石과 共生하는 I 期의 石英內 流體包有物中에는 氣相과 液相이 이루는 meniscus가 加熱實驗中 臨界現象을 보여주는 것이 있다. 이러한 流體包有物의 均一化溫度는 480°C였다.

I 期의 石英內 II 型包有物中에는 550°C 以上の 高溫

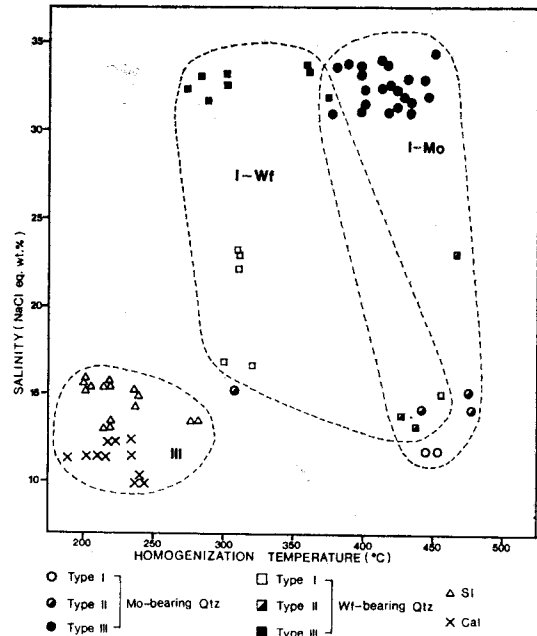


Fig. 7 Relation of salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in quartz, sphalerite and calcite from Dongbo W-Mo deposits.
 I-Mo; Molybdenite of Stage I
 I-Wf; Wolframite of stage I
 III: stage III

에서도 均一化되지 않는 것들이 若干 觀察되고 있으며, 이들에 對한 均一化溫度의 測定은 高溫狀態에서 對象 試料의 破裂로 인해 實驗이 不可能하였다.

鹽濃度와 均一化溫度의 關係

同一 流體包有物에 對한 鹽濃度와 均一化溫度와의 關係는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 全般的으로 I 期 早期로부터 III 期 末期로 가면서 鹽濃度와 均一化溫度가 점차 낮아지는 傾向을 알 수 있다.

I 期의 輝水鉛石과 共生하는 石英內 流體包有物에서는 III 型包有物과 I 型, II 型包有物의 均一化溫度가 類似한 반면에 鹽濃도에 있어서는 甚한 差異를 보이고 있다. 鐵鎂간重石과 共生하는 石英의 境遇도 輝水鉛石과 共生하는 石英의 境遇와 類似하다.

III 期의 閃亞鉛石과 方解石은 流體包有物의 均一化溫度에 있어서는 類似하나 鹽濃도에 있어서는 閃亞鉛石中 流體包有物이 方解石中의 것보다 높았음을 알 수 있다.

鑛床의 成因에 對한 考察

이 鑛床은 中粒質花崗岩과 細粒質花崗岩內에 胚胎된 鑛脈鑛床이다. 鑛床이 胚胎된 母岩中 中粒質花崗岩은 細粒質花崗岩에 依하여 貫入되어 있는 것으로 보아 鑛

床生成과 時間的으로 關聯이 깊어 보이는 花崗岩은 細粒質花崗岩일 것으로 생각된다. 이 두 花崗岩이 모두 miarole構造를 갖고 있으며, 磁鐵石과 黃鐵石을 含有하는 등의 共通性을 갖는다. 細粒質花崗岩은 微文象構造가 잘 보여진다. 그러나, 細粒質花崗岩이 中粒質花崗岩과 同源 마그마의 後期分化相에 屬하는지 또는 이들이 所謂 馬山岩에 屬하는 것인지는 確實치 않다. 이를 밝히기 위하여는 詳細한 岩石化學的檢討가 必要하리라고 생각된다.

鑛脈의 走向과 傾斜는 이 地域 花崗岩類內에 平行發達하는 節理系와 一致한다. 이들 節理中에는 1mm 內外의 石英細脈이 發達되어 있고, 이 石英細脈中의 流體包有物의 資料가 開發된 鑛脈의 그것과 같다. 이로써 鑛脈이 胚胎된 裂解系는 節理系일 可能性이 높은 것으로 생각된다.

鑛石의 構造와 鑛物共生關係로 보아 鑛化作用은 鑛化期間中에 있었던 局部的인 破碎作用을 基準으로 하여 I, II, III, IV期에 걸쳐 이루어졌음을 알 수 있다. I期은 石英과 함께 晶出한 Mo, W의 鑛化期이고, II期은 Fe—O—S系 鑛物의 主要晶出期이다. III期은 炭酸鹽鑛物과 함께 早期에 Fe—O系 鑛物이, 後期에는 多金屬 硫化物과 硫鹽鑛物의 晶出期로서 主要 鑛石鑛物의 晶出은 III期에서 끝났다. IV期은 菱狀閃石과 沸石의 晶出期이다.

鑛脈을 水平的으로 보면 鑛脈은 東쪽에 I期の 重石鑛物과 함께 II, III期の 鑛物로 된 帶를 이루나 西쪽은 I期中 早期의 모리브덴 鑛物로 帶를 이루고 있는 것 같

이 보인다. 한편, 垂直的으로 보면 上部의 中央坑과 下部의 大切坑間 65m 사이에서 上部는 重石帶, 下部는 모리브덴帶가 있어 좁은 範圍內에 鑛物의 帶狀分布가 있다는 것이 되나 確認할 길이 없다. 이 鑛脈의 露頭와 現在 開發된 最下部位가 垂直으로 約 100m 程度밖에 되지 않으나 鑛物의 帶狀分布가 있어 보이는 것으로 보아 釜山地域의 重石, 모리브덴 鑛化作用의 特徵을 檢討함에 있어 鑛化作用의 重疊과 함께 帶狀分布 問題는 特別히 留意하여야 할 問題라고 생각된다.

I期 石英의 流體包有物의 均一化溫度와 鹽濃度는 265~520°C와 10.6~34.4wt.%의 範圍를 갖는다. I期中에는 鑛化流體의 斷續的인 沸騰이 있었던 것으로 보아 均一化溫度를 鑛床生成溫度로 看做할 수 있다. I期 石英內 II型包有物中에는 550°C 以上의 高溫에서도 均一化되지 않는 것들이 少量 觀察되고 있다. 이들에 對하여는, Roedder等(1980)의 報告에 依한 바와 같이, 鑛化流體의 沸騰當時 分離된 氣相이 包有될 때 드물게 液相이 混合되어 包有됨으로써 나타난 現象으로 생각된다. 페루의 Pasto Buena Tungsten-Base Metal 鑛床(Landis, G.P. et al., 1974)과 Casapalca Ag-Pb-Zn-Cu 鑛床(Rye, R.O. et al., 1974)等 여러 鑛床의 研究에 依하면, 鑛化期間中의 沸騰으로 因해 鹽濃度의 甚한 fluctuation이 있었음을 報告하고 있다. 東寶 W, Mo 鑛床에서도 I期の 鑛化流體가 鹽濃도에 있어서 甚한 變化를 보이는 것이 沸騰에 依한 現象일 것으로 생각된다.

I期の 沸騰現象을 보이는 流體包有物中 NaCl相當鹽

Table 2 Comparison of fluid inclusion data of late Cretaceous hydrothermal tungsten-molybdenum deposits in Korea.

Mine		Comp.	Homogenization Temperature(°C)	Salinity (NaCl equi. wt.%)	CO ₂ content (wt.%)	Source of data
Southeastern Part of Peninsula	Dongbo		265~520	10.6~34.4	LCO ₂ or CO ₂ -hydrate not observed	This study
	Sannae		300~470	6~23	"	C.S. So(1984)
	Ilkwang		305~435	4.9~12.0	"	C.S. So et al.(1983)
	Ilkwang		250~400	15~47	LCO ₂ observed	J.M. Chi (1985)
	Dalseong		154~335	—	—	J.M. Chi et al. (1974)
Central Part of Peninsula	Daehwa		232~357	0.3~7.9	8~82 LCO ₂ or CO ₂ -hydrate observed	H.I. Park et al. (1985)
	Weolag		239~360	2.8~9.6	"	H.I. Park et al. (1982)
	Yongha		270~360	5.0~7.5	"	H.I. Park et al. (1981)
	Susan		225~335	4.0~9.7	"	"
	Jungbo		260~330	4.0~9.0	"	"
	Suri		245~345	5.0~9.0	"	"
	Useog		315~360	—	"	"
Cheongyang		210~350	6.7~10.0	"	"	

濃도가 10~15wt.%인 I型和 II型包有物에 對하여 Sourirajan and Kennedy(1962)의 H₂O—NaCl系 資料로부터 壓力을 求해 보면 400~600bars가 된다. 또한, 輝水鉛石과 共生하는 石英內 流體包有物中 臨界現象을 보이는 것에 對해서 Sourirajan and Kennedy (1962)의 資料로부터 求한 鹽濃도와 臨界壓力은 各各 10wt.%와 540bars로써 위에서 말한 範圍에 든다. II期和 III期에 對하여는 鑛化流體의 沸騰現象이 觀察되지 않고, 壓力을 推定할 수 있는 다른 資料가 없어 鑛床生成溫度를 爲한 壓力補正을 할 수 없다.

流體包有物의 研究結果를 白堊紀末에 生成된 國內 여러 重石—모리브덴 鑛床들의 資料와 比較해 보면 Table 2와 같다. Table 2에서 보는 바와 같이, 韓半島 中部地方의 重石—모리브덴 鑛床에서는 流體包有物內에 液體 CO₂가 存在하고 있음이 共通的으로 報告되고 있으나, 韓半島 南東部地方의 重石—모리브덴 鑛床에서는 日光 銅—重石 鑛床에서 液體 CO₂에 對한 報告(池, 1985)가 있을 뿐 其他 鑛床에서는 없다. 반면에, 流體包有物의 鹽濃도와 均一化溫度에 對해서는 韓半島 中部地方 重石—모리브덴 鑛床에 比하여 南東部地方 重石—모리브덴 鑛床의 鹽濃도와 均一化溫度의 上限값이 모두 顯著하게 높음을 알 수 있다. 鹽濃도의 資料가 없는 達城鑛山에서도 流體包有物內에 岩鹽이 觀察됨이 報告되어 있으므로 鹽濃도가 높을 것으로 思料된다. 特히; 研究對象이 된 東寶 重石—모리브덴 鑛床에서는 韓半島 中部地方의 여러 重石—모리브덴 鑛床 뿐만 아니라 南東部地方의 다른 鑛床들에 比해서도 鹽濃도와 均一化溫度의 上限값이 特徵의으로 높다. Higgins(1980)等 여러 學者들의 研究에 依하면, 世界的으로 Sn, W, Mo 鑛床에서 產出되는 鑛物中의 流體包有物에서 液體 CO₂가 많이 觀察되고 있음이 報告되어 왔다. 따라서, Sn, W, Mo의 鑛化作用이 鑛化流體內의 높은 CO₂ 活動도와 關聯이 깊은 것으로 解析되어 왔다. Table 2에서 보는 바와 같이, 朴喜寅等(1981, 1982, 1985)에 依하면, 國內에서도 中部地方의 白堊紀末의 重石—모리브덴 鑛床이 CO₂의 活動도와 크게 關聯되어 있음이 報告되어 왔다. 그러나, 이번 研究를 통하여 東寶 W, Mo鑛床에서 W, Mo鑛化期의 鑛化流體의 鹽濃도와 生成溫度가 中部地方의 白堊紀末 W, Mo鑛床의 그것보다 顯著하게 높고, 反面에 CO₂의 活動도가 重要한 役割을 하지 않았음을 알게 되었다. 이는 우리 나라 南東部地方의 W, Mo鑛化作用의 特徵인 뿐만 아니라, 中部地方의 白堊紀 W, Mo鑛化作用과의 差異라고 생각된다.

結 言

1. 東寶 重石—모리브덴 鑛床은 白堊紀末 花崗岩內에 發達한 走向 N75~80W, 80NE~垂直으로 傾斜하는 裂罅를 充填하여 胚胎된 含重石—모리브덴 石英脈鑛床이다.

2. 垂直距離 100m, 平面距離 500m內외의 좁은 範圍에서 鑛物의 共生關係가 多樣하며 鑛物의 帶狀分布가 보인다. 垂直의으로는 上部에 重石鑛物帶, 下部에 모리브덴鑛物帶를 보이며, 平面的으로는 東쪽에 重石鑛物帶, 西쪽에 모리브덴鑛物帶의 帶狀分布를 보인다.

3. 鑛化作用은 鑛化期間中의 破碎作用을 基準으로 하여 I, II, III, IV期로 區分된다. I期은 W, Mo의 主鑛化期로서 輝水鉛石, 鐵斑鉛重石, 灰重石, 黃鐵石, 螢石, 石英 및 綠泥石의 晶出이 있었다. II期은 Fe—O—S系 鑛物의 沈澱期로서 磁鐵石, 赤鐵石, 黃鐵石, 石英의 晶出이 있었다. III期은 早期에 Fe—O系鑛物과 後期에 多金屬硫化物과 硫鹽鑛物의 沈澱期로서 磁鐵石, 赤鐵石, 黃鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 輝蒼鉛石, 비스무스—硫鹽鑛物, 테트라헤드라이트, 石英, 菱狀鉛石, 方解石, 綠泥石 等の 晶出이 있었다. IV期은 菱狀鉛石과 沸石鑛物이 少量 晶出하였을 뿐이다.

4. 重石과 모리브덴 主鑛化期中의 NaCl相當鹽濃도와 鑛床生成溫度는 各各 10.6~34.4wt.%, 265~520°C이다. III期 鑛化流體의 鹽濃도는 9.7~17.2wt.%이고, 均一化溫度는 190~305°C이다. 東寶 W, Mo 鑛床에서의 W, Mo 主鑛化期인 I期에는 鑛化流體의 沸騰이 있었으며, 이 時期의 壓力은 400~600bars程度로 推定된다.

5. 流體包有物의 研究結果, 韓半島 南東部地方의 重石—모리브덴 鑛床은 中部地方의 白堊紀末 重石—모리브덴 鑛床에 比하여 鑛化流體의 鹽濃도가 높았고, CO₂ 濃도는 높지 않았던 것으로 보인다. 特히, 東寶 W, Mo 鑛床에서의 W, Mo主鑛化期에 鑛化流體內 NaCl相當鹽濃와 均一化溫度는 國內 다른 重石—모리브덴 鑛床들에 比하여 顯著하게 높다.

參 考 文 獻

- 池楨蔓·黃鎬善(1974) 達城鑛山의 流體包有物에 依한 生成溫도와 鑛物共生에 關한 研究. 鑛山地質, 第7卷, 第1號, p. 23-35.
- 池楨蔓(1985) 日光鑛山의 流體包有物研究. 仁荷大學校 産業科學技術研究所論文集, 第13輯, p. 433-441.
- 大韓鑛業振興公社(1972) 한국의 광상, 제 4호, p. 355-356.
- Haas, J.L., Jr. (1971) The effect of salinity on the

- maximum thermal gradient of hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 940-946.
- Higgins, N.C. (1980) Fluid inclusion evidence for the transport of tungsten by carbonate complexes in hydrothermal solutions. *Can. Jour. Earth Sci.*, v. 17, p. 823-830.
- Keevil, N.B. (1942) Vapor pressures of aqueous solutions at high temperatures. *Am. Chem. Soc. Jour.*, v. 64, p. 841-850.
- Landis, G.P. and Rye, R.O. (1974) Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the Pasto Buena tungsten-base metal ore deposit, northern Peru. *Econ. Geol.*, v. 69, No. 7, p. 1025-1059.
- 李河榮·金相旭(1964) 1/50,000 金海地質圖幅, 韓國地質圖.
- 朴喜寅·李商萬·李政成·金洙鎮(1981) 黃江里地域 金屬礦床의 成因에 關한 研究. *地質學會誌*, 第17卷, 第3號, p. 201-222.
- Park, H.I. and Lee, I.S. (1982) Fluid inclusion studies on the wolak tungsten-molybdenum deposits, Korea. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 15, No. 1, p. 17-32.
- 朴喜寅·尹錫台(1982) 雙田重石礦床의 鑛物共生斗 流體包有物研究, *鑛山地質*, 第15卷, 第4號, p. 221-233.
- 朴喜寅·崔錫源·金惠來(1985) 大華 및 敦山 重石·모리브덴 鑛床의 流體包有物研究, *鑛山地質*, 第18卷, 第3號, p. 225-237.
- Roedder, E. (1971a) Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. *Econ. Geol.*, v. 66, No. 1, p. 98-120.
- Roedder, E. (1971b) Metastability in fluid inclusions. *Soc. Mining Geol. Japan, Spec. Issue*, v. 3, p. 327-334.
- Roedder, E. (1962) Studies of fluid inclusions I; Low temperature application of a dualpurpose freezing and heating stage. *Econ. Geol.*, v. 57, p. 1045-1061.
- Roedder, E. and Bodnar, R.J. (1980) Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 8, p. 263-301.
- Rye, R.O. and Sawkins, F.J. (1974) Fluid inclusion and stable isotope studies on the Casapalca Ag-Pb-Zn-Cu deposits, Central Andes, Peru. *Econ. Geol.*, v. 69, p. 181-205.
- So, C.S. and Shelton, K.L. (1983) A sulfur isotopic and fluid inclusion study of the Cu-W-bearing tourmaline breccia pipe, Ilkwang mine, Republic of Korea. *Econ. Geol.*, v. 78, p. 326-332.
- So, C.S. (1984) S isotope, fluid inclusion and trace element studies of the Sannae tungsten deposits and its application to the ore prospecting. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 20, No. 4, p. 282-295.
- 孫致武 外 4人(1978) 1/50,000 東華·月內地質圖幅, 韓國地質圖.
- Sourirajan, S. and Kennedy, G.C. (1972) The System H₂O-NaCl at elevated temperatures and pressures. *Am. Jour. Soc.*, v. 260, p. 115-141.