

上東 鑛床 물리브덴의 產出 狀態에 對한 研究

*文 建 柱 **李 恒 載

A Study on the Molybdenum in Scheelite of Sangdong tungsten ore bodies.

Kun Joo Moon, Hang Jai Lee

Molybdenum as by-products of Sangdong tungsten mine occurs in the form of molybdenite in quartz vein.

The molybdenum contents of scheelite in Sangdong ore bodies ranges from trace to 8%, therefore the scheelites show variable fluorescence colors under ultra-violet lamp (short wave). The fluorescence color are in order high content of molybdenum, yellow, white and blue.

The yellow fluorescing scheelite is dominant in upper ore vein, otherwise the blue fluorescent variety is dominant in lower ore vein. The fluorescence color of scheelite in the main ore vein show zonal distribution becoming progressively more blue outerwards, contrary more yellow innerwards, and even in single scheelite crystal, similar zonal pattern is observed, too.

Molybdenite occurs as flakes or elongated blades at the margins of the quartz vein only molybdenite bearing quartz veins but also other sulfides mineral bearing quartz veins have mainly blue fluorescing scheelites.

We suggest that the molybdenum contents of the early stage ore solution are progressively decreased by a subsequent crystallization of the yellow fluorescing scheelites.

1. 序 言

本 研究는 上東鑛山에서 調查된 既資料를 綜合 檢討하는 過程에서 molybdenum의 產狀이 一聯의 特徵을 보이고 있음을 發見하고 그 生成過程을 推定 糾明함으로써 上東鑛床 生成에 關한 또 하나의 새로운 情報를 蒐集 確認할 수 있을 것으로 믿어 計劃 實施되었다.

業務計劃의 一環으로 實施된 類似한 命題下의 研究가 基礎資料가 되었으며 그中 社益에 關係되는 事項을 除外시켜 鑛床 成因 研究에 關한學究의인 資料만을 引用하였다.

上東鑛山の molybdenum 生産量은 副産物로 生産되면서도 다른 어느 鑛山보다도 더 많은 量을 生産하고 있다. 그러나 이에 對한 具體的인 產狀에 關한 研究가 報告되지 않음으로 해서 tungsten 鑛床으로서의 成因마저 一部 歪曲 解釋되어져 왔기에 보다 合理的인 解釋方法을 提

示함으로써 社外로는 tungsten, molybdenum 鑛床에 對한 보다 事實的인 情報를 提供하고 社內로는 보다 科學的, 合理的인 成因 研究를 誘導케 하여 새로운 鑛體 賦存의 可能性을 提示함으로써 探鑛 意欲을 鼓吹시키는데 本 研究의 意義를 두고있다.

2. 上東鑛床의 물리브덴 產出狀態

이미 잘 알려진 바와 같이 世界的으로 molybdenum은 molybdenite MoS_2 , wulfenite $PbMoO_4$, powellite $Ca(Mo, W)O_4$, ferrimolybdate, $Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 8H_2O$, koechlinite, $Bi_2O_3 \cdot MoO_3$, 등의 形態로 產出되고 있으나 그 大部分은 molybdenite와 wulfenite에서 얻어지고 있다.

上東鑛山에서 生産되고 있는 molybdenum은 輝水鉛石 (molybdenite)과 灰重石內의 W-Mo solid solution 狀態로 含有된 molybdenum으로 되어 있다. 따라서 輝水鉛石은 “硫化 molybdenum”, 灰重石內의 molybdenum은 “酸化 moly-

* 대한중석 상동 광업소

** 대한중석 상동 광업소

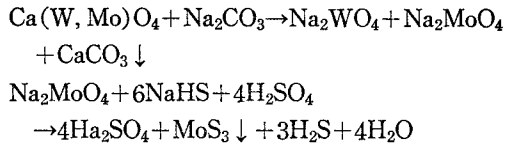
bdenum”으로 現地에서 區分 呼稱되어지고 있다.

輝水鉛石은 實際 副産物으로써 産出되고 있으나 本 鑛山 灰重石을 考慮치 않는다 해도 主産物로서 可行 對象이 될 정도로 많은 量이 石英脈內에 局限 胚胎되어 있다. 그러므로 本 鑛山의 純粹한 意味의 副産物은 灰重石內의 molybdenum 이라고 볼 수 있는데 이는 大部分이 skarn 鑛體나 一部 石英脈內에서 灰重石내에서 Mo가 W를 치환하여 存在하므로 化學處理 施設이 갖추어지지 않고는 副産物으로써 回收될수 없다.

2-1. Molybdenum의 다른 source mineral

本 鑛山 物理選鑛 過程에서 完全 分離키 어려운 灰重石은 一部 脈石과 함께 化學的 方法에 依해 處理되어 molybdenum은 MoS₃ 狀態로 回

收되어지며 그 處理過程의 反應式은 다음과 같다.



그러나 嚴密한 意味로는 이들의 모두가 灰重石으로부터 流出된 것이라고 볼 수는 없다. 上東鑛床을 構成하고 있는 鑛物이 含有한 molybdenum의 含量에 對한 具體的인 研究는 實施된 바 없으나 Skarn 鑛體의 X. R. F 分析 結果에 따르면 最高 69ppm 까지도 檢出되고 있어 本 鑛山에서 回收되어지는 MoS₃中 微量은 一部 脈石 鑛物에서 流出되어지는 것으로 보인다.

Tab. 1 Skarn 鑛體 地表 露頭에서의 W와 Mo의 含量 比較表 (From Moon, 1977)

SPL No	SK-15	SK-16	SK-17	SK-18	SK-19	SK-20	SK-21	SK-22	SK-23	SK-24
W ppm	130.1	47.5	651.5	129.5	300.3	333.7	79.7	892.7	18.4	0.5
Mo ppm	11.6	8.0	69.0	11.1	19.2	42.4	17.6	60.6	8.1	2.0

그러나 現在 本 鑛山 施設로는 鑛物別 個別分析이 어려워 本 研究에서는 個別 分離가 可能한 灰重石만을 對象으로 삼은만큼 鑛物別 molybdenum 含量에 對한 具體的의 研究는 向後 實施할 計劃이다.

2-2. 上東鑛山 灰重石內의 물리브덴과 螢光色

本 鑛體內의 灰重石은 ultraviolet lamp (mineral light) 下에서 두가지 色(blue, yellow)으로 大別되며 一部 yellowish fluorescent colored scheelite는 powellite로 記載된 적도 있었으나 化學的, 物理的 特性의 相異點을 들어 이는 powellite가 아닌 molybdenum-bearing impure scheelite로 報告된 바 있다(62, 황기엽, 64, 권용원, 70, 황재운). 그러나 嚴密한 意味로 말한다면 上東鑛床의 灰重石은 pure scheelite로 부터 molybdenum bearing scheelite가 함께 産出되고 있다 하겠다.

灰重石의 ultraviolet lamp 下에서의 color 變化는 灰重石內 Molybdenum 含量과 關係가 있음

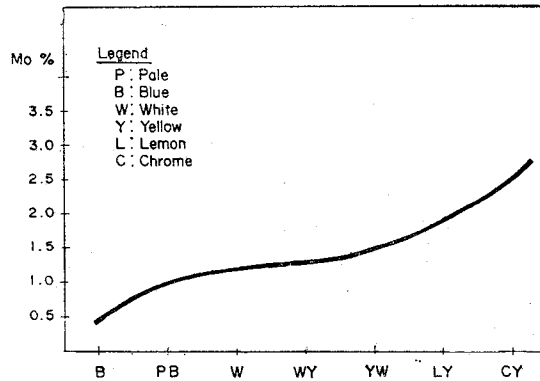


Fig 1. 上東鑛山 産出 灰重石의 ultraviolet lamp(short wave) 下에서의 螢光色과 molybdenum 含量 關係表 (1970. 황재운)

은 잘 알려진 事實인 바, 本 調査時 分析된 上東鑛山 灰重石內 molybdenum 含量은 4 % 以下에 머물고 있으며, 灰重石의 molybdenum 含量에 따른 螢光色의 變化는 Fig 1과 같다.

3. 黃色 螢光 灰重石의 分布

上東鑛山에서 副産物으로써 産出되는 molybde-

num의 主 供給源이 黃色 螢光 灰重石이 되고있는 만큼 이들의 分布 調査는 學究的인 것 外에도 經濟的인 重要性을 띄워 이미 이에 對한 坑內 分布 調査가 行해져 報告된 바 있다 (79, 이 항제).

黃色 螢光 灰重石의 分布를 調査함에 있어서 ultraviolet lamp 下의 灰重石을 두 群으로 大別하였으며, 靑色 螢光 灰重石과 黃色 螢光 灰重石사이의 白色 螢光 灰重石은 molybdenum을 多小 含有하고 있는 것을 考慮하여 黃色 螢光 灰重石 群으로 看做하였다.

一言하여 上東鑛床의 灰重石의 螢光色에 따른 分布를 보면 單 한가지 螢光色만으로 形成되어 있지 않고, 局部的으로 單一 螢光色 灰重石이 濃集될 뿐, 거의 어느 部位에서나 靑色 螢光 灰重石과 黃色 螢光 灰重石이 共生하고 있다.

따라서 ultraviolet lamp 下에서의 坑內 灰重石

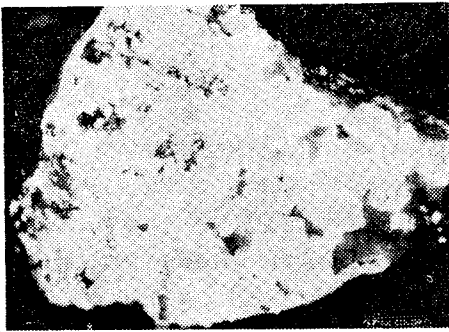


Fig. 2 岩石 sample에서 나타나는 巨晶 灰重石 結晶들內의 累帶構造

坑內 平面圖에 黃色 螢光 灰重石의 優勢度를 plot해 보면 灰重石 ore shoot와 또한 高溫充填 溫度 分布와 類似한 方向과 形態를 보여줌으로써 鑛體 生成過程의 一聯의 關係를 暗示하고 있어 螢光色과 流體 包有物의 充填 溫度와의 關係 料明을 爲한 보다 體系的인 研究가 要望되고 있다.

脈別로 分類하여 이들의 分布 樣相을 記述하면 다음과 같다.

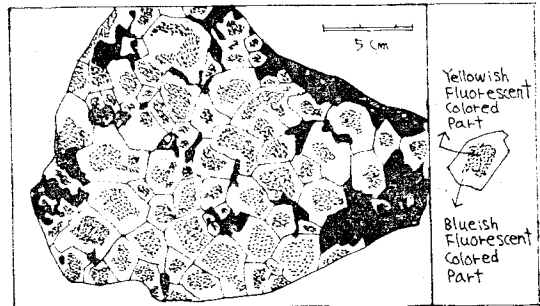
3-1. 本脈內의 分布

本脈內의 黃色 螢光 灰重石 優勢 部位는 外廓 部位에서 中央 部位로 갈수록 增加하면서 累帶 構造를 이루고 있는데 이 分布의 方向과 形態는 本脈內의 tungsten 高品位 帶 및 molybdenum

螢光色 分布 調査는 熟練된 數회에 걸친 坑內 地質 調査者의 個別 調査를 根據로 客觀性있는 資料를 綜合하여 坑內 水平 坑道에서 40m 間隔으로 既 設定된 block을 基準으로 이에 對한 黃色 螢光 灰重石의 占有率 및 品位圖를 作成하였으며 이에 對한 結果를 代表的인 標準 試料의 分析으로 確認하였다.

全 鑛體에 걸친 두 群의 灰重石 分布는 그 優勢群으로 分類하여 보면, 鑛體의 中央部位에 黃色 螢光 灰重石이 優勢하고, 外廓 部位에서 靑色 螢光 灰重石이 優勢한 一聯의 累帶分布를 보여 주고있다(付圖 1).

이러한 構造는 個別 灰重石 結晶에서도 흔히 觀察되고 있는 데, 單一 結晶에서 두가지 螢光色이 區分이 되는 一部 巨晶 灰重石 結晶의 中央部는 黃色을 띄우며 結晶 가장자리는 靑色 螢光色으로 둘러싸여져 있음이 나타난다(Fig. 2).



高品位 帶와 類似한 樣相을 보인다.

또한 이들 黃色 螢光 灰重石의 分布와 tungsten 品位와의 關係를 比較하여 보면 tungsten 品位 1% 以下에서는 tungsten 品位와 黃色 螢光 灰重石 占有率이 比例 關係를 가지며, 1% 以上の tungsten 品位에서는 tungsten 品位的 增加에 關係없이 60% 以上の 黃色 螢光 灰重石 占有率이 維持된다.

3-2. 下盤脈內의 分布

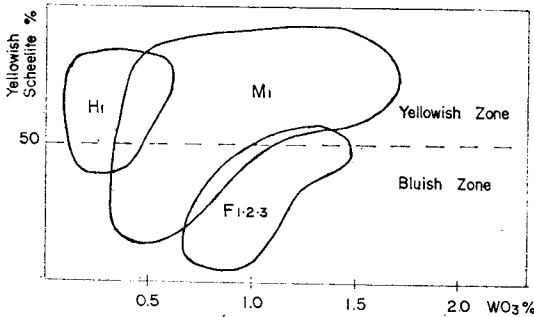
下盤脈內의 分布는 本脈 下部와 類似한 比例 關係를 보여주는데, tungsten 品位가 0.5~1% 의 範圍에서 調査된 黃色 螢光 灰重石 占有率은 50% 以下이다.

3-3. 上盤脈內의 分布

上盤脈內의 分布는 本脈 上部와 類似한 바, tungsten 品位에 關係있어 黃色 螢光 灰重石 占有率은 50~70%를 차지하고 있다.

3-4. 各 脈間의 關係

上記 3 個 脈을 綜合하여 보면 Fig 3 과 같이 本 鑛床 下部脈에서 上部脈으로 갈 수록 黃色 螢光 灰重石 占有率이 增加해 가는 것을 보여준다.



H₁; 上盤脈, M₁; 本脈, F_{1,2,3}; 下盤脈群

Fig 3. 上東鑛床內 各 脈의 tungsten 品位와 黃色 螢光 灰重石 分布의 相關圖

4. 含 Mo 灰重石, Ca(W, Mo)O₄ 內의 몰리브덴 含量 變化

이미 알려진 molybdenum 含量에 따른 灰重石 螢光色의 變化는 上東鑛床의 境遇에도 많은 代表的인 試料를 化學分析 함으로써 灰重石內의 molybdenum 成分의 含量 變化에 따라 螢光色의 變化를 가져오고 있음을 確認한 바 있다.

또한 이들 灰重石이 갖는 螢光色의 分布가 脈別 및 그脈의 位置에 따라 特徵的인 樣相을 보이고 있어 既 調查된 바 있는 tungsten 品位에 따른 累帶 分布를 根據로 이와 關係되는 鑛物組成群을 深度 및 그 位置別로 molybdenum 含量 變化를 調查 檢討하였다.

調査 對象이 된 試料는 深度別로

上部坑(장산坑과 상동坑사이)

中上部坑(下1坑과 下5坑사이)

中下部坑(下6坑과 下10坑사이)

下部坑(下11坑 以下)으로 나누고,

各 區分된 深度를 位置別로 外廓 部位(tungsten 貧鑛帶), 中央 部位(tungsten 富鑛帶)로 나누어 Fig. 2 와 같이 總 8 個의 部位로 本 鑛體

를 區分한 後 脈別로 上·下部位가 全體 觀察되는 cross 坑道를 選擇하여 本脈의 境遇 28 個 cross 坑道, 下盤脈은 17 個 cross 坑道, 上盤脈은 4 個 cross 坑道, 總 50 個 cross 坑道를 對象으로 試料 採取를 實施하였다. 勿論 試料 採取時 가장 注意한 點은 石英脈內에 胚胎된 輝水鉛石의 混入 또는 感染이 없도록 最善을 다 하였다.

採取된 試料는 thin section 및 polished section 에 의한 현미경 觀察로 鑛種別 分類를 하였는데, 이들의 區分은 母岩 slate, 脈 上·下部位에 發達된 lime-silicate hornfels인 上·下 cherty rock, pyroxene-garnet群, wollastonite-pyroxene-garnet群, pyroxene-hornblende群, quartz-hornblende群, quartz-mica群으로 大別하였다.

各 試料의 分析 結果(別表 1)는 深度, 位置, 鑛種別로 平均値를 求하여 脈別 鑛物 組成에 따른 WO₃, Mo 品位로 定한 後 이를 Mo/(WO₃+MoO₃)×100으로 換算하여, 灰重石內의 Molybdenum 含量로 삼아 全般的인 關係를 檢討 分析 하였다.

4-1. 本脈

本脈內의 各 部位는 大體로 類似한 鑛物群을 이루나 特異하게 顯著한 差異를 보이는 點은 quartz-mica群이 下部坑에서는 거의 觀察되지 않으며, wollastonite-pyroxene-garnet群은 下 1坑—5坑 外廓 部位와 그 下部坑에서만 觀察이 可能하였다. 또한 上部坑 部位의 下盤 cherty rock 中에서 觀察되지 않은 plagioclase가 下 1坑 下部에서는 모든 cherty rock 中에서 觀察되며, skarn 脈中 下部坑에서는 vesuvianite와 epidote가 pyroxene-garnet群 中에 優勢하게 나타나고 있음에 卽 區分된 鑛物群中 새로운 鑛物群으로 觀察되고 있다.

灰重石內 molybdenum 含量은 上部 坑道에서 下部 坑道로 갈수록 減少하여 中央 部位(2.4%)는 外廓 部位(1.9%)보다 높다.

鑛物 組成群에 따른 灰重石內 molybdenum 含量은

Slate 0.82% Mo

下盤 cherty rock 1.47% Mo

Pyroxene-garnet群 0.5% Mo

Pyroxene-hornblende群 1.5% Mo

Quartz-hornblende群 2.05% Mo

Quartz-mica群 3.1% Mo

上盤 cherty rock 1.63% Mo 이다

따라서 本脈은 灰重石內 molybdenum 含率이 0.5~3.1%의 範圍를 가지며 平均含率 2.41%를 보여 준다.

이들 各 部位別 molybdenum 平均 含率을 既 調査된 tungsten 品位圖에 適用하여 보면 molybdenum 含率은 tungsten 品位보다는 深度에 더 큰 影響을 받고 있음을 알 수 있는 바, 深度가 깊을 수록 灰重石內 molybdenum 含率은 減少하고 있다.

4-2. 下盤脈

下盤脈은 plagioclase가 모든 鑛物群에서 보다 많이 觀察되고 있음이 顯著하게 다를 뿐, 鑛物組成 및 tungsten 品位는 本脈과 거의 類似하다

灰重石內 molybdenum 含率은

Slate trace

Cherty rock trace

Pyroxene-garnet群 trace

Hornblende-pyroxene群 trace

Quartz-hornblende群 0.25% Mo

Quartz-mica 群 0.74% Mo로써의 trace~0.47% 灰重石內 molybdenum 含率을 가지며 平均含率 0.38%로써 本脈 含率의 1/6에 不過하다.

묘봉層內 本 鑛體 外廓 部位에 該當되는 下盤脈 上·下位의 slate에서 産出되는 灰重石은 거의 石英脈 또는 裂隙을 따라 胚胎된 것으로 黃色을 띄우는 것이 거의 보이지 않는 靑色 螢光 灰重石으로 되어 있다. 이는 本脈 下位의 묘봉層을 cross한 坑道에서 比較調査된 tungsten과 molybdenum의 含量變化에 依하면 tungsten 含量의 變化에 따라 molybdenum 含量은 變化를 보여 주지 않는 trace로 나타나고 있는 結果에 依해서도 이 部位의 灰重石은 거의 純粹한 灰重石만으로 構成되어 있음을 確認할 수 있다.

4-3. 上盤脈

上盤脈은 鑛物 組成群中 quartz-mica群이 缺如되고 一定한 鑛物學的 累帶 分布를 보이지 않는다.

灰重石內 molybdenum 含率은

Slate 3.17~3.77% Mo

Cherty rock 4.65% Mo

Pyroxene-epidote群 6.06% Mo

Hornblende-quartz群 5.55% Mo

Pyroxene-garnet群 7.93% Mo

Garnet-wollastonite群 2.99% Mo로써 매우 變化가 深하고 넓은 範圍를 가지고 있는데 灰重石內 molybdenum 平均含率은 4.65%로써 本脈의 2배, 下盤脈의 13배에 該當되는 높은 含率을 보여 준다.

5. 上東 鑛床 輝水鉛石의 産狀

上東鑛山 坑內에서 産出되는 輝水鉛石은 모두 石英脈內에 胚胎되며, 一部 드물게 節理나 裂隙을 充填하고 있어 skarn 鑛體 바탕에는 전혀 나타나고 있지 않음이 特徵적이다.

石英脈內에 産出되는 輝水鉛石은 거의 巨晶의 塊粒狀을 이루며 이를 胚胎한 石英脈은 數 mm에서 10餘 cm에 이르는 多樣한 幅을 가진다. 一般적으로 많은 石英脈에서 輝水鉛石은 母岩과의 境界部位에 가까운 兩가장자리에 胚胎되어 있다.

含 輝水鉛石 石英脈은 skarn 鑛體를 cross하는 境遇도 있으나, 大體로 그 下位部에서 母岩의 層理에 平行하게 發達하고 있으며 特히 묘봉層內에는 下部 本脈 層準으로부터, 그 下位 묘봉層內 silicified slate까지 約 4m 區間에 걸쳐 가장 優勢하게 發達하고 있다. 이들 石英脈의 發達은 灰重石 富化帶에 該當되는 中央 部位에서 더욱 顯著하여 一聯의 stringers를 이루고 있다.

肉眼觀察에 依하면 含 輝水鉛石 石英脈은 大體로 他 硫化物을 갖고 있지 않으며, 아주 드물게 輝水鉛石과 相當한 距離를 두고 同一脈에서 若干의 黃鐵石(pyrite), 磁硫鐵石(pyrrotite)이 觀察되거나, 局部的으로 黃銅石(chalcopyrite), 蒼鉛石(bismuthinite), 黃鐵石(pyrite)과 共生한다.

특히 灰重石은 他 石英脈들에 비해 含 輝水鉛石 石英脈은 그 含有率이 極히 낮으며, 一部 tungsten 品位가 높은 含 輝水鉛石 石英脈이 觀察될 境遇 모든 灰重石은 molybdenum을 含有하지 않는 靑色 螢光色을 보여 주고 있다.

이들 含 輝水鉛石 石英脈의 分布 範圍는 地表(785 m/S.L)로부터, 下7坑(482m/S.L) 사이

에 局限되며 그 以下坑道에서는 肉眼으로 거의 觀察되지 않고 있다. 最近 下15坑(269.5m/S.L) 東側에서 含 輝水鉛石 石英脈(幅 2cm)이 처음 發見된 바, 이는 異例의인 産狀으로 看做하고 이에 따른 新 鑛化帶 賦存 可能性을 豫示한 바 있다.

6. 몰리브덴 産狀의 成因의 考察

既 記述된 molybdenum 産狀은 灰重石 生成 時期의 先後에 따라 形成되어졌다고 推定할 수 있는 바, 初期에 石灰岩으로부터 skarn (wollastonite-garnet群, garnet-pyroxene群, calcite-plagioclase 群)化한 層準에 供給된 tungsten ore solution은 molybdenum을 含有하고 있었으며, 漸次 그 量은 減退되어졌으리라 假定할 수 있다. 이러한 假定下에서 脈別(上盤脈, 本脈, 下盤脈) molybdenum 含量은 上位의 脈으로부터 下位의 脈으로 감에 따라 減退하고 있는 現象으로 說明될 수 있는데, 卽 下部로부터 강한 壓力을 가지고 供給된 含 molybdenum-tungsten solution은 高溫 狀態로 上昇하면서 灰重石을 晶出하기에는 適定 溫度에 이르지 못한 채 下盤脈과 本脈 部位를 通過하여 molybdenum을 가장 많이 含有한 初期의 tungsten solution이 上盤脈 層準에 이르러서 그 適定 溫度가 形成됨으로써 가장 많은 含 molybdenum 灰重石이 晶出되었다. 그 後 漸次 分給되어진 tungsten solution은 molybdenum 含量이 減退하는 成分上의 差異를 보여 주면서, 上昇壓의 減退 및 溫度의 漸次的인 降下에 依해 本脈 및 그 下位의 下盤脈 順位로 灰重石이 晶出되어지는 過程을 밝게 되어 特徵적인 molybdenum 含量 分布를 보여 주게 되었다고 믿어진다.

이러한 現象은 本脈의 境遇 ore solution의 主 通路에 該當되는 ore shoot (最高 富化帶)를 이루고 있는 quartz-mica-scheelite ore에 賦存하는 灰重石이 거의 黃色 螢光을 보여 주고 있으며, 一部 巨晶을 이루는 灰重石은 growth structure를 보이는 바, 그 中央 部位는 黃色 螢光色을, 그 外廓 部位는 靑色 螢光色을 보여주고 있는 事實로도 說明될 수 있다.

灰重石 鑛體의 類別에 따라 觀察되고 있는 先

後 鑛化 溶液에서의 molybdenum 含量 減退 現象은 다음과 같은 說明으로 傍證을 삼을수 있다

① Skarn으로 된 灰重石 鑛體와 石英脈 灰重石 鑛體의 生成 順位는 後者가 skarn 鑛體를 貫入하고 있음으로 後期 生成으로 認定되는 바, 石英脈內의 灰重石은 거의 靑色 螢光을 보여 주고 있다.

② Skarn 鑛體內 灰重石 螢光色中 靑色과 黃色이 함께 나타나는 部位는 大體로 skarn 鑛體가 石英脈의 貫入에 따라 周邊 skarn 鑛體에 tungsten 富化 現象을 일으킨 部位이다.

③ Quartz-mica群 zone에 該當되는 鑛化帶의 一部 上位部에는 灰重石 鑛化作用 以前에 生成된 交代되지 않은 pyroxene-garnet 群이 觀察되고 있는 바, pyroxene-garnet 群을 交代한 大部分의 quartz-mica 群內 灰重石은 黃色 螢光을 보여 주며, pyroxene-garnet 群과의 接部는 hornblende-pyroxene群으로 漸變하며 灰重石은 靑色 螢光을 보여 준다. 이는 主通路에서의 鑛物群形成이 中央部로부터 그 外廓部로 감에 따라 quartz-mica群에서 hornblende-pyroxene群으로 變化하고 있듯이 ore solution에서의 molybdenum 含量은 K 含量과 함께 減退되어 갔음을 立證해 주고 있다.

7. 몰리브덴 産狀의 地化學的 條件

Hsue와 Galli (1973)는 skarn 鑛體에서 輝水鉛石이 生成되지 않고 含 molybdenum 灰重石으로서만 生成되게 된 原因을 酸素(O_2)와 硫黃(S_2)의 fugacity의 條件變化를 들어 說明하고 있는 바, 比較的 酸素의 fugacity는 높고, 硫黃의 fugacity는 낮은 狀態에서 鑛化作用이 이루어졌기 때문이라고 보고 있다.

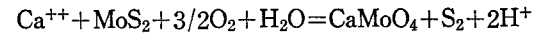
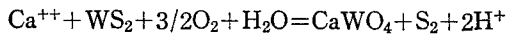
Sigurdson(1974)은 鑛化 溶液中 molybdenum은 鑛化 作用이 skarn을 交代하면서 이루어지는 동안 높은 oxidation potential이 形成됨으로써 Mo^{+4} 는 Mo^{+6} 로 轉換되어져 輝水鉛石으로 晶出되지 못하고 solid solution 狀態로 灰重石內에 包含되어져 産出됨을 說明하고 있다. 이러한 假說을 根據로 한다면 上東鑛床을 形成한 molybdenum의 産狀도 쉽게 推定해 볼 수 있다.

Hsue와 Galli의 圖表를 根據로 이를 變形하여

作成된 Moon (1977)의 圖表를 引用하여 molybdenum 産狀을 推定해 볼 境遇 上東鑛床 molybdenum 生成의 地化學的條件을 다음과 같이 說明할 수 있다. 但 圖表에서 基準으로 삼은 一部 地化學·物理學的 條件을 다음과 같은 根據下에 設定하여, 이에 따른 地化學的 條件 變化를 total sulfur, Ca⁺⁺의 濃度, O₂와 S₂의 fugacity 등으로 하여 複合的인 條件을 求하였다.

灰重石 生成時의 pH의 條件은 Baravanov(1971)의 灰重石 晶出 實驗 測定值로 報告된 7 (7.3)을 基準하였고, 溫度는 灰重石內의 流體 包有物의 充填·溫度 範圍에 속하는 250°C와 350°C만을 考慮하였고, total sulfur contours와 magnetite-pyrrhotite-pyrite triple point (Fe-S-O System)는 Raymahashy와 Holland (1968)의 實驗 圖表를 根據로 하였다.

以上の 資料에 依해 作成된 反應式은 다음과 같다.



以上の 反應式에 依해 作成된 diagram에서 pH=7, Ca⁺⁺=10⁻¹mole, 溫度 350°C로 一部 條件을 固定하고 skarn 鑛體內의 含 molybdenum 灰重石 生成時의 條件을 上東鑛山에서 黃色 螢光灰重石과 共生하는 pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, magnetite, bismuthinite, bismuth를 根據로 할 境遇 total sulfur (ΣS) < 10⁻⁶, f_{O₂} = -26, f_{S₂} = -10인 것 (Fig 4)이, 溫度가 250°C인 境遇의 變化는 pH=7, Ca⁺⁺=10⁻¹mole에서 total sulfur < 10⁻³, f_{O₂} = -31, f_{S₂} = -14가 된다 (Fig 5).

以上の 結果는 溫度가 下落함에 따라 O₂와 S₂의 fugacity는 낮아지는 傾向을 보여주고 있는 바, skarn 鑛體에서 molybdenum이 輝水鉛石 (MoS₂)代身 灰重石의 固溶體 狀態로 晶出되는 條件의 境界線이 溫度의 降下와 함께 f_{O₂}와 f_{S₂}가 낮아짐에 따라 左側으로 移動하고 있음을 보여주고 있다.

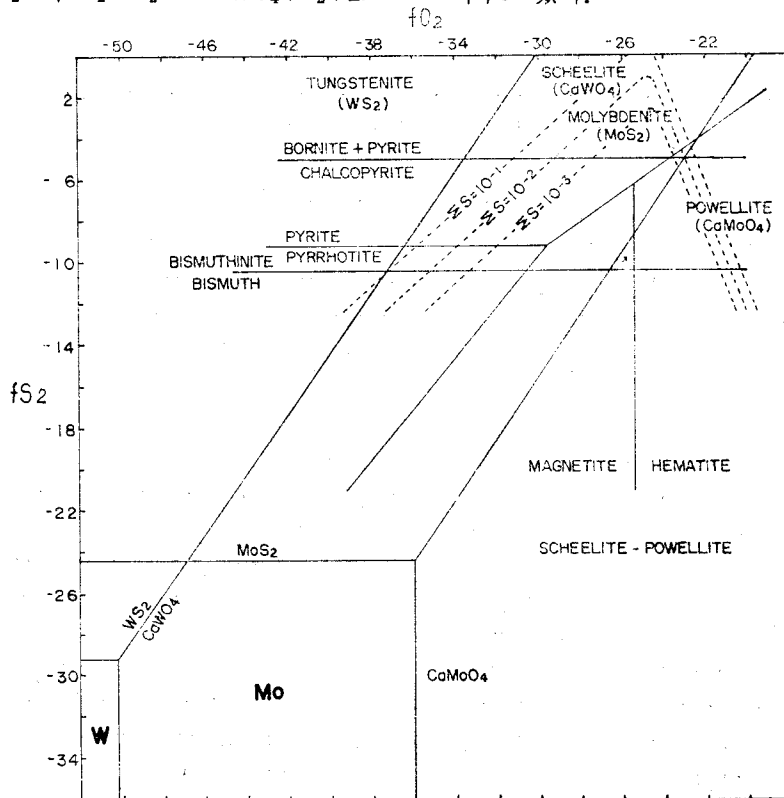


Fig4. Diagram showing the stability fields of ore minerals occurring in the main ore body and the quartz veins, as functions of fO₂ and fS₂ at 350°C and pH=7

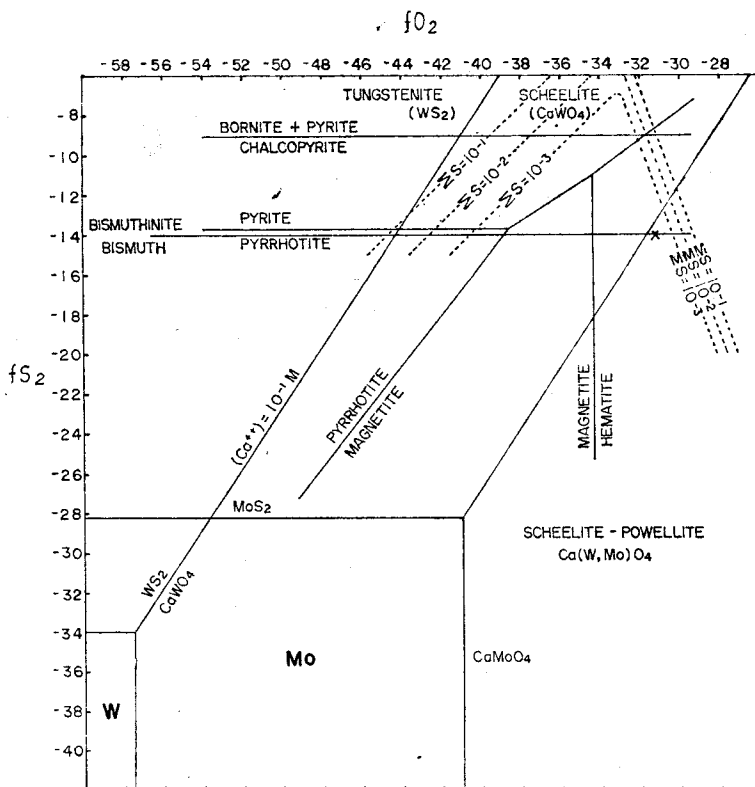


Fig 5. Diagram showing the stability field of ore minerals occurring in the main ore body and the quartz Veins, as functions of fO_2 and fS_2 at $250^\circ C$ $Ca^{++} = 10^{-1}M$ and $pH=7$

이는 ore solution의 諸般 條件이 左向하여 變해가는 傾向을 보이고 있음으로써 含 molybdenum 灰重石은 漸次 純粹한 灰重石으로 晶出되어 지도록 地化學的 · 物理的 條件이 變하여졌으리라 推定케 해준다.

따라서 石英脈內에 局限 胚胎된 輝水鉛石의 生成은 skarn 鑛體內의 molybdenum 生成과는 判異한 地化學 · 物理的 條件下에서 이루어 졌을 것이라는 假說을 이 diagram은 充分히 立證해 주고 있다.

參 考 文 獻

- Baravanov, V.F., 1971. Geochemistry of tungsten. Internat. Geology, Rev. Vol. 13, No. 3.
- Hsue & Galli, 1973. Origin of the scheelite-powellite series of minerals, Econ. Geol., Vol. 68.
- Hsue, L.S., 1977. Effects of oxygen and sulfur fugacities on the scheelite-tungsten and owellitpe-molybdenite stability relations. Econ. Geol., Vol. 72.
- Moon, K.J., 1977. Fluid inclusions and geochemical study on Sangdong tungsten mineralization. Tasmania Univ., Non-published.
- Raymahashy and Holland, 1968. Composition of aqueous solution in equilibrium with sulfides and oxide of iron of $350^\circ C$.
- Sigurdson, 1974. Mineral paragenesis and fluid inclusion thermometry at four western U. S. tungsten deposits. Uni. of California. Riverside Ph.D thesis
- 이 항재, 1979. 上東 Mo 資源 調査 · 上東 鑛業所內 報告書
- 전 용원, 1964. 上東 重石鑛床의 地質과 成因 · 大韓鑛山學會誌, Vol. 5, No. 4, pp. 91-102.
- 황 기업, 1962. Powellite의 浮選 特性 · 金屬 燃料. 綜合 研究所 刊
- 황 재운, 1970. 上東產 Scheelite의 特性研究. 開發 調査誌 (大韓重石刊), Vol. 5, No. 4, pp. 10-13.

上東鐵床 Molybdenite 의 產出狀態에 對한 研究

別表 1. 坑內 試料 化學 分析 結果

**Main Ore vein

IPART	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%
J-S.L	QM	2.64	0.110	QH	0.72	0.020	PG	0.28	0.004	QH	0.64	0.010	QH	0.45	0.010
O.P	QM	3.10	0.150	QH	1.55	0.050	SL	0.03	Tr	SL	0.03	Tr	SL	0.10	Tr
	SL	0.10	Tr	SL	0.30	Tr	SL	0.05	Tr	QH	1.43	0.040	SL	0.13	Tr
	PH	0.67	0.010	PH	0.25	0.004	PH	0.50	0.012	PH	0.57	0.007	QH	1.60	0.030
	fCH	0.20	0.013	PH	0.75	0.010	fCH	0.17	0.008	fCH	0.15	Tr	PH	0.50	0.008
	PH	0.42	0.008	fCH	0.17	Tr	fCH	0.34	Tr	fCH	0.15	Tr	PH	0.57	0.010
	hCH	0.11	Tr	PG	0.10	Tr	PG	0.19	Tr	LS	0.05	Tr	QH	1.73	0.050
	hCH	0.16	Tr	hCH	0.04	Tr	hCH	0.12	Tr	hCH	0.07	0.015	fCH	0.32	Tr
	fCH	0.30	Tr	fCH	0.02	Tr	QH	1.65	0.030	QH	2.33	0.100	fCH	0.15	Tr
C.P	QM	3.29	0.113	QM	3.57	0.160	QM	3.99	0.170	QH	1.43	0.020	QH	1.73	0.070
	QM	1.55	0.100	PG	0.05	Tr	QH	0.45	0.038	PG	0.05	Tr	QH	1.60	0.090
	QH	1.37	0.070	QH	1.70	0.074	PG	0.50	0.005	PG	0.42	0.005	PH	0.22	0.005
	PG	0.28	0.004	PG	0.04	Tr	PG	0.03	Tr	PH	0.31	0.005	PG	0.06	Tr
	PH	1.57	0.025	PH	0.73	0.015	PH	0.70	0.015	SL	0.35	Tr	PH	0.60	0.015
	PH	1.20	0.022	PH	0.61	0.015	PH	0.50	0.017	PH	0.42	0.013	SL	0.15	0.004
	PH	0.65	0.008	fCH	0.07	0.005	fCH	0.28	Tr	fCH	0.18	0.008	hCH	0.11	Tr
	hCH	0.20	0.005	hCH	0.16	0.004	SL	0.30	0.006	SL	0.10	0.005	SL	0.10	0.004
	SL	0.04	0.004	SL	0.05	Tr	SL	0.12	Tr						
1-5.L	QM	1.48	0.030	QH	2.36	0.040	QH	0.84	Tr	QM	4.71	0.150	QH	1.09	0.020
	QH	1.44	0.025	QH	1.27	0.020	QH	3.85	0.050	QH	1.36	0.020	QH	2.72	0.043
	PH	0.54	0.005	PH	0.63	0.015	PH	0.69	0.010	GW	0.10	Tr	PG	0.04	Tr
	PG	0.08	Tr	PG	0.08	Tr	PG	0.06	Tr	PG	0.07	Tr	PG	0.22	0.008
	PG	0.06	Tr	SL	0.08	Tr	PG	0.06	Tr	PG	0.60	0.005	PG	0.16	Tr
	PG	0.10	Tr	fCH	0.10	Tr	fCH	0.11	Tr	fCH	0.16	Tr	fCH	0.19	0.015
	fCH	0.14	Tr	fCH	0.34	0.010	hCH	0.16	Tr	hCH	0.02	Tr	hCH	0.09	Tr
	hCH	0.06	Tr	hCH	0.17	Tr									
C.P	QM	5.90	0.170	QM	2.06	0.150	QH	2.55	0.050	QM	4.45	0.190	QH	4.65	0.060
	QM	3.68	0.160	QM	5.20	0.170	hCH	0.14	0.007	QM	3.55	0.110	QM	2.36	0.110
	hCH	0.12	Tr	hCH	0.08	Tr	QH	1.80	0.030	QH	1.35	0.040	QH	0.77	0.010
	QH	2.24	0.040	hCH	0.30	0.007	PH	1.25	0.020	PH	0.63	0.010	PH	1.60	0.022
	PG	0.05	Tr	PG	0.50	0.007	PG	0.08	Tr	PG	0.25	0.001	PG	0.23	0.002
	fCH	0.29	Tr	fCH	0.21	Tr	fCH	0.12	Tr	fCH	0.30	Tr	fCH	0.33	0.020
6-10.L	QM	2.48	0.040	QM	4.15	0.050	QM	2.00	0.040	QH	1.48	0.020	QH	0.60	0.008
	PG	0.40	Tr	PG	0.30	Tr	QM	5.10	0.140	QH	0.72	0.010	fCH	0.13	0.005
	fCH	0.27	Tr	fCH	0.15	0.007	hCH	0.10	Tr	PH	0.80	Tr	PH	0.97	Tr
	PH	0.89	0.015	PH	0.34	Tr	PH	1.10	0.010	PH	0.34	Tr	PH	0.69	Tr
	PG	0.10	Tr	PG	0.07	Tr	PG	0.16	Tr	PG	0.10	Tr	PG	0.14	Tr
	PG	0.23	Tr	PG	0.35	Tr	PG	0.12	Tr	PG	0.23	Tr	PG	0.20	Tr
	WG	0.12	Tr												
C.P	QM	5.20	0.120	QM	5.60	0.120	QH	0.87	0.010	QH	1.68	0.030	QH	1.02	0.015
	QH	1.40	0.020	hCH	0.20	0.010	QH	1.08	0.020	QH	1.19	0.020	PH	0.54	0.007
	PH	2.11	0.030	hCH	0.06	Tr	PH	1.16	0.016	PG	0.52	0.005	PG	0.05	Tr
	PG	0.01	Tr	PG	0.20	Tr	fCH	0.22	Tr	fCH	0.27	0.010	fCH	0.38	0.012
	fCH	0.15	Tr	hCH	0.06	Tr	hCH	0.08	Tr						
11-16L	QH	2.15	0.025	QH	0.66	Tr	QH	0.70	0.010	QH	0.65	Tr	PH	0.26	Tr
	hCH	0.05	Tr	hCH	0.04	Tr	hCH	0.10	Tr	hCH	0.20	0.010	SL	0.10	Tr
	WPG	0.06	Tr	WPG	0.15	Tr	WPG	0.12	Tr	PH	0.56	0.010	PH	0.60	0.010
	PH	0.90	0.010	PH	0.77	0.010	PH	0.43	Tr	PH	0.37	Tr	PH	0.19	Tr
	PH	0.27	Tr	PH	0.90	0.010	PH	0.36	Tr	PH	0.23	Tr	PH	0.27	Tr
	PH	0.58	0.005	PH	0.67	Tr	PH	0.57	0.010	PH	0.33	Tr	PH	1.20	0.015
	PH	0.64	0.010	PH	0.15	Tr	PH	0.47	Tr	PH	0.13	Tr	PH	0.13	Tr
	PH	0.08	Tr	PH	1.15	0.030	PH	0.65	0.003	PH	0.58	0.008	PH	0.15	Tr
	PG	0.17	Tr	PG	0.12	Tr	PG	0.40	Tr	PG	0.65	Tr	PG	0.44	Tr
	PG	0.57	Tr	PG	0.07	Tr	PG	0.38	Tr	PG	0.88	0.010	PG	0.19	Tr
	PG	0.10	Tr	PG	0.21	Tr	PG	0.38	Tr	PG	0.80	Tr	PG	0.11	Tr
	PG	0.07	Tr	PG	0.10	Tr	PG	0.07	Tr	PG	0.11	Tr	PG	0.42	Tr
	fCH	0.09	Tr	PG	0.07	Tr	PG	0.06	Tr	fCH	0.09	Tr	PG	0.13	Tr
	PG	0.14	Tr	PG	0.13	Tr	PG	0.60	Tr	fCH	0.30	Tr	PG	0.16	Tr
	PG	0.91	Tr	PG	0.19	Tr	PG	0.53	0.008	PG	0.43	0.005	PG	0.46	Tr
	fCH	0.24	Tr	fCH	0.21	0.005	fCH	0.10	Tr	fCH	0.31	Tr	fCH	0.28	Tr

C.P.	QH 0.74	0.010	QH 2.68	0.030	QH 2.00	0.030	QH 1.53	Tr	QH 1.10	Tr
	QH 0.73	0.010	QH 1.57	0.030	QH 0.83	Tr	QH 1.15	0.030	PH 1.42	0.010
	PH 0.69	Tr	PH 1.40	Tr	PH 0.66	Tr	PH 0.95	0.010	PH 0.33	Tr
	PH 0.79	Tr	PH 0.68	0.020	PH 0.23	Tr	PH 0.76	0.010	PG 0.29	Tr
	PG 0.37	0.005	PG 0.28	0.005	PH 0.77	0.010	PG 0.06	Tr	PH 0.33	0.010
	PG 0.28	Tr	WPG 0.17	Tr	PG 0.23	0.005	PG 0.10	Tr	PG 0.39	0.005
	WPG 0.07	Tr	PG 0.07	Tr	PG 0.08	Tr	PG 0.03	Tr	PG 0.06	Tr
	PG 0.06	Tr	PG 0.09	Tr	PG 0.12	Tr	PG 0.12	Tr	PG 0.13	Tr
	PG 0.05	Tr	PG 0.06	Tr	PG 0.14	Tr	fCH 0.04	Tr	fCH 0.13	Tr
	fCH 0.06	Tr	fCH 0.06	Tr	fCH 0.10	Tr	fCH 0.14	0.005	fCH 0.11	Tr
	fCH 0.06	Tr	fCH 0.29	Tr	fCH 0.28	Tr	fCH 0.39	Tr	fCH 0.29	Tr
	fCH 0.33	Tr	fCH 0.72	0.010	fCH 0.13	0.005	fCH 0.27	Tr	fCH 0.57	Tr
	fCH 0.17	Tr	fCH 0.53	Tr	fCH 0.11	Tr	fCH 0.25	Tr	fCH 0.40	0.007
	fCH 0.08	Tr	fCH 0.37	0.009	fCH 0.27	Tr	fCH 0.43	Tr	fCH 0.16	0.005
	fCH 0.13	Tr	hCH 0.08	Tr	hCH 0.15	0.005	fCH 0.20	0.007	SL 0.21	Tr
	SL 0.11	Tr	SL 0.07	0.010	SL 0.13	0.010	SL 0.12	Tr	SL 0.18	Tr
	SL 0.12	Tr	SL 0.16	Tr	SL 0.06	Tr	SL 0.12	Tr	SL 0.17	0.010
	SL 0.07	Tr	WPG 0.08	Tr	WPG 0.09	Tr				

**Hanging Wall Ore Vein

IPART	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%
B.L.	LS	0.10	0.003	LS	0.07	Tr	LS	0.12	0.001	LS	0.07	Tr	WGP	0.06	0.005
	WGP	0.10	0.005	PG	0.11	0.030	PG	0.07	Tr	PG	0.04	0.005	PG	0.29	0.010
	PG	0.20	0.010	PG	0.60	0.020	EG	0.18	0.015	EG	0.11	0.015	EG	0.08	Tr
	EG	0.05	0.010	EG	0.10	0.005	QH	0.14	0.030	QH	0.08	0.005	QH	0.27	0.030
	QH	0.22	Tr	QH	0.20	0.005	QH	0.35	0.025	QH	0.38	0.025	QH	1.15	0.075
	QH	0.66	0.020	P	0.14	0.005	P	0.14	0.020	P	0.14	0.015	P	0.24	0.010
	CH	0.11	0.005	CH	0.15	0.015	CH	0.10	0.010	CH	0.12	Tr	CH	0.08	Tr
	CH	0.10	0.005	SL	0.05	Tr	SL	0.06	0.005	SL	0.04	Tr	mSL	0.12	0.010
	mSL	0.11	0.005	mSL	0.03	Tr	mSL	0.03	Tr	mSL	0.04	Tr	mSL	0.18	Tr
5-6.L.	LS	0.06	0.005	WG	0.08	Tr	PG	0.10	0.010	PG	0.05	Tr	PG	0.05	0.005
	PG	0.11	0.025	CH	0.10	0.010	CH	0.05	Tr	CH	0.08	0.005	CH	0.07	0.005
	P	0.09	0.010	P	0.04	0.005	P	0.06	0.005	P	0.05	0.005	P	0.06	Tr

**Foot Wall Ore Vein

IPART	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%	M	W03%	Mo%
	QM	5.50	0.005	QM	3.25	0.005	QM	1.41	0.010	PH	0.93	Tr	PH	0.77	0.010
	PH	0.74	0.005	QH	2.95	0.005	QH	0.36	Tr	QH	1.91	0.005	CH	0.09	0.005
	CH	0.32	Tr	CH	0.03	Tr	QH	1.48	0.005	PH	0.83	0.004	CH	0.16	Tr
	QM	1.88	Tr	QM	2.36	0.015	QM	5.02	0.020	QM	3.24	Tr	QM	2.68	0.010
	CH	0.09	Tr	CH	0.28	Tr	CH	0.16	Tr	CH	0.14	Tr	SL	0.07	Tr
	QM	4.41	0.020	QH	1.71	0.005	QH	2.98	0.010	PH	0.54	Tr	PH	1.09	0.005
	PG	0.25	Tr	QH	1.00	Tr	QH	2.25	0.015	PH	0.85	0.005	QM	5.12	0.030
	CH	0.19	Tr	CH	0.17	Tr	QH	2.08	0.004	PH	0.68	Tr	PH	0.49	Tr
	PH	0.18	Tr	PG	0.06	Tr	PG	0.08	Tr	PG	0.17	Tr	PG	0.11	Tr
	QM	2.98	0.005	QM	3.66	0.015	QH	2.16	0.005	QH	3.12	0.010	PH	0.65	Tr
	PH	0.44	Tr	PG	0.17	Tr	PG	0.15	Tr	CH	0.15	Tr	CH	0.14	Tr
	CH	0.19	Tr	CH	0.18	Tr	CH	0.60	Tr	CH	0.73	Tr	CH	0.67	Tr
	CH	0.49	Tr	CH	0.37	Tr	CH	0.19	Tr						

LEGEND

O.P→Outer part. C.P→Center part.

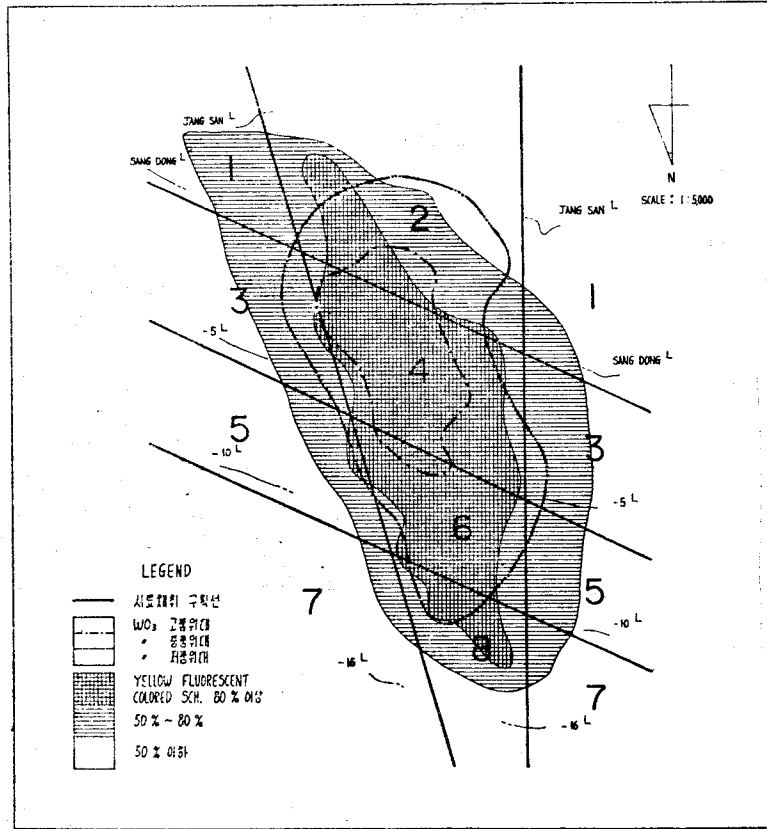
QM→Quartz-Mica Ore. QH→Quartz-Hornblende Ore. PH→Pyroxene-Hornblende Ore.

PG→Pyroxene-Garnet Ore. GW→Garnet-Wollastonite Ore. SL→Biotite Slate.

mSL→Muscovite-Biotite Slate. CH→Cherty Rock. hCH→Hanging Wall Cherty Rock.

fCH→Foot Wall Cherty Rock. WPG→Wollastonite-Pyroxene-Garnet Ore. P→Pyroxene Ore.

EG→Epidote-Garnet Ore. Tr→Trace.



付圖 1 上東鐵床 Tungsten 品位 및 黃色 螢光 灰重石 分布圖