

大谷 W-Sn-Cu 鑛床의 熱水變質作用

金 校 榮*

Wall-rock Alteration Relating to Tungsten-Tin-Copper Mineralization at the Ohtani Mine, Japan.

Moon Young Kim

Abstract: The ore deposit of the Ohtani mine is one of representatives of plutonic tungsten-tin veins related genetically to acidic magmatism of Late Cretaceous in the Inner zone of Southwest Japan. Based on macrostructures of vein filling on the order of ore body, three major mineralization stages, called stage I, stage II, and stage III from earliest to latest, are distinguished by major tectonic breaks. The alteration zones are characterized by specific mineral associations in pseudomorphs after biotite. The alteration zones can be divided into two parts, i. e. a chlorite zone and a muscovite zone, each representing mineralogical and chemical changes produced by the hydrothermal alteration. The chloritic alteration took place at the beginning of mineralization, and muscovite alteration in additions to chloritic alteration took place at stage II and III.

The alteration zones are considered to be formed by either of two alteration mechanism.

1) The zones are formed by reaction of the rock with successive flows of solution of different composition and different stage.

2) The zones are formed contemporaneously as the solution move outward. Reaction between the solution and the wall-rock results in a continuous change in solution chemistry.

The migration of the successive replacement of the fresh zone→the chlorite zone→the muscovite zone may have transgressed slowly veinward, leaving metasomatic borders between the different zones.

序言

大谷鑛山은 京都市로 부터 西쪽으로 約 25km 地點, 大략 北緯 35°2', 東經 135°32'에 位置한다(Fig. 1). 大谷鑛山의 鑛床은 西南 日本의 白亞紀 後期의 花崗岩 活動과 成因의으로 密接한 關係를 가진 深成 텅스텐-錫-銅鑛脈鑛床의 代表的인 鑛床中의 하나이다. 本鑛山의 地質, 鑛床 등에 대하여 長原(1969), 今井等(1972, 1978), 金等(1972)의 研究報告가 있다. 筆者는 本鑛山

의 鑛脈鑛床에 대하여 macrostructure에 의해 鑛化時期의 問題, 各 鑛化時期의 特徵, 各 鑛化時期에 있어서의 流體包有物의 充填 溫度 및 NaCl 相當濃度의 特徵 등을 通하여 鑛脈鑛床의 生成過程을 論하였다(kim, 1981, : 中村, 金; 1982; 金, 中村, 1986).

本報에서는 鑛化作用과 母岩變質의 關係, 특히 各 鑛化時期에 수반하는 母岩變質의 鑛物學的 및 化學組成의 特徵에 關하여 考察한다.

地質 및 西南日本 內帶의 텅스텐 鑛床區

地質概要

大谷鑛山 부근의 地質은 주로 丹波層群(Tamba

* 韓國動力資源研究所 (Korea Institute of Energy and Resources, Garibong-Dong, Kuro-Gu Seoul, 152-600, Korea)

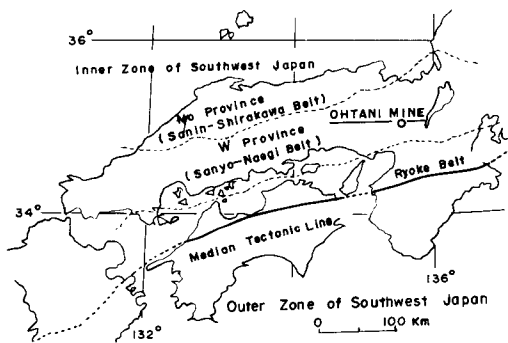


Fig. 1 The tungsten-molybdenum metallogenic provinces and the petrographic provinces in the inner zone of Southwest Japan.

Group)과 이것을貫入하는岩株狀大谷花崗岩體 및 小規模의岩脈等으로構成되어 있다(長原 1969, 今井等 1972, 高田 1978, kim, 1981) 大谷鑛山 부근의地質 및 斷面圖는 Fig. 2와 같다.

丹波層群은 砂岩, 粘板岩, 珪岩(chert)등으로 되어 있다. 本層群은 東西方向을軸으로한背斜構造를 이루고 西쪽으로 plunge하고 있다. 大谷花崗岩體와 接觸하

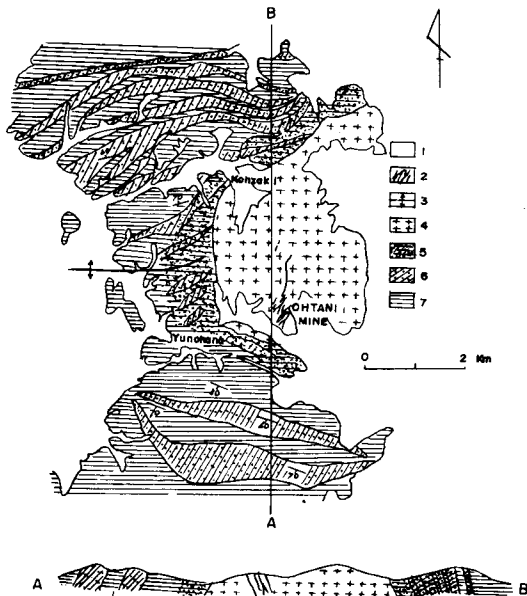


Fig. 2 Geological map of the Ohtani mining area, and geologic section along the line A-B. 1: Alluvium, 2: Vein, 3: Anticlinal axis, 4: Ohtani granitic body, 5: Hornfels, 6: Chert, 7: Mudstone.

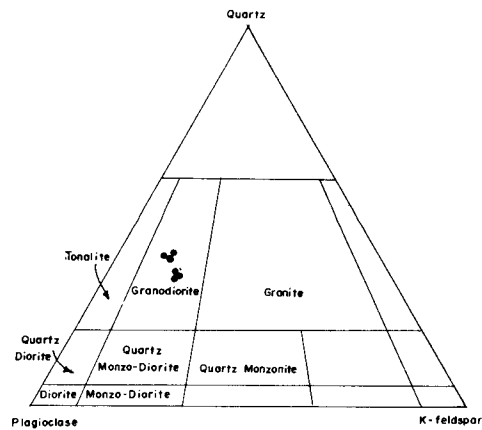
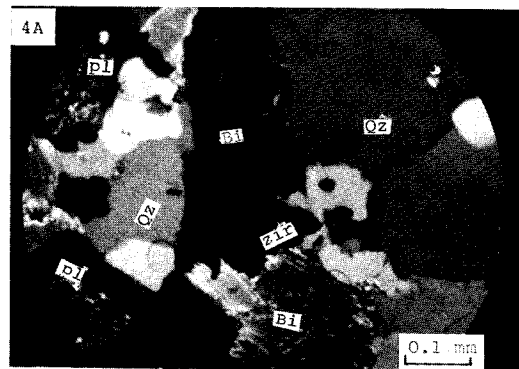


Fig. 3 Modal quartz, K-feldspar, and plagioclase of rock from the Ohtani granitic rock.

는 丹波層群은 500-1000m에 걸쳐 黑雲母 호온펠스 및 堇靑石 호온펠스化되어 있다.

大谷花崗岩體는 西南日本內帶에貫入한白亞紀後期의花崗岩體의 하나이다. 이花崗岩體는地表에서南北方向으로 3.3km, 東西方向으로 3km의規模를 가진岩株狀花崗岩體이다. 大谷花崗岩體는 中粒質花崗閃綠岩으로構成되어 있다. (Fig. 3) 本岩石의構成礦物은石英, 斜長石, K-長石, 黑雲母 및 角閃石이고, 약간의저어콘, 磷灰石, 白티탄鐵石 및 티탄鐵石으로 이루어져 있다. (Fig. 4A). 本岩石의 model 分析은 Table 1과 같이 斜長石 39-42%, 石英 29-33%, K-長石 9-15%, 黑雲母 9-13%, 角閃石 0.5% 및 其他 0.1-0.5% 含有되어 있다. 斜長石의 EPMA 分析結果, An含量은 An 39-An 40에 이른다(Table 2).

岩脈類는 aplite 岩脈과 普通輝石安山岩 岩脈으로構成되어 있다.



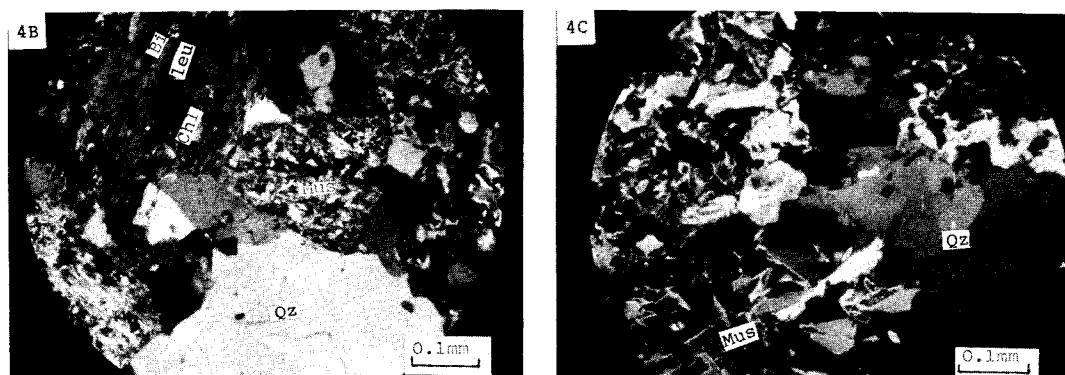


Fig. 4 A. Photomicrograph of thin section of granodiorite wall-rock of the No.8 Vein on the 126m level. Qz : quartz, Pl : plagioclase, Bi : biotite, Zir : zircon.
 B. Photomicrograph of thin section of the chloritized granodiorite. Chlorite occurs in pseudomorph after biotite, plagioclase is slightly replaced by muscovite. Wall-rock of the No.12 vein on the 100m level. Chl : chlorite, Mus : muscovite.
 C. Photomicrograph of thin section of the muscovitized granodiorite. Biotite and feldspar are completely replaced by muscovite wall-rock of the No.12 Vein on the 100m level.

Table 1 Modal compositions of granodiorite from the Ohtani granitic body.

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7
Quartz	30.1	29.7	32.6	34.1	30.8	31.8	32.5
Plagioclase	41.8	41.3	41.4	40.6	41.3	39.4	40.7
Alkali feldspar	13.9	15.1	10.7	12.4	15.2	12.4	9.4
Biotite	11.5	12.6	12.0	10.1	9.4	12.8	12.7
Hornblende	0.3	-	-	-	-	-	-
Chlorite	0.9	0.6	1.5	1.6	1.5	2.6	1.5
Muscovite	1.4	0.7	1.6	1.1	1.3	0.9	2.9
Accessory minerals*	0.2	0.1	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3
Total	100.1	100.1	100.0	100.1	100.0	100.1	100.0

*zircon, apatite, leucoxene, iron mineral

1 : Kohzaki, 2 : No. 8 vein of 126m level, 3 : No.12 vein of 100m level, 4 : No. 3 vein of 150m level, 5 : No. 16 vein of 100m level, 6 : No.11 vein of 126m level, 7 : No. 8 vein of 126m level.

Table 2 Compositions of feldspars in granodiorite.

	Pl-1	Pl-2	Pl-3	Pl-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12	P-13	Pl-14
Or	0.9	1.1	0.9	0.6	90.1	90.5	89.5	90.6	92.2	94.7	91.7	92.1	0.8	0.9
Ab	56.2	59.3	60.0	52.9	9.8	9.4	10.4	9.4	7.7	5.3	8.3	7.8	56.8	57.5
An	42.7	39.6	39.1	46.5	0.1	0.1	0.1	-	0.1	-	-	0.1	42.4	41.6

Pl : plagioclase; K : alkali feldspar

西南日本內帶의 텅스텐鑛床區와 大谷

西東日本內帶에 있어서, 텅스텐 鑛床 및 모리브렌 鑛床이 分布하고 있다 이러한 鑛床은 白亞紀 後期부터 古

第三紀에 걸쳐 花崗岩質 마그마活動과 밀접한 關係를 가지고 있다. 石原(1971, 1973)은 西南本內帶에 分布하는 텅스텐과 몰리브덴 金屬의 含量에 의해 텅스텐 鑛床 生成區와 모리브렌 鑛床 生成區로 구분하였다(Fig. 1),

팅스텐 鑛床生成區에 나타나는 花崗岩類에는 細粒質 내지 中粒質 黑雲母花崗岩 또는 花崗閃綠岩이고, 反面 몰리브덴 鑛床生成區에서는 細粒質 優白質花崗岩 또는 aplite로 이루어져 있다. 化學組成 및 鑛物組成的 點에서 西南日本內帶의 岩石區를 北쪽에서 南쪽으로 걸쳐 領家(Ryoke), 山陽(Sanyo)-苗木(Naegi) 및 산음(Sanin)-白川(Shirakawa)으로 區分하였다(金谷, 石原 1973).

Pyrometasmatic type 및 plutonic vein type의 텅스텐 鑛床은 山陽-苗木地帶의 花崗岩類와 밀접한 관계를 가지고 있고, 올리브렌 鑛床은 山陰-白川地帶의 花崗岩類에 分布한다. 兩鑛床生成區의 花崗岩類에는 有色 鑛物 組成에 따라 magnetite-bearing(0.1-0.2 vol %) magnetite series 와 magnetite-free ilmenite series로 구분하여 山陽-苗木地帶의 花崗岩類는 ilmenite series 이고, 반면 山陰-白川地帶의 花崗岩類는 magnetite series에 屬한다.

이러한 兩鑛床에 대한 K-Ar法에 의한 年代 測定은 紫田, 石原(1974)에 의해 實施되었으며, 몰리브덴 鑛床의 年代는 65.2-46.6m.y이고 텅스텐의 年代는 95.8-64.2 m.y이다.

大谷鑛床의 W-Sn-Cu 鑛脈鑛床은 西南日本內帶의 텅스텐 鑛床生成區에 存在하는 深成鑛脈鑛床의 代表的인 鑛床이고 山陽-苗木地帶에 屬하는 花崗閃綠岩類에 배태하고 있다. K-Ar法에 의한 年代測定結果는 花崗閃綠岩中の 黑雲母는 93.0±3 m.y, 變質帶의 白雲母는 90±3.6m.y 또 脈石鑛物의 白雲母는 91.4±3.7m.y의 값을 보여 주고 있다(紫田, 石原 1974).

鑛床

大谷鑛山의 鑛床은 大谷花崗岩體에 배태하는 深成 텅스텐-錫-銅鑛脈鑛床이다. 鑛石鑛物은 灰重石, 錫石, 黃銅石, 磁硫鐵石 및 閃亞鉛石을 주로하여 약간의 쿠바 나이트, 黃錫石, 方鉛石, 自然蒼鉛, 輝蒼鉛石, 硫砒鐵石 및 黃鐵石이다. 脈石鑛物로는 石英을 주로 하여 白雲母 및 약간의 螢石과 方解石이 隨伴된다.

鑛脈 system

鑛脈群은 N20°E 鑛脈群(走向 N10-25°E, 傾斜 70-80° NW)과 N40°E 鑛脈群(走向 N40-45°E, 傾斜 80-85° NW)이 있다. N20°E 鑛脈群은 03, 02, 6, 7, 9, 12, 15番 鑛等에, N40°E 鑛脈群으로는 主要脈인 11番 鑛을 위시하여 01, 1, 3, 4, 8, 16番 鑛에 發達하고 있다. 鑛脈에는 單位鑛脈이 走向方向에서나 傾斜方向에서 雁行狀(en echelon)으로 配列하는 경우가 있으나, 全体的으

로 볼때 鑛脈의 走向延長은 약 1000m이며, 脈幅은 0.3-5.5m를 보인다.

N20°E 鑛脈群은 粘土를 수반하지 않고, 또 slickenside 및 條線(striation)이 鑛脈側에 確認되지 않아 tension fracture가 鑛脈生成의 場으로 되어 있는 것으로 보며, 반면 N40°E 鑛脈群으로는 多量의 粘土를 수반하여 粘土의 slip plane에 水平 方向의 條線을 보이는 剪斷層이 鑛脈側에 發達하여 strike slip fault의 運動이 單位鑛脈에 賦存하는 割目(fracture)의 形成에 큰 役割을 한 것으로 생각한다.

鑛化時期的 區分과 各 鑛化時期的 特徵

大谷鑛山의 鑛脈群은 macrostructure에 의해 polyascendent vein이 確認되었다. 鑛化作用은 tectonic break(Kutina, 1955, 1957)에 의해 3개의 鑛化時期로 구분된다. 鑛化時期的 區分, 各 鑛化時期的 鑛物學的 性質 및 流体包有物研究에 대해서는 Kim(1981, 1986)이 詳細하게 報告되어 여기에서는 省略한다.

石英脈의 macrostructure로서 transecting, crushing(또는 brecciation), intersecting등의 tectonic boundary가 顯著하게 確認된다. 이러한 tectonic boundary의 規模를 100-200m level의 鑛脈群에 대하여 調査한 結果, tectonic break로서 크게 2개의 時期가 있는 것으로 判明되어 이 2개의 時期的 tectonic break에 의해 鑛化時期를 早期로부터 I, II, III 3개의 鑛化時期로 區分되며, 다시 局部的인 tectonic break에 의해 鑛化時期 I에서는 IA, IB, 鑛化時期 II에서는 IIA, IIB로 細分된다.

各 鑛化時期的 石英은 早期의 鑛化時期 I의 石英은 QI, 鑛化時期 II의 石英은 QII, 鑛化時期 III의 石英은 QIII으로 기재한다.

各 鑛化時期的 特徵은 다음과 같다.

鑛化時期 I : 石英(QI)과 磁硫鐵石을 주로 하는 時期이다. 이 時期는 灰重石을 수반하지 않는다. 主要한 構成 鑛物인 石英(QI)은 白色, 粗粒으로 때로는 角礫化하여 石英(QI)의 角礫 사이에 塊狀 磁硫鐵石이 充填되어 있다. 이 밖에 鑛物은 약간의 閃亞鉛石, 黃錫石, 黃銅石이다. 石英(QI) 磁硫鐵石 사이에는 tectonic break에 의해 鑛化時期 I를 IA와 IB로 細分할 수 있다. 鑛化時期 I의 石英(QI)과 磁硫鐵石으로 된 鑛體는 鑛化時期 II 또는 III의 灰重石을 포함한 石英脈에 의하여 둘러 쌓이거나 切斷되어 있다. 이러한 것들 사이에는 顯著한 tectonic boundary가 確認된다. 鑛化時期 I의 岩石의 變質作用으로서의 綠泥石化作用이 顯著하다.

鑛化時期 II : 鑛化時期 II는 鑛化時期 III과 같이 灰重

石의 富鑛部를 형성하는 石英脈의 時期로서 重要하다. 鑛化時期 II에는 灰重石, 錫石, 黃銅石을 수반하는 石英脈이 형성되며, 이 時期의 鑛石에는 이밖에 磁硫鐵石, 閃亞鉛石, 黃錫石, 黃鐵石 그리고 약간의 自然蒼鉛, 輝蒼鉛石, 쿠바나이트 方鉛石 등이 產出된다.

脈石鑛物으로는 白雲母, 螢石, 方解石이 確認된다. 鑛化時期 II의 石英(QII)은 鑛化時期 I의 石英(QI)보다 약간 透明하다. 이 時期는 小規模인 tectonic boundary로 나타난 tectonic break에 의해 IIA, IIB로 細分되며, 鑛化時期 IIA의 石英(QIIA)脈에는 黃銅石, 閃亞鉛石, 磁硫鐵石, 黃錫石 등의 硫化鑛物이 수반하며, 鑛化時期 IIB의 石英(QIIB)脈에는 粗粒의 灰重石, 白雲母, 錫石 以外에도 黃銅石, 閃亞鉛石, 磁硫鐵石, 硫砒鐵石, 黃鐵石 등의 硫化鑛物이 수반한다. 母岩의 變質作用으로서는 白雲母化作用이 顯著하다.

鑛化時期 III : 前述한 바와 같이 鑛化時期 III는 鑛化

時期 II와 같이 灰重石의 富鑛物을 形成하는 石英脈의 時期로서 重要하다. 鑛化時期 III는 灰重石, 白雲母를 수반하는 石英(QIII)脈이 形成되며, 이 時期로는 이 밖에 黃銅石, 閃亞鉛石, 磁硫鐵石, 硫砒鐵石, 黃鐵石 등이 確認된다. 鑛化時期 III의 石英(QIII)은 鑛化時期 II의 石英(QII)보다도 透明하다. 灰重石-石英脈에서는 石英脈의 兩盤에 따라 灰重石이 配列하며, monoascendent의 典型的인 產狀을 보여 주고 있다. 母岩의 變質作用으로서는 白雲母化作用이 顯著하다.

各 鑛化時期에 대한 鑛物의 晶出順序는 Fig. 5와 같다. 이 경우, 鑛化時期 I, II, III의 各各의 鑛化時期內에서 同時에 生成하는 鑛物의 集合體에 대해 paragenesis의 概念을 適用하는 것이 妥当한 것으로 생각된다. 쿠바나이트-黃銅石의 溶離組織, 스텐나이트-黃銅石-閃亞鉛石의 溶離組織은 鑛化時期 II에서만 볼 수 있는 特徵이다. 또 같은 種類의 鑛物의 性質이 鑛化

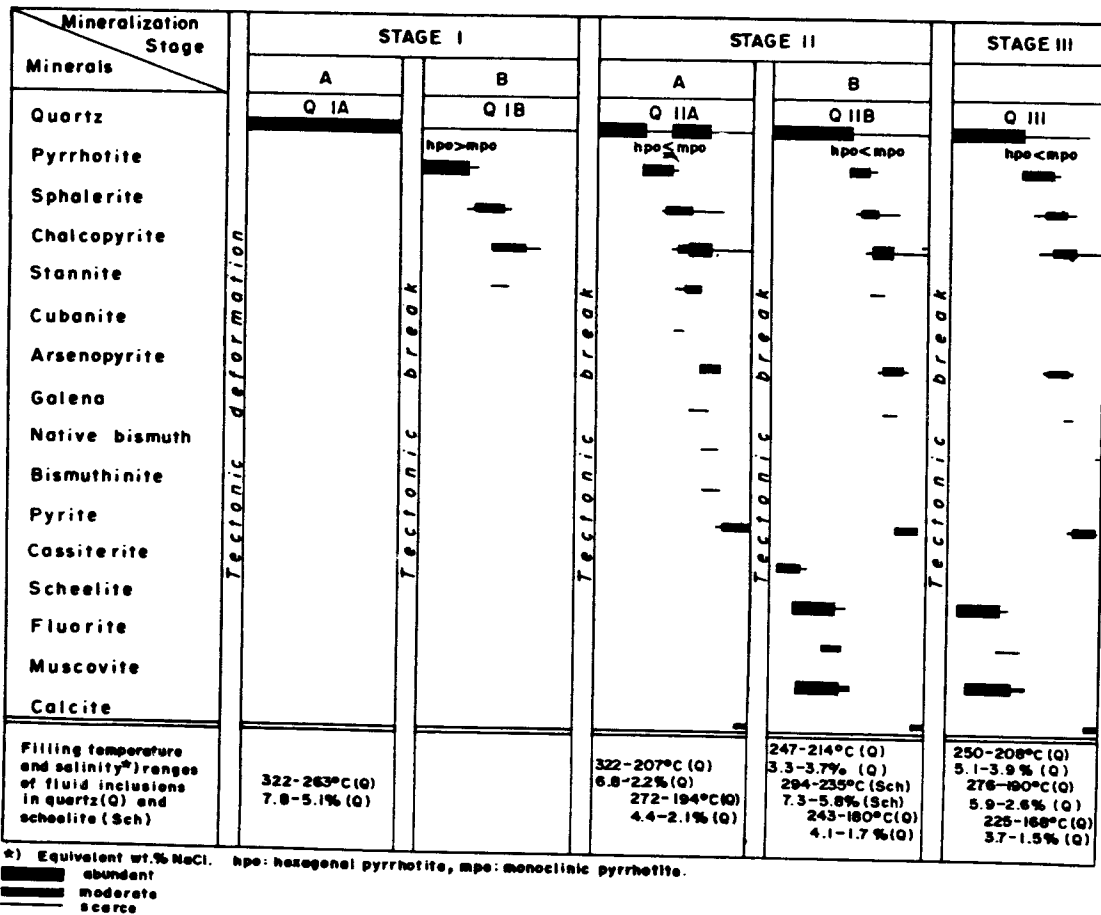


Fig. 5 sequence of mineralization in the No.12 Vein on the 100m level. Three major stages, I, II, and III of mineralization are separated from one other by major tectonic breaks.

時期에 따라 다르다. 예를 들면, 磁硫鐵石은 鑛化時期 I에서는 六方型 單斜型, 鑛化時期 II에서는 六方型 \leq 單斜型, 鑛化時期 III에서는 六方型 $<$ 單斜型 또는 單斜型만이 있다. 灰重石의 富鑛部가 鑛化時期 IIB 및 鑛化時期 III의 鑛化作用에 의해 形成하는 것은 鑛化作用의 斷續性에 關聯된 것으로 보인다. 鑛脈群에 대한 調查 結果로서 이러한 鑛脈群에는 tectonic break에 의해 區分하는 3 鑛化時期 I \rightarrow II \rightarrow III가 普遍的으로 確認됨으로 이러한 鑛脈群에서는 반복된 開裂 또는 再開裂한 tension fracture에 斷續的으로 鑛化作用이 이루어져, 특히 鑛化時期 IIB, III에서 灰重石의 富鑛部를 形成한 것으로 생각된다.

母岩의 變質作用

上記와 같이, 大谷鑛山의 鑛脈鑛床은 tectonic break에 의해 3개의 鑛化時期로 區分된다. 各 鑛化時期의 鑛脈과 母岩 사이에는 特徵的인 變質帶가 各各 形成되어 있다. 여기에서는 各 鑛化時期에 關聯된 變質帶에 對한 化學組成의 特徵을 考察하고자 한다.

變質帶

變質帶에는 色調, 組織 등의 肉眼的 特徵으로서 2種의 變質帶로 區分된다. 즉 鑛脈의 兩側에서 母岩側으로 감에 따라 白雲母帶(白色帶)와 綠泥石帶(綠色帶)의 帶狀分布를 보이며 各 變質帶에는 黑雲母의 假像(pseudomorph after biotite)에 의해 綠泥石, 白雲母 鑛物이 특징이다.

綠色으로 보이는 綠泥石帶는 鑛化時期 I의 鑛脈의 兩側 또는 鑛化時期 II, III의 鑛脈의 外側에 形成되어 있다. 한편, 白色으로 보이는 白雲母帶는 鑛化時期 II, III의 內側에 形成되어 있다.

變質帶의 幅은 鑛脈群의 形成規模 또는 母岩의 節理狀態에 따라 多樣하다. 一般的으로 白雲母帶의 幅은 數cm에서 30cm 정도이며, 綠泥石帶의 경우는 수 cm에서 5m 정도이다. 예를 들어 代表的 產狀을 記述하면 Figs. 6, 7과 같다.

Fig. 6은 鑛化時期 II, III의 鑛脈에 接하는 白雲母帶와 綠泥石帶를 나타내고 있다. 白雲母帶의 幅은 鑛化時期 II에 接하는 白雲母帶보다 鑛化時期 III에 接하는 白雲母帶의 幅이 넓다. 이것은 鑛化時期 II에 의해 形成된 變質帶를 그 후 鑛化時期 III의 鑛化作用에 의해 灰重石, 石英, 細粒의 白雲母를 수반하는 강한 白雲母化作用을 받은 것이다. 白雲母帶의 外側에는 綠泥石帶가 sharp한 境界를 보이며 때로는 白雲母帶가 綠泥石帶를

切斷하기도 한다. 따라서 이 경우는 白雲母帶의 幅은 30cm정도이다.

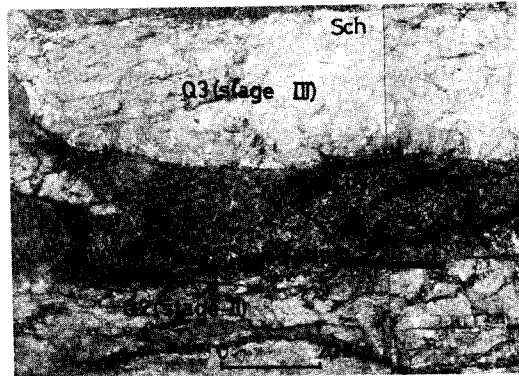


Fig. 6 Photograph showing the mode of occurrence of two different alteration zones. Muscovite zone develops near the wall-rock of the stage III vein. Loc: No.03 vein on the 100m level. Sch: scheelite.

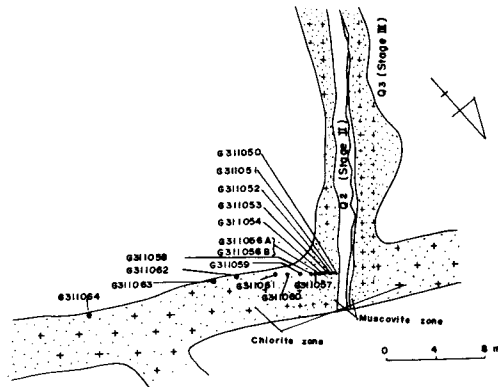


Fig. 7 Underground geological map in the No.11 vein on the 150m level.

Fig. 7의 경우는 白雲母帶보다 硬質의 綠泥石帶가 넓게 發達되어 있다. 鑛脈의 幅은 平均 2m정도이며, 母岩까지 節理가 잘 發達한 편이다. 鑛脈에서부터 新鮮한 母岩까지 適當한 間격으로 試料를 採取하여, Mode 分析을 실시한 結果, 鑛脈에서 5m 地点에서 현저하게 綠泥石이 減少되며, 그와 반대로 黑雲母는 增加한다 (Table 3). 따라서 綠泥石帶의 幅은 5m 정도로 생각되지만 이것은 鑛脈群의 規模 또는 母岩의 節理狀態에 대한 것이다. 이와 같은 예는 많은 地域에서 觀察할 수 있다. 各 變質帶는 復數의 鑛化作用(multiple mineralization)에 의해 變質帶의 形成에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Table 3 Modal composition of the fresh and altered rocks in the No. 11 vein on the 150 m level.

Sample No.	G311064 (V-20m)	G311063 (V-10m)	G311062 (V-8m)	G311061 (V-5m)	G311060 (V-4m)	G311059 (V-3m)	G311058A (V-2m)	G311058B (V-2m)	G-311057 (V-1.6m)
Quartz	31.8	28.4	30.8	30.9	31.3	31.4	32.5	36.2	33.2
Plagioclase	39.4	35.3	37.1	31.1	24.2	22.0	24.6	16.4	14.5
Alkali feldspar	12.4	13.1	10.4	9.6	9.7	8.6	15.2	7.4	10.4
Biotite	12.8	10.6	11.5	8.5	1.4	4.1	3.2	-	0.8
Chlorite	2.6	2.5	0.8	2.4	8.5	6.5	9.5	10.2	9.9
Muscovite	0.9	9.8	9.3	17.2	24.2	27.1	14.0	28.4	30.0
Accessory minerals	0.2*	0.5*	0.2*	0.3*	0.7**	0.4**	0.9**	1.3**	1.2**
	100.1	100.0	100.1	100.0	100.0	100.1	99.9	99.9	100.0

Sample No.	G311056A (V-1.3m)	G311056B (V-1.3m)	G311055 (V-1m)	G311054 (V-0.7m)	G311053 (V-0.5m)	G311052 (V-0.25m)	G311051 (V-0.1m)	G311050 (V-0.01m)
Quartz	37.7	33.3	36.1	37.3	32.9	30.3	42.4	39.0
Plagioclase	10.2	8.4	13.6	17.6	22.6	11.7	11.0	-
Alkali feldspar	7.6	13.2	8.6	10.9	11.8	11.2	9.0	-
Biotite	0.2	-	0.6	0.4	0.3	0.1	-	-
Chlorite	9.5	8.7	9.8	10.1	9.7	7.3	8.2	-
Muscovite	33.3	34.8	29.9	27.7	21.6	37.9	28.4	54.9
Accessory minerals	1.5**	1.5**	1.4**	0.9**	1.3**	1.5**	0.9**	6.1***
	100.0	99.9	100.0	99.9	100.1	100.0	99.9	100.0

* zircon, apatite, leucoxene, iron mineral.

** zircon, epidote, leucoxene, opaque mineral.

***scheelite, opaque mineral, calcite.

各 變質帶의 鑛物組合

各 變質帶에 產出되는 鑛物組合(mineral association)은 Fig 8와 같다.

	Fresh zone	Chlorite zone	Muscovite zone
Quartz	-----	-----	-----
Plagioclase	-----	-----	-----
K-feldspar	-----	-----	-----
Albite	-----	-----	-----
Biotite	-----	-----	-----
Chlorite	-----	-----	-----
Apatite	-----	-----	-----
Zircon	-----	-----	-----
Leucoxene	-----	-----	-----
Epidote	-----	-----	-----
Muscovite	-----	-----	-----
Calcite	-----	-----	-----
Pyrite	-----	-----	-----
Chalcopyrite	-----	-----	-----
Arsenopyrite	-----	-----	-----
Sphalerite	-----	-----	-----
Scheelite	-----	-----	-----

Fig. 8 The mineral association of the fresh and alteration zones in the No. 8 vein on the 126m level.

綠泥石 : 이 變質帶는 黑雲母의 假像에 의한 綠泥石의

產出이 特徵的이다. 綠泥石 以外, 變質鑛物로서는 石英, 白雲母, 綠簾石, 白티탄鐵石, 方解石 및 黃鐵石을 볼 수 있다. 量的으로는 石英(39-57.4 wt.%)이 가장 많고, 다음이 綠泥石(6.3-10 wt.%)이며, 其他는 少量이다(Table. 3). 少量의 白티탄鐵石, 綠簾石은 黑雲母의 假晶에서 관찰되며, 殘留鑛物인 斜長石은 알바이트, 白雲母, 方解石등에 의해 局部的으로 交代되어 있으며, 黑雲母는 일부 菱形의 假晶에 依存하고, 알카리 長石은 일부 白雲母, 方解石 등의 2次鑛物에 의해 交代되어 있다. 黃鐵石은 白티탄鐵石만 수반하여 產出된다.(Fig. 4B) EPMA에 의한 綠泥石의 化學組成은 Table 4와 같이, 幅 넓은 범위의 組成을 나타내며, 熱水變質作用에 의한 生成物로 알려진 type이다. 또한 $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ 値는 0.52정도로 Fe質 綠泥石이다(Table 5) 이러한 Fe質 綠泥石은 熱水型에서 많이 나타나는 poly-type 綠泥石으로 생각된다(Bailey and Brown, 1962).

白雲母帶 : 이 變質帶는 黑雲母의 假像에 의한 白雲母 및 石英이 特徵이다. 白雲母帶는 소위 "greisen"이라고 하나, 원래 greisen은 石英, 리치움-雲母, 黃玉, 電氣石 등이 함유될 때 사용하지만, 大谷鑛山의 경우 白雲母 中の 리치움 含量이 매우 적고(228-450 ppm), 黃玉 또는 電氣石 같은 鑛物이 產出되지 않으므로 著者는 白雲母帶로 기재하였다.

Table 4 Chemical composition of biotite and chlorite.

	308-11		308-2-2		308-5							
	A (biotite)	B (chlorite)	A (biotite)	B (chlorite)	A (biotite)	B (chlorite)						
SiO ₂	35.86	25.48	33.76	25.48	37.49	27.89						
TiO ₂	0.07	0.23	2.83	0.19	3.92	0.41						
Al ₂ O ₃	20.79	22.14	19.22	22.59	21.06	21.11						
FeO	19.97	28.96	21.88	30.21	20.60	26.57						
MnO	1.16	0.76	0.70	0.74	0.44	0.71						
MgO	10.95	14.70	9.14	13.01	10.12	13.41						
CaO	0.04	0.11	0.02	-	0.01	0.02						
Na ₂ O	0.05	-	0.06	-	0.06	-						
K ₂ O	9.48	0.19	9.31	0.28	1.91	0.32						
H ₂ O	1.63	7.24	3.08	7.51	4.38	9.57						
Total	100.00	100.00	100.00	100.01	100.01	100.01						
Structural formulae												
Si	5.584	8.000	5.668	8.000	5.242	8.000	5.673	8.000	5.396	8.000	5.952	8.000
Al	2.416		2.332		2.758		2.327		2.604		2.048	
Al	1.399		3.088		0.760		3.602		0.973		3.263	
Ti	0.008		0.038		0.330		0.032		0.424		0.066	
Fe ²⁺	2.600	6.700	5.388		2.841	6.138	5.625		2.480	6.102	4.742	
Mn	0.153		0.143	14.044	0.092		0.140	13.796	0.054		0.128	12.556
Mg	2.540		4.873		2.115		4.317		2.171		4.265	
Ca	0.007		0.074		0.003		-		0.002		0.005	
Na	0.015	1.904	-		0.018	1.905	-		0.017	0.370	-	
K	1.882		0.054		1.844		0.080		0.351		0.087	
(OH)	1.692		10.744		3.190		11.153		4.206		13.625	

The chemical formulae of biotite is calculated on the basis of 24 cation valencies, and the formulae of chlorite is calculated on the basis of 36 cation valencies.

308-5 : No.12 vein of 100m level. 308-11, 2-2 : No.12 vein of 100m level.

Table 5 The value of Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg) of chlorite

Sample No.	Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ +Mg) atomic ratios
308-11	0.525
308-2-2	0.566
305-5	0.528
308-5-1	0.526

이 변질帶는 주로 細粒의 白雲母(28.2-54.9 wt.%)와 石英(39-57.4 wt.%)으로 構成되어 있으며 (Table 3, Fig. 4C) 그 외 白티탄鐵石, 方解石, 灰重石, 黃銅石, 黃鐵石, 硫砒鐵石 등이 含有되어 있다 (Fig. 8)

白雲母에 대한 X-線粉末回折分析結果는 Table 6과 같으며 4.4(A°)에서 2.6(A°)의 범위에서 비교적 變化를 보이며, 2M, -Poly type으로 생각된다. Bailey and Brown(1962)은 4.4(A°)-2.6(A°)에서 polymorphica의 가장 特徵的인 變化가 있는 것으로 지적하였다. 또한 EPMA에 의한 白雲母의 化學組成은 Table 7과

같다. 構造式은 total oxygen의 原子數를 24로 計算하였으며 化學式은 다음과 같다.

「(k, Na, Ca)1.18+1.87(Al, Ti, Fe²⁺ Mg)3.14-4.8(Si, Al)₈O19.61(OH)4.39」이 構造式은 (OH)⁻와 中間陽 이온의 原子數에서는 白雲母의 理想式부터 고려할 偏差가 나타난다.

化學造成의 變化

各種 變質岩과 母岩을 126m 坑準의 8番坑과 150m坑

Table 6 X-ray power diffraction data of muscovite

2M ₁ muscovite (Radoslovish, 1960)		1M muscovite (Roboslovish, 1960)		308-M11 (stage II)		308-M13 (stage II)		308-M7 (stage II)		308-M6 (stage II)		308-M1 (stage II)		308-M2 (stage II)		308-4	
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
10.02	s	10.07	s	10.06	100	10.06	60	10.09	78	10.06	60	10.09	67	10.00	66	10.04	57
4.99	m-s	5.00	ws	5.01	30	5.01	25	5.01	42	5.02	26	5.01	39	5.01	50	5.00	27
4.453	vs	4.487	w	4.48	11	4.50	12	4.49	1	4.50	2	4.50	2	4.50	3	4.49	4
		4.342	w-s														
4.278	w					4.26	3									4.26	1
4.089	w	4.093	w-m														
3.951	vw																
3.868	m			3.89	6	3.89	7	3.90	1	3.89	1	3.90	2	3.90	1	3.89	2
3.721	m			3.74	7	3.75	1	3.75	2	3.75	1	3.75	3	3.74	1	3.74	3
3.575	m	3.647	s	3.69	2	3.70	2	3.69	1	3.70	2	3.70	2	3.70	2	3.68	1
3.480	s(br)	3.482	v v w	3.50	11	3.50	7			3.50	3	3.51	4			3.50	2
3.326	vs	3.337	s	3.33	94	3.33	59	3.50	4	3.34	100	3.34	100	3.50	1	3.33	100
3.190	m-s	3.208	v v s	3.20	12	3.20	10	3.34	100	3.21	4	3.21	4	3.33	100	3.20	4
3.083	vw							3.21	4	3.08	5			3.21	2		
2.9798	m-s			2.99	16	2.99	12			2.99	4	3.00	6			2.99	5
		2.9211	w					2.99	3					3.00	3		
2.8542	m-s			2.86	11	2.86	10			2.86	7	2.87	5			2.86	4
2.7818	m			2.80	7	2.80	8	2.86	4	2.80	5	2.80	4	2.87	2	2.79	3
		2.6772	w-m					2.80	3					2.79	2		
2.5820	m	2.5875	w-m	2.59	10	2.59	12			2.57	4	2.59	2				
2.5530	vs	2.5585	vs(br)	2.56	18	2.56	18	2.59	1			2.57	5	2.59	2	2.56	6
2.4540	w							2.57	4					2.57	2		
2.4313	w	2.4327	w														
2.4075	vvw				3	2.40	3										
2.3887	vw	2.3918	w	2.38	6	2.38	5			2.38	1	2.39	1				
2.3720	m							2.39	2								
		2.3509	w														
2.2401	w-m(br)	2.2440	w														
2.1982	w-m	2.2096	vw							2.21	1	2.21	1	2.21	1		
		2.1901	vvw														
2.1752	w																
2.1429	w-m			2.15	3	2.14	5			2.15	1						
2.1224	m-s	2.1020	v w	2.13	6	2.13	8			2.13	1	2.14	1			2.13	2
2.0590	vw	2.0766	w-m					2.13	1					2.14	1		
1.9944	m(br)	2.0022	w-m(br)	2.00	42	2.00	30			2.00	50	2.00	49			1.99	42
1.9658	w-m							2.00	62					2.00	66		
1.9440	w	1.9454	vw(br)														

The experimental conditions are as follows; Ni-filtered CuK α , 30kv, 8mA

vs : Very strong, s : strong, m : medium, m-S : medium to strong, w-m : weak to medium,

w : weak, vw : very weak, vvw : just discernible, br : broad,

308-M1, M13 : muscovite with 2M₁ structures : Loc. No. 8 vein of 150m level.

308-M6 : muscovite with the mixture of 2M₁ and 1M structure, Loc.No. 8 vein of 126m level.

308-M1 : muscovite with 2M₁ structure, Loc. No.12 vein of 100m level.

308-4 : muscovite with 2M₁ structure, Loc. muscovite zone in the No. 8 vein of 150m level.

Table 7 Chemical composition of muscovite

	108-M 2 (stage II)	108-M 9 (stage III)	108-M 8 (stage II)	108-M 13 (stage II)	308-M 6 (stage III)	108-8 muscovite zone						
SiO ₂	46.47	44.40	45.82	46.46	47.00	47.13						
Al ₂ O ₃	33.39	34.05	32.73	32.34	33.34	31.29						
TiO ₂	0.32	0.43	0.41	0.57	0.22	0.26						
FeO	1.15	1.78	1.36	1.51	1.61	2.07						
MnO	-	-	-	-	-	0.04						
MgO	1.76	2.01	2.13	2.01	1.98	3.01						
CaO	0.32	-	0.03	0.01	-	-						
Na ₂ O	0.16	0.20	0.16	0.24	0.03	0.09						
K ₂ O	10.29	10.83	10.70	11.44	10.46	10.84						
H ₂ O	6.11	6.51	6.66	5.41	5.15	5.27						
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00						
Structural formulae												
Si	6.077	8.000	5.835	8.000	5.989	8.000	6.169	8.000	6.209	8.000	6.257	8.000
Al	1.923		2.165		2.011		1.831		1.791		1.743	
Al	3.224		3.108		3.030		3.216		3.402		3.152	
Ti	0.031		0.043		0.050		0.057		0.022		0.026	
Fe ²⁺	0.126	3.730	0.196	3.701	0.149	3.644	0.171	3.842	0.178	3.992	0.285	1.008
Mn	-		-		-		-		-		0.005	
Mg	0.349		0.354		0.415		0.398		0.299		0.595	
Ca	0.045		-		0.004		0.001		-		-	
Na	0.041	1.803	0.051	1.866	0.020	1.807	0.061	1.824	0.038	1.849	0.023	1.858
K	1.717		1.815		1.783		1.938		1.763		1.835	

The chemical formulae of muscovite is calculated on the basis of 24 cation valencies.

308-M 2 No. 12 vein of 100m level. 308-M 8 No. 8 and 9 vein of 150m level.
 308-M 9 No. 12 vein of 100m level. 308-M 13 No. 8 and 9 vein of 150m level.
 308-M 6 No. 8 vein of 126m level. 308-8 muscovite zone.

Table 8 Chemical composition of the fresh and altered rocks.

	A-1 Fresh rock	A-2 Chloritized rock	A-3 Muscovitized rock	B-1 Fresh rock	B-2 Chloritized rock
SiO ₂	66.84	67.87	69.04	68.52	67.12
Al ₂ O ₃	16.01	14.38	14.67	15.19	15.21
TiO ₂	0.39	0.32	0.31	0.39	0.42
Fe ₂ O ₃	1.12	2.38	1.59	1.11	1.74
FeO	2.01	1.45	2.30	2.16	2.31
MnO	0.068	0.065	0.103	0.068	0.087
MgO	0.89	1.69	1.01	0.97	1.05
CaO	2.58	0.68	1.57	2.92	1.52
Na ₂ O	4.27	3.87	0.59	4.39	3.75
K ₂ O	5.08	4.81	4.93	3.88	4.44
H ₂ O(+)	0.71	2.57	3.95	0.73	2.72
H ₂ O(-)	0.14	0.23	0.48	0.11	0.22
Total	100.108	100.255	100.543	100.438	100.577

Localities : A-1, A-2, A-3 : No. 8 vein on the 126-m level, B-1, B-2 : No. 8 vein on the 150-m level.

準의 8番坑에서 採取하여 化學分析을 實施하였으며 (Table 8), 化學組成的 變化가 Fig. 9에 圖示되었다.

新鮮한 母岩帶(A-1)에서 綠泥石帶(A-2)로의 組成變化는 물의 添加를 보여주고 있으며, H₂O⁽⁺⁾와 H₂O⁽⁻⁾가

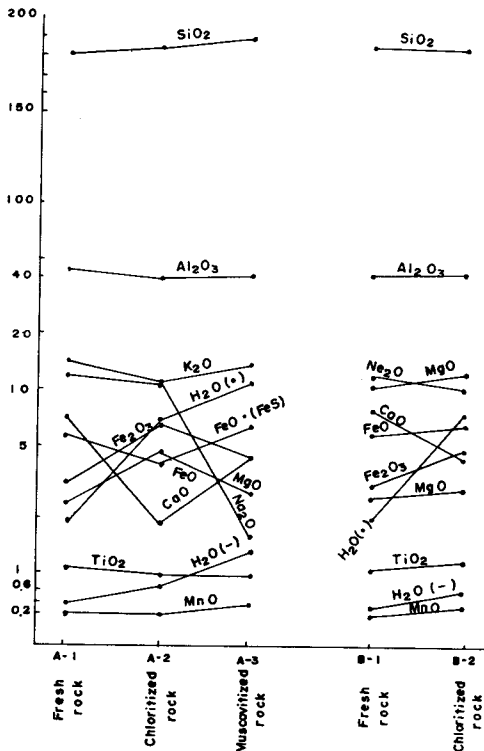


Fig. 9 Chemical composition of the wall-rocks expressed in grams per cubic centimeter. Loc: No.8 Vein on the 150m level.

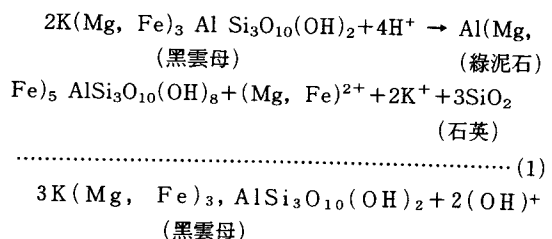
顯著하게 增加하고 있다. 이런 事實은 鑛化作用의 過熱水蒸氣가 花崗閃綠岩의 空隙 또는 鑛物粒 사이에 侵入하여 綠泥石 및 一部 白雲母로 變質된 것으로 본다. Fe₂O₃, MgO가 增加하는 반면 Al₂O₃, CaO, K₂O의 組成이 相對的으로 減少하는 것으로 보아 綠泥石의 生成을 示唆해 준다. 綠泥石帶에서 白雲母帶 사이에서는 NaO, MgO, Fe₂O₃의 減少와 H₂O, CaO, FeO, SiO₂의 增加를 나타내고 있다. 이것은 斜長石과 綠泥石의 消失과 동시에 白雲母, 石英, 方解石의 生成에 의한 것이다. 특히, 白雲母帶에서 CaO, FeO가 增加하는데 이는 灰重石과 黃鐵石의 生成에 기인한 것이다. 또한 白雲母가 顯著하게 發達된 帶에서 灰重石이 많이 產出되는 點을 고려하면 灰重石 中の Ca는 母岩成分에서 由來되는 것으로도 思料된다.

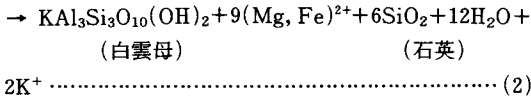
考察 및 結論

上記와 같이 綠泥石帶 및 白雲母帶를 生成하는 變質作用은 鑛化時期와 密接한 關係를 가지고 變質分布를

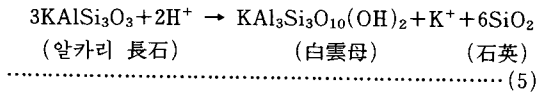
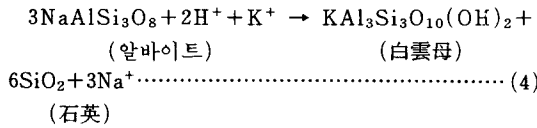
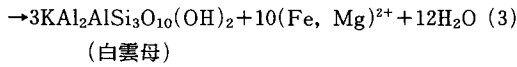
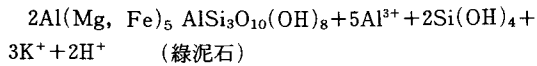
나타내고 있다. 各 變質帶에서는 化學組成의 變化에 의해 鑛物의 消滅과 變質鑛物의 生成이 이루어 지고 있다. 鑛脈을 둘러싼 變質帶는 變質鑛物群에 의해 綠泥石帶와 白雲母帶로 區分된다. 그 中에 綠泥石帶는 鑛化時期 I의 鑛脈의 內側 또는 鑛化時期, II, III의 鑛脈의 外側에 發達하고 있다. 化學組成과 鑛物組成을 서로 比較하면 綠泥石帶는 原岩組織이 어느 程度 保存되면서 個個의 造岩鑛物 元素가 移動하고 있다. 白雲母帶는 綠泥石帶에 比하여 CaO, SiO, FeO(Fe₂O₃)가 增加하며, 原岩組織이 완전히 消失되고 있다. 이러한 事實은 白雲母帶가 鑛脈의 內側에 分布하는 點에서 斷統의 鑛化作用을 받아들인 結果이다. 鑛化時期 II, III의 鑛脈의 外側에 分布하는 綠泥石帶는 金鑛脈과 母岩 사이에 段階的으로 이루어진 反應帶로 原岩組織이 殘存하면서 一部 鑛液을 浸透시켜 그 一部分 造岩鑛物 元素 示의 移動이 이루어진 것이다. 또한 白雲母帶는 灰重石과 硫化鑛物이 多量 含有되어 있는 것으로 보아 複數의 鑛液의 影響이 잘 나타난 것이며, 鑛脈鑛物이 白雲母와 白雲母帶의 白雲母가 같은 polytype의 性質에서도 알 수 있다 (Table 6).

變質帶의 生成過程으로서는 鑛化時期의 先驅로 보이는 鑛化時期 I의 綠泥石化作用으로부터 始作하여 그 後 鑛化時期 II, III에 의해 一部 再變質을 포함하여, 變質作用이 進行된 것으로 생각된다. 이와 같은 例는 美國 Utah의 Tintic 鑛山의 變質帶(Lovering, 1949), Montana의 Butte鑛山의 變質帶(Sales and Meyer, 1948)에서도 볼 수 있다. 母岩에 鑛液이 浸透하면서, 母岩과 化學反應하여, 反應生成物을 形成하는 生成條件은 Hemley(1956), Hemley and Jones(1964), 등에 의해 檢討되었고, 實驗的으로 平衡定數(K⁺)/(H⁺)의 重要性이 높아 졌다. 變質鑛物이 共存하는 水溶液에 있어서 (K⁺)/(H⁺)의 比에 依存하며, 이 平衡定數가 溫度의 函數이기 때문에 溫度에도 依存한다. 이러한 實驗的인 計算은 Garrels and Christ(1965), Helgeson et al. (1969)등에 의해 記述되었다. 黑雲母가 綠泥石 및 白雲母로 變化하는 反應은 hydrogen metasomatism (Hemley and Jones, 1964)에 水素 이온(H⁺)活動으로서 다음과 같은 反應이 成立된다.





上記反應式은 母岩 內에 침투한 熱水溶液의 水素이
 온의 消耗로 PH가 徐徐히 增加하게 된다. 一連의 母岩
 과 反應系列에 있어서 溶液의 綠泥石 中の Fe^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 가 飽和되던 Mg^{2+} , Fe^{2+} 를 抽出하는 酸性溶液에
 의하여 쉽게 反應이 이루어진다. 또한 白雲母帶에서의
 反應은 다음과 같다.



變質反應에 包含된 主要 陽이온은 K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} ,
 및 Al^{3+} 이다. 이러한 陽이온은 固體相을 포함한 變
 質過程 및 이온置換에 따라 다양하게 추출된다. 母岩中
 에 黑雲母, K-長石, 斜長石, 一部 綠泥石에 酸性溶液이
 反應하면 溶液의 PH가 높아지는 것은 이 反應式에서
 명백하다. 즉, Hydrogen metasomatism으로 부터 溶液
 의 PH는 높아진다. 上記와 같은 變質反應은 水素이온
 活動이 鑛脈에서 外側으로 減少하여 各各 다른 變質帶
 사이에 metasomatic border를 남기면서 新鮮帶(母岩)
 \rightarrow 綠泥石帶 \rightarrow 白雲母帶의 交代는 徐徐히 移動하여, 鑛
 脈으로 侵入한 것으로 생각된다.

謝辭

本研究를 遂行함에 있어서 大谷鑛山の 鑛床調査에 對
 해 便宜와 支援을 주신 大谷鑛山 藤井實氏, 金子盈氏,
 長原正治氏, 正上修氏께 깊이 感謝 드리며, EPMA 分
 析을 誠心誠意껏 도와 주신 名古屋大學 大學院 여러분
 께 고마움을 表합니다. 또한 本 論文을 作成하는데 配
 應를 해주신 韓國動力資源研究所 金志同 所長님께 깊은
 感謝를 드립니다.

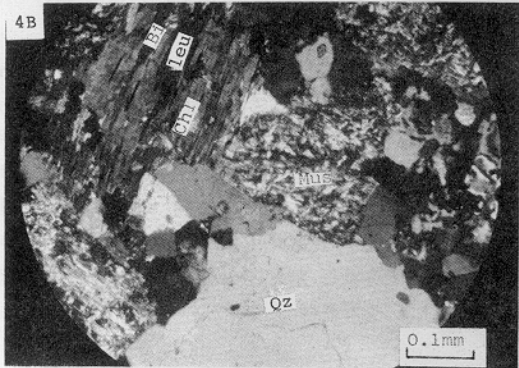
Refence

Bailey, S, W. and Brown, B.E.(1962) Chlorite

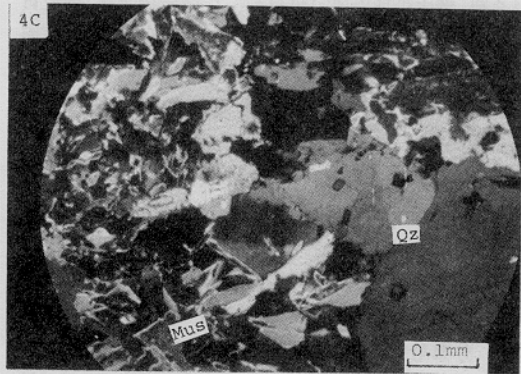
polytypism : I. Regular and semi-randon one-layer
 structures : Am. Mineralogist, V. 47, p. 819-850.
 Carrels, R. M. and Christ, C.L.(1965) Solutions,
 minerals and equilibria : Harper and Row.
 Helgeson, H. C., Brown, T.H. and Leaper, R.H.
 (1969) Handbook of therortical activity diagrams
 depicting chemical equilibria in geologic systems
 involving an aqueous phase at one atm. and 0° to
 300°C : Freeman, cooper.
 Hemly, J.J.(1959) Some mineralogical equilibria in
 the system $\text{K} + 2\text{O} \cdot \text{Al} + 2\text{O} + 3 \cdot \text{SiO} + 2 \cdot \text{H} + 2\text{O}$: Am.
 Jour. Sci., V. 257, p. 241. 270.
 Hemley, J.J. and Jones, W.R.(1964) Chemical
 aspects of hydrotheramal alteration with empohasis
 on hydrogen metasomatiism : Econ. Geol., V. 59,
 p, 538-569.
 今井秀喜, 김문영 藤木良規(1972) 京都府 大谷 および
 鐘打鑛山地域 の 地質構造 と 鑛化作用 : 鑛山地質,
 V. 22, p. 371-381.
 Imai, H., Kim, M. Y., Fujiki, Y. and Takenouchi,
 S. (1978) Geologic structure and fluid inclusion
 study at the Ohtani and kaneuchi mine, Kyoto
 Prefecture : Geological studies of the Mineral De-
 posits in Japan and East Asia(H. Imai, ed.), p.
 27-40.
 Ishihara, S(1971) Model and chemical composition
 of the granitic rocks related to the major molybde-
 num and tungsten deposits in the Inner Zone of
 Southwest Japan, V. 77, p. 441-452.
 石原舜三(1973) Mo-W 鑛床生成區 と 花崗岩岩石區 :
 鑛山地質, V. 23, p. 13-33.
 김문영, 藤木良規, 武內壽久 今井秀喜(1972) 京都府
 大谷 および鐘打鑛山産鑛物 中の 流體包有物 : 鑛山
 地質, V. 22, p. 449-454.
 Kim, M. Y.(1981) Fluid inclusion studies relating to
 tungsten-tin-copper mineralozation at the Othani
 mine, Japan : Jour. Geosciences, Osaka city
 Univ., V. 24, p. 109-162.
 김문영, 中村威(1086) 鑛物共生의 概念에 對한 問題點
 과 鑛脈鑛床의 macro-structure-특히 日本 大谷鑛山의
 鑛脈鑛床에 對한 macrostructure : 광산 지질, V. 19,
 特別號 p. 97-102.
 金谷弘, 石原舜三(1973) 日本 の 花崗岩質岩石にみう
 れる帶磁率 の 廣域的 變化 : 岩石鑛物鑛床, V. 68,
 p. 211-224.
 Kutina, J.(1955) Genetische Diskussion der makrotex-

- turne bei der Geochemischen Untersuchung des Adalbert-Hauptganges in Příbram: *Chemie der Erde*, V. 17, p. 241-323.
- Kutina, J. (1957) A contribution to the classification of zoning in ore veins: *Acta Univ. Carol. Praga (Geol.)*, V. 3, p. 197-225.
- Lovering, T.S. (1949) Rock alteration as a guide to ore-East Tintic district, Utah: *Econ. Geol., Mon. I*, p. 64.
- 長原政治 (1969) 京都府 大谷鑛山 の 地質鑛床について : *水曜会誌*, V. 16, . 697-700.
- 中村威, 김문영 (1982) 鑛脈鑛床における macrostructure-とくに京都府 大谷鑛山 深成タングステン-錫-銅鑛脈における macrostructure: *鑛山地質*, V. 32, p. 85-94.
- Sales, R.H. and Meyer, C. (1948) Wall rock alteration at Butte, Montana: *Am. Inst. Min. Engr. Trans*, V. 178, p. 9-35.
- Shibata, K. and Ishihara, S. (1974) K-Ar ages of the major tungsten and molybdenum deposits in Japan: *Econ. Geol.*, V. 69, p. 1207-1214.
- 高田雅介 (1978) 京都府 行者山産 鑛物報告(1), 京都府 龜岡市 行者山 の 石英脈含まれる 錫石について: *地學研究*, V. 29, p. 55-70.

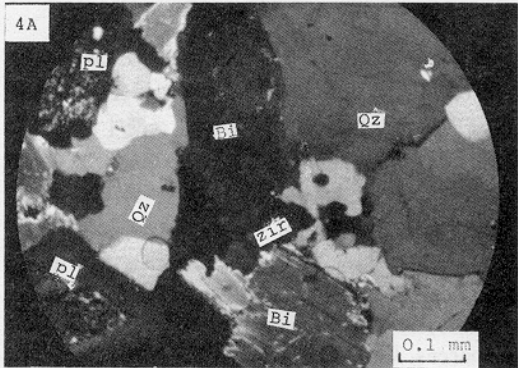
4B



4C



4A



0.1 mm