광산지질 15권 4호 (1982) pp. 221-233

雙田重石鑛床의 鑛物共生과 流體包有物硏究

尹錫台* · 朴喜寅*

Mineral Paragenesis and Fluid Inclusion Study of Ssangjeon Tungsten Deposits

Seok Tai Youn·Hee-In Park

Abstract: Ssangjeon tungsten ore deposits is a complex pegmatite deposits embedded along the contact between pre-Cambrian Buncheon granite gneiss and amphibolite.

This pegmatite vein developed 2 km along the strike and thickness varies from 10m to 40m.

Mineral constituent of the normal pegmatite are quartz, microcline, plagioclase, muscovite, biotite, tourmaline and garnet.

The vein paragenesis is complicated by repeated deposition of quartz but three distinct depositional stage can be recognized. Quartz A stage is the stage of the earliest milky white quartz deposition as a rock forming mineral of normal pegmatite. Quartz B stage is the stage of gray to dark gray quartz replace earlier formed normal pegmatite minerals. Quartz C stage is the stage of latest white translucent massive quartz replace quartz A and B. Tungsten ore minerals and other sulfide minerals were precipitated during quartz B stage.

Ore minerals are ferberite and scheelite. Minor amount of molybdenite, arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, pentlandite, bismuthinite, native bismuth and marcasite accompanied.

Fluid inclusion in quartz A and B are gaseous inclusions and liquid inclusions are contained in quartz C as a primary inclusions. Salinity of inclusions in quartz A and B ranges from 4.5 to 9.5 wt. % and from 5.1 to 6.0 wt.% equivalent NaCl respectively.

Homogenization temperature of quartz A, quartz B and quartz C ranges from 415 to 465°C, from 397 to 441°C and from 278 to 357° C.

CO_2 content of the ore fluid increased at the ends of quartz B stage.

序 言

雙田重石鑛山은 鐵망간重石과 灰重石이 主로 産出되는 鑛山으로써 1976年부터 本格的으로 開發을 始作한 이래 1982年 11月末까지 重石精鑛(70% WO_3)을 約 273t生産하였고 現在 500t/day처리 規模의 선광장이 건설되어 있다.

雙田鑛山 附近의 廣域地質에 대하여는 金玉準等(1963)에 의하여 三斤里地質圖幅이 作成되었고 鑛床에 대하여는 金善億等(1979)에 의하여 試錐調査와 함께 鑛床주변의 地質, 坑內地質, 鑛床의 産出狀態 및 開發方案등에 관한 상세한 調査硏究가 實施되었고 그후 이영훈等(1981)에 의하여 調査報告된 바도 있다.

* 서울 大學校 地質科學科

이 硏究에서는 鑛床의 産出狀態, 鑛物의 共生關係, 鑛망간重石의 化學組成 및 流體包有物등의 硏究를 통하여 鑛床의 成因을 究明하는데 注力하였다.

이 硏究를 수행하는 過程에서 現地調査時 여러가지로 便宜를 圖謀하여 주신 아세아重石株式會社 雙田鑛業所 所長을 비롯한 여러분들께 深甚한 謝意를 表하는 바이다.

2. 地 質

鑛山附近의 廣域地質에 대하여는 三斤里地質圖幅(金玉準等, 1963)이 發刊되어 있고 金善億等(1979)이 報告한 바있어 여기서는 簡略하게 紹介하고자 한다.

이 地域의 地質은 先캠브리아時代로 알려진 遠南層, 엠피볼라이트, 汾川花崗片麻岩, 페그마타이트와 時代未詳의 鹽基性岩脈으로 구성되어 있으며(Fig. 1) 地質

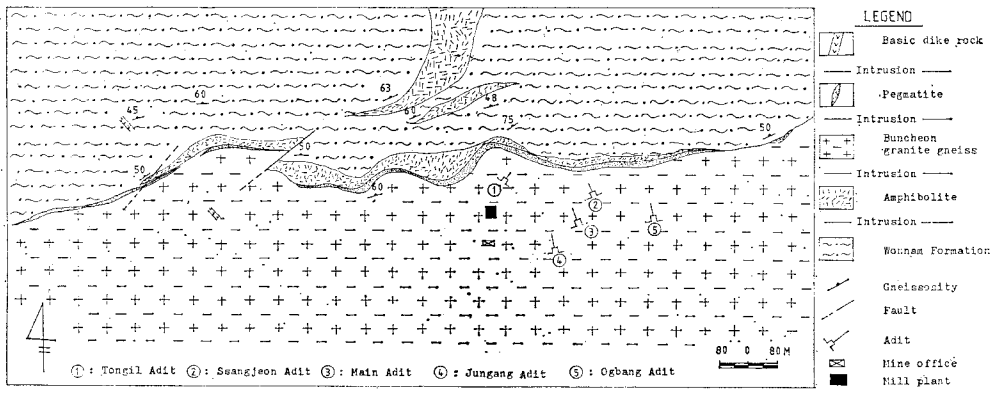


Fig. 1 Geological map of Ssangjeon mine area

Table 1. Geologic sequence of Ssangjeon mine area.

Age unknown	Basic dike rock
	—Intrusion—
Pre-Cambrian	Pegmatite
	—Intrusion—
	Buncheon gr-gn
	—Intrusion—
	Amphibolite
	—Intrusion—
	Wonnam Formation

系統을 模式的으로 表現하면 Table. 1 과 같다.

遠南層：遠南層은 이 地域의 最下部地層으로 變成砂質源岩인 細粒의 石英, 長石, 黑雲母片麻岩과 變成泥質源岩인 縞狀片麻岩, 雲母片岩으로 이루어져 있다. 이 層의 葉理의 走向과 傾斜는 N50-70°E, 60-65°NW 이다. 開發되고 있는 페그마타이트 脈의 東端과 西端에서

Table 2. Modal composition of Buncheon granite gneiss of Ssangjeon mine area.

Sample NO. / Mode	Jungang Adit				Main Adit		
	1-2	1-5	1-9	1-10	2-2	2-3	2-5
Quartz	32.1	37.2	36.9	40.1	26.5	26.1	30.5
K-feldspar	34.2	28.1	31.6	25.8	35.8	32.5	33.8
Plagioclase	25.0	31.5	26.9	27.8	32.9	36.4	31.6
Biotite	8.5	3.2	0.2	2.0	3.5	Tr	3.5
Muscovite	0.1		4.2	4.2	1.3	4.2	0.5
Chlorite				Tr			
Garnet						Tr	
Epidote	Tr	Tr			Tr	0.2	0.1
Apatite	Tr		Tr				
Zircon	Tr	Tr	Tr		Tr		
Opaque minerals	0.1	0.2	0.2	0.5	Tr	0.4	Tr

Table 3. Chemical analyses and norms of Buncheon granite gneiss.

Sample NO. / Norm	1-2	1-5	1-10
SiO_2	73.70	76.12	74.82
Al_2O_3	14.63	14.17	15.13
Fe_2O_3	0.11	0.17	0.22
FeO	2.15	1.75	1.25
MnO	0.04	0.03	0.02
MgO	0.64	0.31	0.15
CaO	1.24	0.67	0.51
Na_2O	2.63	2.15	2.24
K_2O	4.40	4.28	5.34
P_2O_5	0.05	0.05	0.05
TiO_2	0.21	0.11	0.04
H_2O^+	0.03	0.13	0.30
H_2O^-	0.10	0.13	0.10
F	0.11	0.03	0.02
Cl	0.04	0.04	0.03
Total	100.07	100.14	100.20
Q	36.48	44.15	39.24
Or	26.00	25.29	31.56
Ab	22.26	18.19	18.96
An	5.83	3.00	2.21
C	3.40	4.90	4.86
En	1.59	0.77	0.37
Fs	3.53	2.90	2.05
Mt	0.16	0.25	0.32
Il	0.40	0.21	0.08
Ap	0.12	0.12	0.12
Al/C+N+K	1.29	1.51	1.46
Na_2O/K_2O	0.60	0.50	0.42
CaO/FeO	0.58	0.38	0.41

Al : Al_2O_3 C : CaO N : Na_2O K : K_2O

는 上盤側母岩을 이루고 있다.

엠피볼라이트 : 엠피볼라이트는 遠南層을 貫入하고 있으며 鑛床과 접하여 分布하는 岩體는 鑛床의 上盤側母岩을 이루고 있다. 이 岩石은 産出狀態로 보아 遠南層을 切斷하고 있어 Orthoamphibolite일 것으로 생각한다.

汾川花崗片麻岩 : 鑛床附近에서 이 岩石은 前記한 遠南層의 葉理에 거의 平行하게 貫入하고 있다. 이 岩石의 片理의 走向과 傾斜는 大體로 EW, 40–60°N이다. 이 地域에 分布하는 汾川花崗片麻岩은 평균치로 볼때 石英이 36%, 카리長石이 32%, 그리고 斜長石이 23.8%, 含有되어 있다. 構成鑛物로는 石英, 微斜長石, 斜長石

Table 4. Trace elements of the Bunchoen granite gneiss from Ssangjeon mine area (ppm).

Elem. \ NO.	1–2	1–5	1–10	Average
F	1100	320	220	547
Cl	352	420	309	360
Mo	<5	<5	<5	<5
W	<100	<100	<100	<100
Rb	460	450	500	470
B	<5	<5	<5	<5
Nb	<5	<5	<5	<5
Ta	<5	<5	<5	<5
Sn	<10	10	200	73
Be	<1	<1	<1	<1
Ba	35	20	15	23.3

黑雲母, 白雲母等이 主이고 인회석, 저어곤, 柘榴石, 녹염석등이 수반되며 不透明鑛物도 少量 含有되어 있다. 中央坑과 本坑에서 鑛體와 汾川花崗片麻岩과의 접촉부에서 汾川花崗片麻岩쪽으로 約 50m 간격으로 採取한 試料의 모드분석치는 Table 2와 같다.

모드분석 결과 石英과 白雲母는 鑛體쪽으로 갈수록 약간 증가하는 경향을 보이며 黑雲母는 감소하는 경향을 보인다. 斜長石은 An_{12}–An_{29}에 해당되는 올리고클레스이며 不透明鑛物은 磁鐵石이다. 반상변정구조및 호상구조를 보이며 반상변정은 主로 微斜長石이며 간혹 斜長石도 存在한다. 鑛床에 근접한 汾川花崗片麻岩中에는 斜長石이 白雲母에 의하여 交代당하며 주위가 絹雲母化 되어있고 黑雲母가 白雲母에 의해 交代당한 현상도 관찰된다.

中央坑의 대절향 入口에서 鑛體쪽으로 50m 간격으로 採取한 3個岩石試料에 대한 化學分析을 實施한 결과 化學組成과 노름치는 Table 3과 같다. $Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$가 1.29~1.51이며, Na_2O/K_2O 및 CaO/FeO는 1이하이다. 노름치중 corundum의 含量이 3.40~4.90으로 상당히 높다. 이러한 點으로 보아 汾川花崗片麻岩은 S type granitoid(White & Chappell, 1974)에 해당한다.

同一岩石試料에 대한 微量元素含量을 分析한 結果는 Table 4와 같다. 이 表에서 보여지는 바와같이 汾川花崗片麻岩에는 F. Cl. Rb. Sn의 含量이 비교적 높다는 것을 알수있다. 尹(1892)은 이들 岩石에 대한 分析結果와 旣發表된 홍제사 花崗岩, 月岳花崗岩 및 경상분지內의 白堊紀花崗岩과 비교할때 時代는 다르나 化學組成으로 보아 月岳花崗岩과 유사성을 갖는다는 점을 指摘하고 있다. 이는 月岳花崗岩이 黃江里地域의 重石, 몰리브덴鑛化作用과 關係가 깊은 것을 고려할 때 汾川花崗片麻岩이 이 地域의 重石鑛床의 關係火成岩일 可能性을 示唆하나 이에 대하여는 地質年代測定을 기다릴 수밖에 없다고 본다.

페그마타이트 : 이 地域에 分布하는 主要 페그마타이트脈은 汾川花崗片麻岩과 엠피볼라이트의 접촉경계부를 따라 岩脈으로 發達하고 있다. 이밖에도 小規模의 것은 遠南層, 엠피볼라이트 및 汾川花崗片麻岩內에 發達하고 있다. 페그마타이트脈의 構成鑛物은 石英, 長石, 雲母로써 花崗岩質페그마타이트에 속하며, 石英과 微斜長石, 石英과 電氣石은 文象構造를 이루기도한다.

脈幅은 大體로 수cm에서 수m에 이르나 가장 넓은것은 수십m에 달한다. 이 地域에 分布하는 페그마타이트脈中 含重石페그마타이트脈은 엠피볼라이트와 汾川花崗片麻岩의 경계를 따라 發達하고 있는 것으로 이 脈의 走向은 N80°E~EW이고, 40~50°N으로 傾斜하

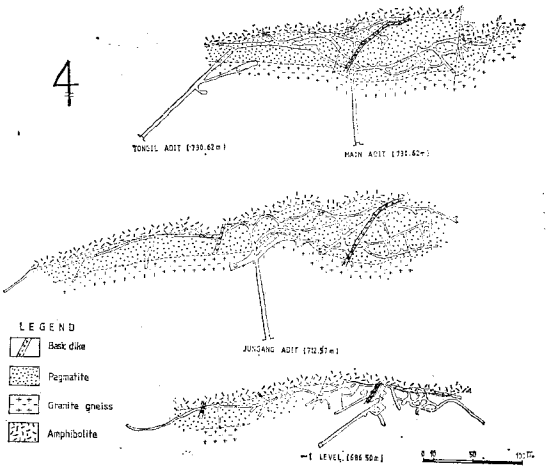


Fig. 2 Undergound Geologic map of Ssangieon Tungsten mine

며 地表에서 노두는 約 2km 延長發達하나 重石鑛物을 包含하는 部位는 선광장에서 東側으로 約 800m 區間이다.

鹽基性岩脈 : 이 岩脈은 地表 수개처에서 上述한 모든 岩石을 貫入하고 있음을 볼 수 있으며 坑內에서는 페그마타이트脈을 貫入하고 있다. 이와같은 産出狀態로 보아 最末期貫入岩이나 貫入時期는 알 수 없다.

3 鑛床

3-1. 鑛床의 産出狀態

前述한 바와 같이 鑛床은 汾川花崗片麻岩과 엠피볼라이트의 접촉경계부에 胚胎된 含重石페그마타이트脈이다. 含重石페그마타이트脈의 走向은 N80°E~EW이고 傾斜는 40~50°N로써 上盤은 엠피볼라이트 下盤은 汾川花崗片麻岩으로 구성되어 있다. 이 페그마타이트脈은 노두에서 約 2km 연장 發達하나 鑛化된 部位는 선광장을 기준으로 東側 800m 區間이다. 脈幅은 地表에서 보통 10~20m 정도이나 坑內 富鑛部에서는 最大 40m 까지 膨大되며, 鑛脈은 走向이 N15°E 거의 直立하는 斷層에 의하여 切斷되고 走向이 N30°E인 鹽基性岩脈에 의하여 貫入당하고 있다(Fig.2).

이 페그마타이트脈의 西半部는 鑛化되지 않았으며 巨晶質의 石英, 微斜長石, 斜長石, 黑雲母, 白雲母를 主로 하고 電氣石, 柘榴石等을 隨伴하는 單成페그마타이트이다. 鑛化된 部位에서 이 單成페그마타이트는 後期의 石英에 의하여 廣範하게 交代되어 脈內에 大小規模의 殘留物을 남기고 있다. 石英에 의하여 交代된 部位에서 脈幅은 特히 膨大되고 長石類는 絹雲母化 되어 있다.

金善億等(1979)은 鑛化된 部位의 페그마타이트中의 石英은 ① 暗灰色, 半透明, 破碎面에 윤기가 나는 粗粒質石英 ② 暗灰色, 不透明, 破碎面에 윤기가 없는 粗粒質石英, ③ 乳白色, 中粒, 細粒質石英(鐵酸化物로 着色됨) ④ 細粒質白雲母를 包含하는 그라이젠質石英 ⑤ 長石質을 包含하는 細粒, 中粒質石英의 5種으로 分類하고 이 中 ①型은 鐵망간重石의 富鑛帶에 속하고 灰重石 富鑛帶는 ①②③型의 石英에 胚胎되어 있으며 重石含有率은 ①②③型順이며 ④⑤型의 石英은 重石鑛物을 包含하지 않는다고 報告한 바있다. 그러나 이들 石英의 各類型別 成因이나 相互關係에 대하여는 言及하지 않았다.

이 硏究에서는 前述한 金善億等(1979)의 分類를 成因과 결부시켜 3類型으로 집약하여 分類하였다. 즉 ① 單成페그마타이트의 構成鑛物로서의 半透明, 乳白色石英(石英 A) ②重石鑛化作用과 관련된 灰色—暗灰色石英(石英 B) ③다른 鑛物을 수반하지 않는 半透明, 괴상의 白色石英(石英 C)이다 石英 A는 가장 早期에 晶出된 것으로서 重石鑛物을 수반하지 않으며 石英 B에 의하여 交代되어 殘留物로 남아있는 경우가 많으며 長石類는 變質정도가 심하다. 金善億等(1979)이 分類한 ④⑤型은 여기에 속한다. 石英B는 重石鑛化作用과 관련된 石英으로써 灰色—暗灰色을 띠며 早期에 晶出된 페그마타이트의 構成鑛物을 광범하게 交代하고 있다. 약간의 硫化物을 수반하며 金善億等(1979)이 分類한 ①②型은 여기에 속한다. 石英 C는 本坑에서 大體로 鑛脈의 上盤側, 中央坑에서 下一坑으로 통하는 斜坑을 지나 下一坑入口를 비롯하여 坑內 수개처에서 괴상으로 發達하고 있으며 鑛石鑛物을 수반하지 않는다. 이 石英 C는 白色을 띠는 石英으로써 純度가 높아 石英으로 개발대상이 되며 灰色—暗灰色石英 및 石英 A를 交代하거나 細脈으로 石英 B를 切斷하고 있는 것으로 보아 石英A나 石英B보다 後期에 生成된 것이 분명하다. 金善億等(1979)이 分類한 類型中 乳白色이며 鐵酸化物로 着色된 石英은 石英 C와 同一時期에 生成된후 어떤 要因에 의하여 表面에 鐵酸化物로 着色된 것으로 생각된다. 流體包有物硏究結果 石英C가 石英B보다 後期에 晶出하였음이 입증되었으며 流體包有物의 性質과 硏究結果에 대하여는 後述할 예정이다.

이 鑛床에서 産出되는 石英들의 産出狀態로 본 晶出時期는 石英 A가 가장 早期에 單成페그마타이트의 構成鑛物로써 晶出하였고, 그후에 石英 B가 鑛化期에 晶出하였으며 最末期에 Barren 石英C가 晶出하였음을 알 수 있다.

3-2 鑛物과 鑛物의 共生關係

이 鑛床에서 産出되는 主要 鑛石鑛物은 鐵망간重石 및 灰重石이고 이밖에 少量의 輝水鉛石, 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 펜들란다이트, 自然비스무스, 輝蒼鉛石및 白鐵石등이 産出되며 脈石鑛物은 石英, 微斜長石, 斜長石, 白雲母, 黑雲母, 電氣石, 柘榴石, 螢石 및 絹雲母이다.

上述한 鑛物들을 晶出時期가 다른 石英A, 石英B 및 石英C와 관련지어 살펴보면 다음과 같다.

石英A는 페그마타이트의 構成鑛物로서 白色을 띠며 富鑛部에서는 石英B에 의하여 交代되어 少量 存在한다. 石英A에 隨伴되는 鑛物은 微斜長石 斜長石, 白雲母, 黑雲母, 電氣石 및 柘榴石이다. 長石類는 絹雲母化 되었고 微斜長石은 石英과 文象構造를 이룬다. 白雲母中 큰것은 직경 3cm 정도의 巨晶들이 관상으로 發達하고 있다. 電氣石은 石英과 文象構造를 이루고 있는 경우 또는 독립되어 巨晶으로 發達하는 경우가 있다.

石英B는 灰色—暗灰色을 띠며 重石鑛化作用과 관련이 있는 石英으로써 鐵망간重石과 灰重石이외에 輝水鉛石, 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 黃鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 펜틀란다이트, 自然비스무스, 輝蒼鉛石, 白鐵石, 螢石 및 絹雲母를 隨伴한다. 石英B에 수반되는 鑛物들의 相互關係를 살펴보면 다음과 같다. 鐵망간重石은 단독적으로 産出되기도하나 灰重石을 수반하여 産出되는 경우가 많다. 灰重石을 수반할 경우 灰重石이 鐵망간 重石 結晶 周圍를 交代하고(photo. 2)있거나 細脈으로 切斷하고 있는 것으로 보아(photo.1) 灰重石이 鐵망간 重石보다 後期에 晶出하였음이 分明하다. 灰重石의 粒子의 크기는 微粒에서 직경 5cm 정도의 크기까지 다양하다. 형광색은 青色을 띠며 鑛石顯微鏡下에서는 약한 異方性을 나타낸다. 輝水鉛石은 石英B에 산점상으로 少量 産出되며 灰重石이 産出되는 部位에서 더 많이 産出되는 경향이 있다. 硫砒鐵石은 黃銅石과 함께 鐵망간重石을 交代한 灰重石內에 細脈을 이루며 切斷하고있다(photo.1). 그러나 黃銅石中에는 파쇄된 硫砒鐵石 사이를 채우고 있는 것(photo. 4)도 있어 黃銅石은 적어도 硫砒鐵石과 같은 時期에 晶出한 것과 이보다 後에 晶出한 두 時期의 것이 있어보인다. 黃鐵石은 後期에 晶出한 黃銅石에 의해 交代당하며, 이러한 黃銅石에는 閃亞鉛石, 磁硫鐵石의 dot가 용리조직을 보이며 포함되어 있다. 黃銅石內에서 용리조직을 보이는 閃亞鉛石과 磁硫鐵石은 黃銅石과 同時期에 晶出하였을 것으로 생각된다(photo 5. 6), 磁硫鐵石은 黃銅石과 共存하며, 白鐵石이나 黃鐵石化되어 있고(photo. 3), 펜틀란다이트와 共存한다(phot. 7), 輝蒼鉛石은 自然비스무스와 같이 黃鐵石안에 包有物로써 포획되어 있다(photo 8), 方鉛石은 1個의 연마편에서 관찰되며 黃鐵石을 交代하나(photo.8)鑛物晶出순서상의 정확한 위치를 수립하기에는 資料부족이다.

Table 5. Mineral assemblage according to three type of quartz.

Type	Color of quartz	Mineral assemblage
Quartz A	White	Microcline, Plagioclase, Biotite, Muscovie, Garnet, Tourmaline.
Quartz B	Gray-dark gray	Wolframite, Scheelite, Molybdenite,Arsenopyrite, Pyrrhotite. Pyrite, Chalcopyrite, Sphalerite Galena, Pentlandite, Bismuthinite Native bismuth, Marcasite, Fluorite, Sericie.
Quartz C	White	Barren

石英B에 관련된 脈石鑛物로는 螢石과 絹雲母가 있는데 螢石은 수개처에서 少量 産出되며 맑은 하늘색과 가지색의 두種이 관찰된다. 絹雲母는 넓게 分布하며 육안으로 보아 활석처럼 보인다. 이에 대한 X-線회절분석실험 結果는 絹雲母임이 확인되었다.

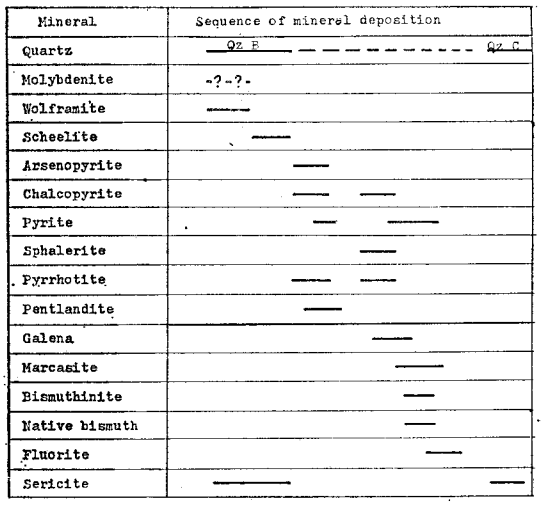


Fig. 3 Paragenetic sequence of ore and gangue minerals from Ssangjeon tungsten deposits. (Early crystallized pegmatite forming minerals are omitted in this diagram).

石英C에 수반되어 産出되는 鑛物은 관찰되지 않았다.

上述한 鑛物들을 石英의 晶出時期와 관련시켜 綜合하면 Table 5와 같다.

Table 5에 기재된 鑛物中 石英A이후에 晶出된 鑛物에 대하여 야외관찰, 편광현미경, 광석현미경 및 流體包有物硏究結果를 토대로 하여 鑛物의 共生關係를 綜合하여 模式的으로 圖示하면 Fig. 3과 같다.

4. 鐵망간重石의 化學組成

雙田重石鑛床에서 産出되는 鐵망간重石中 本坑, 中央坑 그리고 下一坑에서 採取한 試料中 各各 1個씩의 試料를 준비하여 化學分析을 實施하였다. 試料의 준비는 鐵망간重石의 單一結晶을 분리하여 Jaw crusher와 sieve를 使用하여 입자의 크기를 170–220 mesh로 만들어 Acetone으로 불순물을 제거하고 자석분리기(isodynamic magnetic seperator)에서 불순물을 제거 하였다. 이러한 과정을 거친 試料를 다시 Acetone으로 세척한 다음 실체현미경(Streoscopic Microscope)下에서 불순

Table 6. Chemical composition of wolframites from Ssangjeon tungsten deposits.

Comp. / NO.	(wt. %)			(ppm)			MnO / FeO	$FeWO_4$ (mol%)
	WO_3	MnO	FeO	Ta	Nb	Sn		
S-1	75.35	0.77	25.78	<50	400	<10	0.03	97.11
S-2	72.54	0.65	25.40	<50	500	20	0.03	97.54
S-3	73.45	0.06	24.70	<50	700	<10	0.002	99.77

Table 7. $\Delta(d_{011}-d_{110})$ and estimated chemical formulae of wolframites from Ssangjeon tungsten deposits.

Sample NO.	$(d_{011}-d_{110})$	Chemical formulae determined on the basis of	
		Chemical analysis	X-ray diffraction
S 1	0.1014 A°	$Fe_{0.975}\ Mn_{0.025}\ WO_4$	$Fe_{0.945}\ Mn_{0.055}\ WO_4$
S 2	0.1011	$Fe_{0.971}\ Mn_{0.029}\ WO_4$	$Fe_{0.935}\ Mn_{0.065}\ WO_4$
S 3	0.1026	$Fe_{0.998}\ Mn_{0.002}\ WO_4$	$Fe_{0.985}\ Mn_{0.015}\ WO_4$
S 4	0.1017		$Fe_{0.955}\ Mn_{0.045}\ WO_4$
S 5	0.1009		$Fe_{0.930}\ Mn_{0.070}\ WO_4$
S 6	0.0989		$Fe_{0.870}\ Mn_{0.130}\ WO_4$
S 7	0.0999		$Fe_{0.895}\ Mn_{0.105}\ WO_4$
S 8	0.1004		$Fe_{0.913}\ Mn_{0.087}\ WO_4$
S 9	0.1025		$Fe_{0.980}\ Mn_{0.020}\ WO_4$
S10	0.0997		$Fe_{0.893}\ Mn_{0.107}\ WO_4$
S11	0.1018		$Fe_{0.960}\ Mn_{0.040}\ WO_4$
S12	0.1028		$Fe_{0.992}\ Mn_{0.008}\ WO_4$

S1~S3 : Chemical analyses and X-ray diffraction data.
S4~S12 : X-ray diffraction data.

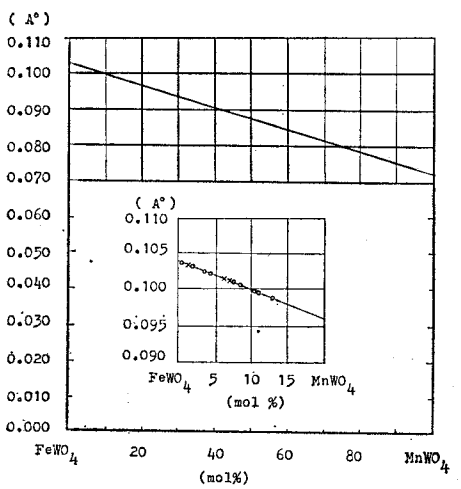


Fig. 4 Variation of $\Delta(d_{011}-d_{110})$ in wolframite series (A. Sasaki, 1959). Crosses represent the same specimens that has been carried out chemical analyses.

물을 제거하여 5g정도의 試料를 준비하여 動力資源硏究所에서 放出分光分析(Emission Spectroscopic analysis)方法을 使用하여 分析을 實施하였으며 分析結果는 Table 6 과 같다.

Table 6 에서와 같이 雙田重石鑛床에서 産出되는 鐵망간重石은 퍼버라이트(ferberite)에 속한다.

Sasaki(1959)는 鐵망간重石의 퍼버라이트(ferberite)와 휴브네라이트(Hubnerite)의 固溶體間의 含量比를 X-線회절분석에 의하여 求할 수 있음을 제안했다. 이러한 Model 에 12個 試料를 圖示한 것이 Fig. 4 이다. 化學分析을 實施한 同一試料 3個와 그외 9個의 試料에 대한 $\Delta(d_{011}-d_{110})$를 구하여 Sasaki's scheme 에 plot 하여 구한 化學式 및 化學分析치에 의하여 구한 化學式이 Table 7 에 기재되어 있으며 化學分析 및 X-線회절분석을 實施한 同一試料의 含量의 차이는 約+3 mol %에 해당하여 비교적 잘 一致하며 이와같은 보정을 가할경우 雙田重石鑛床의 鐵망간重石中의 $FeWO_4$의 mol%는 90~100 이된다.

國內重石鑛床에서 産出되는 鐵망간重石의 化學組成

Table 8. Chemical composition of wolframite from tungsten deposits in Korea.

Comp. / Mine	(wt.%)			(ppm)						MnO / FeO
	WO_3	MnO	FeO	Nb	Sc	Mo	Y	Sn	As	
*Sangdong	77.85	5.24	16.39	10		180	110	40	20	0.32
*Weolak	75.73	8.23	15.86	50	10	60	70		60	0.52
*Susan	71.98	15.68	12.15	590	110	30	10	20	130	1.29
*Ilkwang	71.46	10.47	16.90	140	50	50	30	10	150	0.62
*Dalseong	76.19	14.36	9.23	810	260	20	10	10	190	1.59
*Cheongyang	71.15	9.30	10.84							0.86
*Ogbang	75.06	10.35	11.94							0.97
Ssangjeon	73.25	0.49	25.29	533				13		0.02

*). Source of data: H. I. Park (1982).

과 雙田重石鑛床産 鐵망간重石의 化學組成을 비교하기 위한 것이 Table. 8 이다.

朴喜寅(1982)은 國內重石鑛床産 鐵망간重石中의 WO_3의 含量은 71.15~77.86 wt.%이고 MnO/FeO의 比는 0.32~1.59의 범위內에 든다고 報告했다. Table. 8 에서 볼수있는 바와 같이 雙田重石鑛床産 鐵망간重石의 WO_3의 含量은 73.25 wt.%로써 國內다른重石鑛床과 비교하여 中間値에 속하나 MnO/FeO의 값은 평균 0.02로써 현저하게 낮아 그 類例를 찾아볼 수 없다.

化學分析을 實施한 試料의 採取場所는 上下고도차가 50m 로써 이 區間에서의 MnO/FeO의 값의 變化는 없어보인다.

5. 流體包有物硏究

5-1 對象鑛物과 試料採取

流體包有物硏究의 對象鑛物은 앞에서 分類한 石英 A. B.C 및 石英 B에 수반되는 螢石이다. 灰重石은 透明度가 낮아 流體包有物을 관찰할 수 없어 對象鑛物에서 除外하였다. 이 硏究를 위한 試料는 鑛體內에서 坑準別, 種類別로 50여個의 試料를 採取하여 양면연마박편을 製作하여 實驗을 實施하였다.

5-2 流體包有物의 分類

流體包有物은 偏光顯微鏡下에서 形態, 크기 및 分布狀態等에 따라 初生, 擬二次 그리고 二次기원으로 分類하였으며(Roedder, 1967) 初生 및 擬二次包有物을 充塡度와 組成에 따라서 다음과 같이 I型, II型 및 III型의 包有物로 分類하였다.

I型包有物: 充塡度가 50%以上되는 流體包有物로써 液相과 氣相으로 構成되어 있으며 加熱實驗時 液相으로 均一化된다. 室溫이나 冷却實驗時에 液體 CO_2(以下 LCO_2라 略記함)가 관찰되지 않는 類型이다. 石英 A B, C 에 모두 存在하며 石英 A. B 內의 것은 二次包有物이고 石英C와 螢石에서만 初生包有物로써 存在한다 (photo. 11, 13)

II型包有物: 液相과 氣相으로 構成된 二相包有物中 液相의 充塡度가 50%以下인 流體包有物로써 加熱實驗時 氣相으로 均一化 된다. 室溫이나 冷却實驗時 LCO_2가 관찰되지 않는 型이며 固相도 관찰되지 않는 包有物이다. 이 型의 包有物은 石英 A (photo. 9)와 石英 B (photo.10)에서 初生包有物로 존재한다.

III型包有物: 液相, 氣相 그리고 L CO_2로 이루어진 液體包有物로써 加熱實驗時 液相으로 均一化된다. 室溫에서 LCO_2가 관찰되는 것도 있지만 대부분 Acetone 점적時 또는 冷却實驗時에 나타난다. 이 型의 流體包有物은 石英 B와 螢石에(photo.12) 存在하나 石英 B內의 것은 二次包有物로 생각된다.

以上으로 보아 I型包有物은 石英 C와 螢石에서 初生包有物로 存在하며 II型包有物은 石英 A와 B에서 初生包有物로 存在한다. 고리고 III型包有物은 螢石에서 初生包有物로 存在한다. 이들 流體包有物의 型을 石英 A. B. C의 晶出時期와 관련지어 볼 때 石英A와 B의 晶出時期의 鑛化流體는 gaseous 하였고, 石英 B 晶出末期의 螢石이 晶出할 때의 鑛化流體에는 CO_2의 含量이 증가 하였으며 石英 C 晶出期의 鑛化流體는 液體였음을 알 수 있다.

5-3 鹽濃度

流體包有物의 鹽濃度 測定은 冷却實驗法에 의하여 實施하였다. 冷却實驗은 液體질소를 使用하는 Nikon 會社製 Model NE-1 저온현미경을 使用하였다. 冷却實驗에 앞서 인공적인 流體包有物에 대한 冷却實驗을 實施한 結果 凍結溫度와 鹽濃度와의 關係에서 試驗오차는 無視할 정도였다.

冷却實驗結果 流體包有物의 NaCl 상당 鹽濃度는 Fig. 5 와 같다.

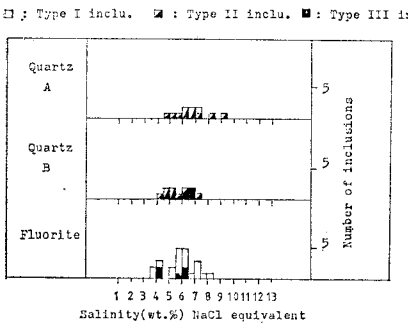


Fig. 5 Salinity of fluid inclusions in quartz A, B, and fluorite.

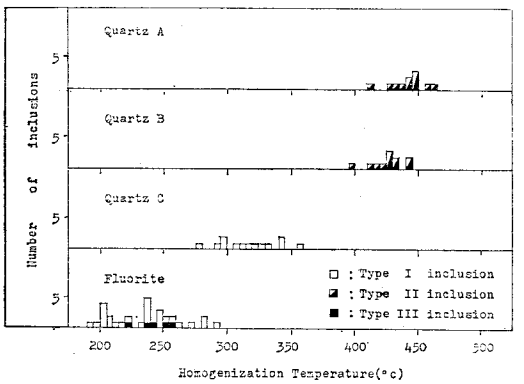


Fig. 6 Homogenization temperature of fluid inclusions in quartz A, quartz B, quartz C, and fluorite.

Fig. 5 에서 石英 A 에 包含된 流體包有物의 鹽濃度는 Ⅱ型包有物이 4.5~9.5 wt.%에 해당된다. 重石鑛化作用과 관련된 石英 B 에서의 Ⅱ型包有物의 鹽濃度는 5.1~6.0 wt.%이며 螢石中에 包含된 流體包有物의 鹽濃度는 Ⅰ型包有物은 3.5~8.3 wt.%, Ⅲ型包有物은 4.1~6.4 wt.%해당한다. 石英 C 에 대하여는 流體包有物의 크기가 작고(10μ) 약간 不透明하여 鹽濃度測定이 不可能하였다.

5-4 均一化溫度

流體包有物의 加熱實驗은 Leitz 會社製 Model 350 SM-LUX 加熱顯微鏡과 서울大學校 地質科學科 鑛床學研究室에서 새로 製作한 加熱顯微鏡을 使用하였으며 測定結果는 Fig. 6 과 같다.

石英 A에 包含된 流體包有物의 均一化溫度는 初生包有物인 Ⅱ型包有物이 415-465°C 이다. 石英 B 에 包含된 流體包有物中 初生包有物인 Ⅱ型包有物의 均一化溫度는 397-441°C 이며 石英C에서는 Ⅰ型包有物이 初生包有物이며 均一化溫度는 278~357°C 이다. 石英 B 와

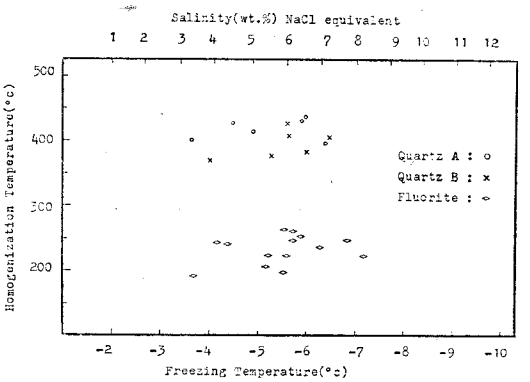


Fig. 7 Relation of salinity and homogeization temperature of fluid inclusions in quartz A, quartz B, and fluorite from Ssangjeon tungsten deposits.

共存하는 螢石中의 流體包有物은 Ⅰ型 및 Ⅲ型包有物이 初生包有物로써 存在하며 이들의 均一化溫度는 Ⅰ型包有物이 191~295°C, Ⅲ型包有物은 223~259°C 이다.

5-5 鹽濃度와 均一化溫度와의 關係

鹽濃度와 均一化溫度와의 相互關係를 살펴보면 Fig. 7 에서와 같이 均一化溫度가 높을수록 鹽濃度도 높아지는 경향이 있다. 이러한 경향은 石英 A 및 石英 B 에서 비교적 잘 나타나며 형석에 있어서는 이러한 경향이 보이지 않는다. 石英 C 에 대하여는 鹽濃度測定이 不可能하였으므로 鹽濃度와 均一化溫度와의 相互關係에 대하여 圖示하지 못하였다.

6. 鑛床의 成因에 對한 考察

雙田重石鑛床은 初期에 形成된 單成페그마이이트(simple pegmatite)脈이 그 東半部에서 後期에 導入된 鑛化流體에 의하여 광범하게 交代되어 鑛化된 하나의 複成페그마타이트(complex pegmatite)鑛床일 것으로 생각된다.

이 地域에 있어서 鑛床의 관계화성암에 대한 구체적인 研究는 수행하지 않았지만 汾川花崗片麻岩의 化學組成이 黃江里地域의 月岳花崗崗과 유사하며 微量元素中 F과 Cl의 含量이 國內의 다른 火成岩類보다 높은 편이며 그의 Sn, Rb의 含量도 높은 것으로 보아 重石鑛化作用과 관계있는 火成岩일 것으로 추론되나 이 點에 대하여는 地質年代測定의 資料가 보완되어 져야한다.

이 鑛床에서 産出되는 鑛物의 種類를 月岳重石鑛床과 비교할때 鑛石鑛物의 種類는 거의 유사하나 이 鑛

Table 9. Homogenization temperature of quartz and fluorite of tungsten deposits in Korea.

Mine \ Mineral	Quartz (°c)	Fluorite (°c)	Source of data
Ogbang	220–357	208–280	J. S. Youn(1979)
Sangdong	120–410	134–267	K. J. Moon(1979)
Daewha	205–314	170–295	H. I. Park et al(1981)
Weolak	239–360(+)	224–332	H. I. Park et al(1981)
Susan	235–335	225–305	
Cheongyang	280–340	210–230	H. I. Park et al(1982)
Dalseo ng	154–335		J. M. Jee et al(1974)
Useok	310–355(+)		H. I. Park et al(1980)
Ulsan	230–360		H. I. Park et al(1980)
*Ssangjeon	397–441	191–295	

床에서는 含錫硫鹽鑛物(Tin-bearing sulfosalt)이 發見되지 않았다.

이 鑛床에서 産出되는 鐵망간重石의 $FeWO_4$의 mol%는 90~100으로써 거의 순수한 ferberite에 속한다. 이는 國內의 다른 重石鑛床에서 産出되는 鐵망간重石에서 그 類例를 찾아볼 수 없다.

鐵망간重石中의 FeO와 MnO의 比는 鑛床의 生成溫度와 fO_2에 따라 變한다는 주장이 여러학자들에 의하여 報告되어 왔다(Tayler & Hosking, 1970.Clark, 1970). 따라서 單一 鑛床에 있어서도 鑛床의 上部에서 下部로 감에 따라 MnO/FeO의 값은 變할 수 있음이 예상된다(朴喜寅, 1982). 池楨蔓等(1980)은 "月岳鑛床産 鐵망간重石의 $FeWO_4$의 含量은 50.60~79.80 mol%로써 鑛脈의 上部에서 下部로 감에따라 Fe成分이 증가하는 경향을 나타낸다"고 報告했다. 이상과 같은 點에서 본

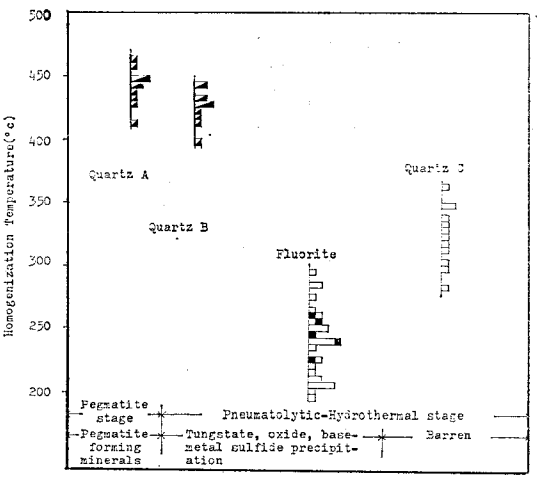


Fig. 8 Summary of homogenization temperature of fluid inclusions. (Symbols are same with Fig. 7).

다면 雙田重石鑛床産 鐵망간重石中의 $FeWO_4$의 含量은 90mol% 이상으로써 月岳重石鑛床産 鐵망간重石 보다 심처에서 形成되었을 可能性이 있음이 추론된다.

雙田重石鑛床에서 産出되는 石英中에서 重石鑛化作用과 관련된 石英B와 이에 수반되어 産出되는 螢石中에 包含된 流體包有物의 均一化溫度와 國內다른 重石鑛床에서 産出되는 것과 비교한 것이 Table 9이다.

Table 9에서 보여지는 바와같이 雙田重石鑛床産 石英B中에 包含된 流體包有物의 均一化溫度는 다른 重石鑛床産 石英과 비교하여 현저하게 높다. 이러한 事實은 成因的으로 볼때 접촉교대나 열수기원으로 알려진 國內의 다른 重石鑛床보다 雙田重石鑛床이 더 高溫에서 形成되었음을 시사한다.

石英 A. B. C 및 螢石에 包含된 流體包有物의 均一化溫度와 晶出時期와의 相互關係는 模式的으로 圖示하면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 보여지는 바와같이 石英A의 晶出時期는 페그마타이트가 形成된 時期이다. 그後 유체의 導入으로 페그마타이트를 交代하며 다시 石英B를 晶出시키고 동시에 重石鑛化作用과 관련된 重石鑛物을 침전시켰다. 잔류유체는 서서히 冷却되면서 硫化物을 침전시키고 동시 또는 후기에 螢石을 晶出시켰을 것으로 생각된다. 螢石의 晶出後에 다른 鑛化流體의 導入으로 最末期의 石英C를 晶出시켰을 것으로 생각된다.

이 鑛床의 生成溫度는 流體包有物의 均一化溫度에 압력보정을 하여야 얻을 수 있으나 압력보정을 하기 위한 必要한 資料를 갖지 않는다. 다만 이 鑛床이 先캠브리아時代의 花崗片麻岩저반과 成因的으로 關係가 깊을 것으로 생각되는 페그마타이트라는 점에서 黃江里地域에 分布하는 白堊紀末의 重石, 몰리브덴 鑛床보다 생성심도가 깊은 것이 예상되며 압력보정치도 보다 클것이 예상된다. 流體包有物硏究結果 初生包有物로써

氣相包有物을 많이 含有하고 있다는 점과 均一化溫度가 현저하게 높다는 점등으로 보아 黃江里地域의 重石, 몰리브덴鑛床과는 判異하다.

Table 10은 雙田重石鑛床과 國內다른 重石鑛床에서 産出되는 石英과 螢石의 NaCl 상당 鹽濃度를 비교하기 위한 表이다. 雙田重石鑛床에서 重石鑛化作用과 관련된 石英B中의 流體包有物의 NaCl 상당 鹽濃度는 5.1~6.0 wt.%로써 靑陽重石鑛床産 石英中에 包含된 流體包有物의 NaCl 상당鹽濃度 6.7~10. wt.%보다 낮다. 그러나 螢石中에 包含된 流體包有物의 鹽濃度는 雙田重石鑛床의 3.5~8.3 wt.%가 靑陽重石鑛床의 3.0 wt.%보다 상당히 높다. 이 鑛床에서 鑛化期間中 鑛化流體의 CO_2

Table 10. Salinity of quartz and fluorite of tungsten deposits in Korea.

Mineral / Mine	Quartz (wt.%)	Fluorite (wt.%)	Source of data
Sangdong	1.4–13.8		K.J. Moon(1979)
Weolak	3.9–9.6	2.7–6.9	H.I. Park et al (1981)
Susan	4.0–9.7	5.0–7.7	H.I. Park et al (1981)
Cheongyang	6.7–10.0	3.0	H.I. Park et al (1982)
*Ssangjeon	5.1–6.0	3.5–8.3	

含量은 螢石晶出期에 높아졌을 것으로 보인다. Fig. 8에서 最末期의 石英C의 均一化溫度가 以前時期의 螢石의 均一化溫度보다 높은 이유는 石英C의 산출상태로 보아 螢石의 晶出이후에 高溫의 鑛化流體의 새로운 導入에 기인한 것으로 생각된다.

以上과 같이 이 鑛床은 여러차례 鑛化流體의 導入으로 인하여 形成된 含重石複成페그마타이트(Tungsten-bearing complex pegmatite)鑛床으로 생각된다.

7. 結 言

雙田重石鑛床은 先캠브리아時代에 해당하는 엠피볼라이트와 汾川花崗片麻岩을 母岩으로 하여 胚胎된 含重石複成페그마타이트(Tungsten-bearing complex pegmatite)鑛床이다.

汾川花崗片麻岩은 미량원소中 F과 Cl의 含量이 547 ppm과 360 ppm으로 비교적 높고 Sn, Rb의 含量도 높은 점으로 보아 關係火成岩일 가능성이 있어 보인다.

이 鑛床에서 産出되는 鑛石鑛物은 鐵망간重石, 灰重石을 主로 하고 少量의 輝水鉛石, 硫砒鐵石, 磁硫鐵石, 黃鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 펜틀란다이트, 自然비스무스, 輝蒼鉛石 그리고 白鐵石으로 구성되어 있으며 灰色—暗灰色을 띠는 石英B와 共存한다. 脈石鑛物은 石英, 微斜長石, 斜長石, 白雲母, 黑雲母, 電氣石, 柘榴石, 螢石 그리고 絹雲母로 구성되어 있다.

이 鑛床에서 産出되는 鐵망간重石의 化學組成은 WO_3 (73.25 wt.%), MnO(0.49 wt.%), FeO(25.29 wt.%)이며 $FeWO_4$의 mol%는 90以上이다.

鑛脈內의 石英은 生成時期로 보아 가장 早期의 것으로 부터 石英 A, B. C의 3種이 있고 重石鑛物의 鑛化作用과 가장 밀접한 관계를 갖는 石英은 灰色—暗灰色을 띠는 石英B이다.

石英A와 B에 包含된 流體包有物中 初生包有物은 Ⅱ型의 氣相包有物이고, 石英C와 螢石에서는 Ⅰ型의 液相包有物이며 石英 A. B 및 螢石에 包含된 初生包有物의 NaCl 상당 鹽濃度는 各各 4.5~9.5wt.% 5.1~6.0 wt.% 및 3.5~8.3 wt.%로써 早期晶出한 石英일수록 약간 높은 경향이 보인다. 石英 A. B. C 및 螢石에 包含된 流體包有物中 初生包有物의 均一化溫度는 各各 415~465°C, 397~441°C, 278~357°C 및 191~295°C이다.

鑛化流體의 CO_2 농도는 螢石晶出期에 一部 증가되었을 것으로 보인다.

參 考 文 獻

金善億外 5人, 1979, 蔚珍地域 雙田重石 鑛化帶의 地質鑛床 및 開發經濟性 調査研究, 자원개발연구소.

金洙鎭, 李商萬, 朴喜寅, 1982, 奉化—蔚珍地域의 W. Sn 및 Mn 鑛化作用에 關한 研究, 서울大學校 自然科學綜合研究所.

金玉準, 洪萬燮, 金起泰, 朴喜寅, 1963, 三斤里圖幅, 국립지질조사소.

朴喜寅, 1982, 韓國의 地質과 鑛物資源 金玉準敎授 停年退任記念 論文集, p.299–310,

朴喜寅, 李商萬, 李旼成, 金洙鎭, 1981, 黃江里地域 金屬鑛床의 成因에 關한 研究, 서울大學校 自然科學綜合研究所

尹錫台, 1982, 雙田重石鑛床의 成因에 關학 研究, 서울大學校 理學碩士學位論文(未發刊).

池槙蔓, 岡村三郎, 1980, 月岳鑛山産 鐵망간重石, 日本 鑛山地質, V. 30. No. 1

Barabanov, 1970, Geochemistry of tungsten. Internat. Geol. Rev., Vol. 13, P, 332–344.

Clark, A. H, 1970, Manganese-iron ratios in wolframite, South Crofty mine, Cornwall: A discussion. Econ. Geol, Vol, 75. p 889–892.

Davis, S. G, 1961. Mineralogy and genesis of the wolframite ore deposits, Needle Hill mine, New Territories, Hong Kong. Econ,. Geol, Vol, 56. P. 1238-

1249.

Ginzbourg, A. I. 1960. Specific geochemical features of the pegmatite process, Internat, Geol. Cong, Vol, 21, part 17, p. 111–121.

Groves, P, I, and Barker, W, E, 1972, The regional variation in compositions of wolframites from Tasmania. Econ. Geal., Vol. 67, p. 362–368.

Higgins, N. C, 1980, Flnid inclusion evidence for the transfort of tungsten by carbonate complex in hydrothermal solutions. Canad, Jour. Earth Scien, Vol. 17, p. 823–830.

Hsu. L. G and Galli, P. E. 1973. Origin of the scheelite powellite series of minerals. Econ. Geol, Vol, 68, p. 681–696.

Jahns, R. H. 1955. The study of pegmatites. Econ. Geol, fiftith aniversary volume, p. 1048–1106

and Burnham, C, W. 1969. Experimental studies of pegmatite genesis: I, A model for the derivation

——and Crystallization of granite pegmatites. Econ. Geol. Vol. 64. P. 843–864.

Kelly, W. C. and Turneaure. F. S. 1970, Mineralogy, paragenesis and geochemistry of the tin and tungsten deposits of the eastern Andes, Bolivia. Econ. Geol, Vol, 65. p. 609–680.

Landis. G. P. and Rye, R. O, 1974. Geologic, fluid inclusion and stable isotope studies of the Pasto Buena tungeten-base metal ore deposits, northern Peru. Econ. Geol, Vol. 769, p. 1025–1059.

Ohmoto, H and Rye, R, O, 1970. The Bluebell mine, British Columbia. I, mineralagy, paragenesis, fluid inclusions, and the isotopes of hydrogen, oxygen, and carbon. Econ. Geol, Vol 65, p 417–437

Ramdohr, P. 1980. The ore minerals and their intergrowths. pergamon press

Roedder, E. 1962, Studies of fluid inclusion. I: low temperature application of a dual-purpose freezing and heating stage. Econ. Geol, Vol. 57, p. 1045–1061.

Roedder, E. 1963. Studies of fluid inclusion II: Freezing data and their interpretation. Econ. Geol. Vol. 58 p. 167–208.

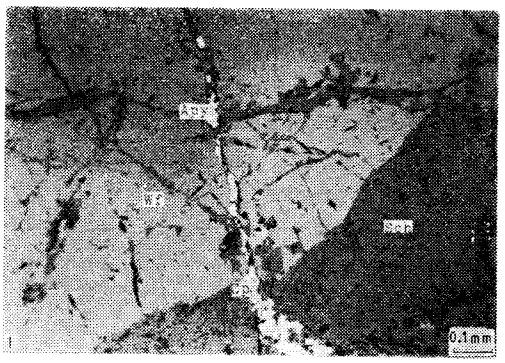
Sasaki, A. 1959. Variation of unit cell parameters in wolframite series. Minera. Jour, Vol. 2, No. 6. p. 375–396.

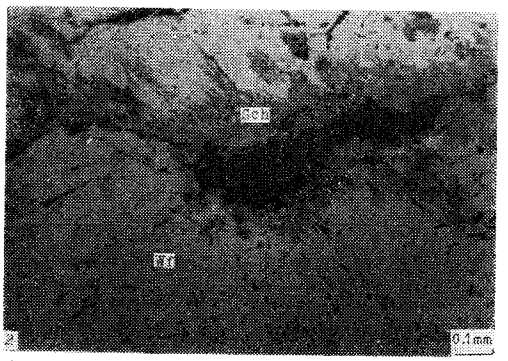
Schouten, C, 1962, Determination tables for ore microscopy. Elsevier publishing company.

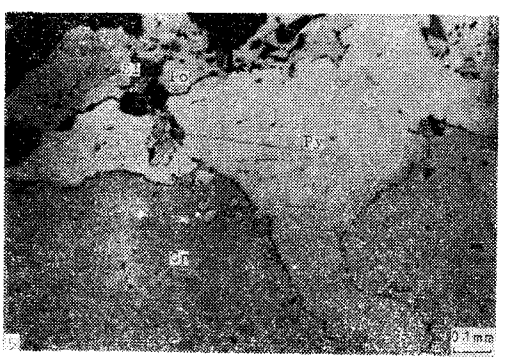
Schwartz, G. M. 1942, progress in the study of exsolution in ore minerals. Econ, Geol. Vol 37. p. 345–364

Schwartz, G. M. 1951, Classification and definitions of textures and mineral structures in ores. Econ. Geol, Vol. 46, p. 578–591.

Taylor, R. G. and Hosking K. F. G. 1970, Manganese-iron rations in wolframite, south Crofty mine, Cornwall. Econ, Geol, Vol. 65, p. 47–53.

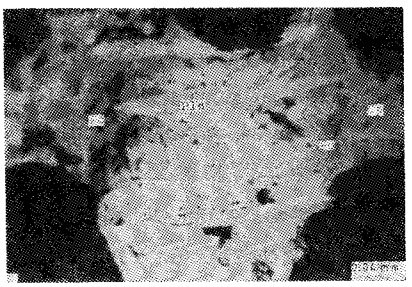


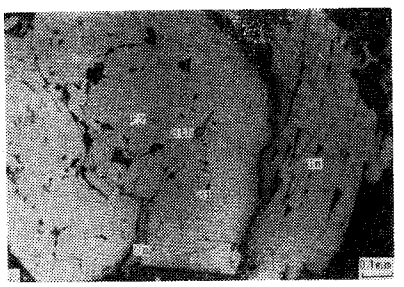


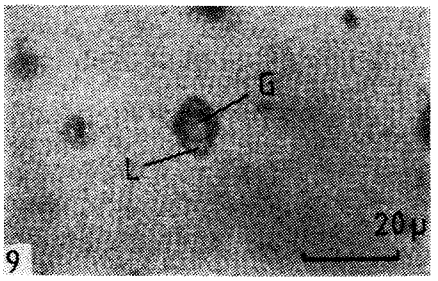


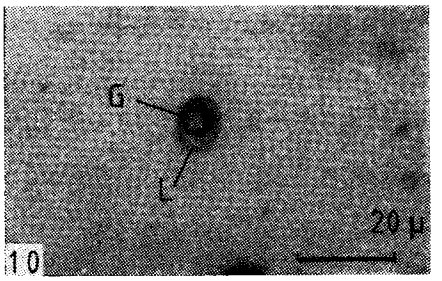
1. Wolframite is replaced by scheelite. Chalcopyrite and arsenopyrite of the late stage which filled the fracture of early wolframite and scheelite.
2. Wolframite is replaced by scheelite. Relict of wolfra mite formed by replacement of scheelite.
3. Pyrrhotite altered to an extremely fine-grained aggregates of marcastic.
4. Chalcopyrite of the late stage filled the fracture of arsenopyrite.
5. Pyrite is replaced by chalcopyrite, pyrrhotite, and sphalerite.
6. Chalcopyrite with exsolved blebs of sphalerite and pyrrhotite.

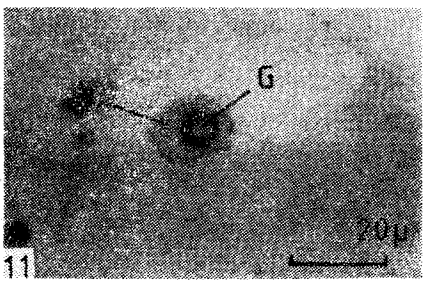
Wf:Wolframite, Sch:Scheelite,
Apy:Arsenopyrite, Cp:Chalcopyrite,
Po:Pyrrhotite, Mc:Marcasite,
Sl:Sphalerite, Py:Pyrite.

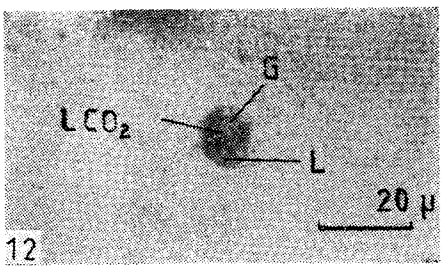


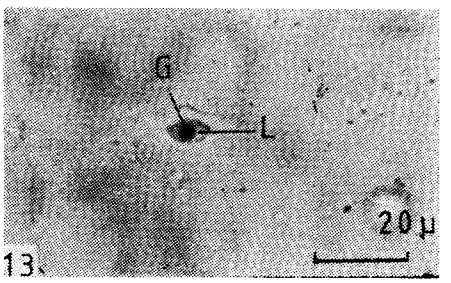












7. Mutual boundaries with pyrrhotite and chalcopyrite is replaced by pentlandite.
8. Replacement texture of pyrite by galena. Mineral inclusions of bismuthinite and native bismuth in pyrite.
9. II type inclusion in quartz A. 10. II type inclusion in quartz B.
11. I type inclusion in quartz C. 12. III type inclusion in fluorite.
13. I type inclusion in fluorite.

Po: pyrrhotite Cp: Chalcopyrite Py: Pyrite Gn: Galena Bth: Bismuthinite Bi: Native bismuth Pld: pentlandite G: Gas phase L: Liquid phase LCO_2: Liquid CO_2 phase