

萬藏銅鑛山에 對한 流體包有物 및 安定同位元素分析 研究

金 奎 漢* · 愼 貞 淑*

Stable Isotope and Fluid Inclusion Studies of the Manjang Copper Mine, South Korea

Kyu Han Kim and Jeung Sook Shin

Abstract: The Manjang copper-magnetite-fluorite orebodies are imbedded within the limestone beds of the Hwajonri Formation. The ore deposits are characterized by magnetite-fluorite bearing skarn orebody in the west orebody and copper sulfide veins of the central and main orebodies. This study includes fluid inclusion geothermometry, salinity analysis, stable isotope analysis, and application of phase rule to mineral associations in skarn ore.

Ore minerals are closely associated with the skarn silicates such as garnet, wollastonite and epidote. Magnetite and fluorite are remarkable in the west orebody whereas chalcopyrite is dominate in the central and main orebodies where pyrite and pyrrhotite also appear as sulfide gangues.

Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions are measured ranging between 240°C and 350°C, 6.3~12.9 wt. percent in quartz and 220°C and 350°C, 8.5~9.9wt. percent in fluorite, respectively. This indicates that the filling temperature and salinity are higher in quartz than in fluorite with the tendency of both to be linearly decreased suggesting an attribution of meteoric water to the mineralization.

T-f₀ diagram in the Ca-Fe-Si system at 1 kb and X_{CO₂}=0.02 shows that the mineral assemblages with decreasing temperature are andradite-hedenbergite-calcite, hedenbergite-andradite-quartz, magnetite-andradite-quartz, and magnetite-quartz-calcite, indicating that magnetite crystallizes mostly late skarn stage at lower temperature.

According to the carbon and oxygen isotopic values of the host limestone and calcite in ores, the source of carbon might be mixture of host limestone and deep seated carbons. Sulfur isotope data imply that ore fluids be relatively homogeneous in sulfur isotopic composition, mainly derived from igneous source.

序 論

黃江里地域 南部 月岳山 花崗岩低盤 주위에 여러 종류의 鑛床이 分布하고 있다. 그중 務岩寺花崗岩주위에 서의 鑛化作用(尹碩奎外, 1986)에 관한 二次年度에 이 어 本 研究에서는 槐山附近에 分布하는 鑛床中 萬藏銅 鑛床에 대하여 現地調査 및 室內研究를 실시하여 鑛床 周邊의 地質과 鑛床의 賦存狀態, 鑛體內에서의 스카른 과 鑛石鑛物의 隨伴關係 및 流體包有物에 대한 研究 및 黃化鑛物과 炭酸鹽岩의 安定同位元素比 分析을 통하여

鑛床生成時의 物理化學的 環境과 鑛液의 特性을 밝히 는데 그 目的이 있다. 또한 本 鑛山에는 同一 鑛山內 에 鐵스카른鑛體와 銅스카른鑛體로 나뉘므로 두 鑛體 의 生成環境條件을 比較할 수가 있다.

本 鑛山은 1939年 鑛權이 設定된 以來 主로 銅과 鐵 을 對象으로 採掘되어 오다가 일시 作業이 中斷되었으 며 1969年 以來 다시 銅을 主 對象으로 採鑛된 바 있 으나 現在는 休鑛中에 있다.

鑛床附近의 地質은 沃川層群의 變成堆積岩 및 石灰 岩類와 이들을 貫入한 火成岩類로 構成되어 있다.

鑛床은 西部의 含螢石-磁鐵石鑛體와 銅을 主로 하는

* 梨花女子大學校 科學教育科

中央鑛體 및 本鑛體들이 알려져 있으며, 磁鐵石은 石灰岩層內的 스카른과 密接히 隨伴된다. 한편 黃銅石을 주로 하는 黃化鑛物은 石英脈에 주로 隨伴된다.

本地域의 地質에 대해서는 이종혁, 김정환(1972)에 의한 1:50,000의 槐山도폭이 發刊되어 있고 鑛山에 대해서는 國立地質調查所(1963)와 大韓鑛業進興公社(1975, 1976, 1981)의 報告書가 있으나 萬藏鑛床의 成因에 關한 研究論文은 아직 나온 바 없다.

本 研究은 1986年度 延世大學校 문교부 特性化研究의 第3次年度 研究費로 이루어졌다. 安定同位元素比의 分析에 협력해 주신 名古屋大學의 中井信之 教授께 사의를 표하며 鑛物分析에 도와준 延世大 禹鍾象 碩士에게 감사한다. 特히 本 研究가 이루어지기까지 많은 指導를 해 주셨던 故 尹碩奎 教授님께 本 論文을 드린다.

地 質

本 鑛山 附近 地域의 地質은 槐山-閔慶間에 分布하는 沃川累層群의 中央部로서 花田里層과 九龍山層의 變成堆積岩類와 이들을 貫入한 中央部와 南部의 優白質斑狀花崗岩, 西部 및 中南部의 花崗斑岩等으로 構成되어 있다(Fig. 1).

花田里層

本地域內的 最下部層인 花田里層의 走向은 대체로 N25°~45°E, 傾斜는 25°~80°NW 또는 SE로써 NE方向을 축으로 褶曲되어 있다. 本層은 粘板岩, 千枚岩 및 石灰岩層으로 대표된다. 本層은 西쪽에서 九龍山層과 整合的 關係를 갖고 있으며 南쪽에는 優白質斑狀花崗岩이 東쪽에는 黑雲母花崗岩이 貫入되어 있으며 中南部에는 花崗斑岩이 貫入 分布하고 있다.

鑛體附近의 石灰岩은 일부 接觸交代變成을 받았으며 이중 結晶質 珪質石灰岩은 微粒의 石英 및 長石 aggr-

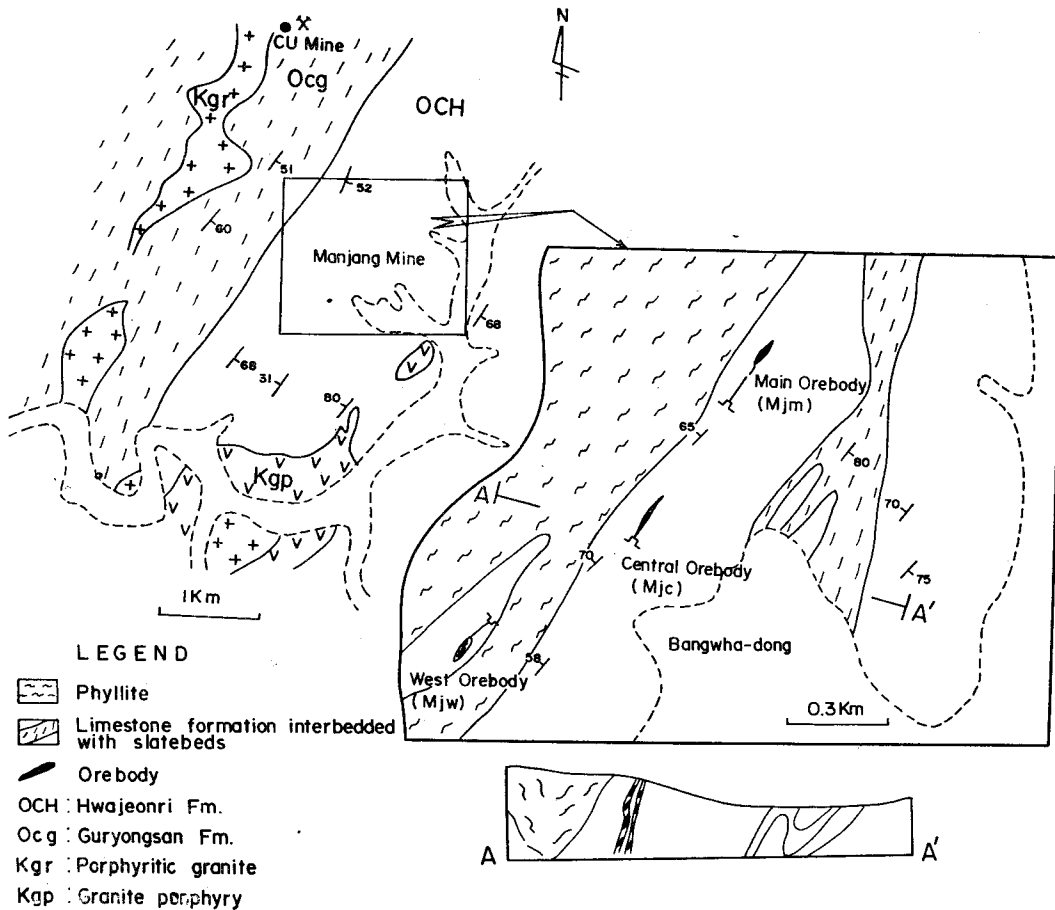


Fig. 1 Geologic map of the Manjang mine area (modified from Lee and Kim, 1971 and Jang, 1975).

egate와 透輝石, 方解石으로 주로 構成되며 副成分 鑛物로는 黑雲母와 불투명 鑛物로 이루어졌고, 長石 aggregate가 絹雲母化作用을 받고 있으며 炭酸鹽帶와 石英 및 長石帶가 互層帶를 이루나 炭酸鹽帶는 接觸 變成作用에 의하여 대부분 透輝石化 되어 있다. 또한 有上里 東측의 슬레이트는 거의 혼펠스화 되어 있으며 코어디어라이트(cordierite), 黑雲母등의 變成鑛物 및 微粒의 石英과 長石類가 모자이크 조직을 이루고 있다.

九龍山層

東측에서 花田里層을 整合으로 덮고 있으며 대체로 NE-SW의 走向을 가지며 傾斜는 20~80°SE로써 單斜 構造를 보여주고 있으며 優白質斑狀花崗岩이 走向方向을 따라서 길게 貫入하고 있다.

本層은 點紋狀雲母片岩, 千枚岩, 角閃石片岩, 結晶 質石灰岩으로 構成되어 있다. 點紋狀雲母片岩은 黑雲 母를 비롯하여 細粒質 石英 및 長石의 aggregates와 絹 雲母, 綠泥石, 불투명 鑛物로 構成되어 있다.

火成岩類

上記 變成堆積層을 貫入한 斑狀花崗岩, 花崗斑岩 등 의 白堊紀의 火成岩類가 鑛體 주위에 分布하고 있다.

鑛 床

鑛床概要

鑛床은 西部鑛體, 中央鑛體 및 주변의 기타 鑛體들 로 되어 있으며(Fig. 1) 이들 鑛體는 花田里層中的의 石 灰質岩層(東南部)內的의 千枚岩層(西北部)과의 地層境界 附近에 西南方向으로 配列되어 分布하고 있으며 西部 鑛體는 千枚岩層內的의 石灰岩挾層에 배태되어 있고 中央鑛體 및 本鑛體는 石灰岩을 母岩으로 하고 있다. 여 기서는 西部, 中央 및 本鑛體에 대해서만 논의하기로 한다.

鑛體附近的의 石灰岩類는 대체로 암회색내지 회백색을 띠는 結晶質이며 鑛體는 柘榴石 및 單斜輝石을 主로하는 스키아르니가 密接히 隨伴된다.

鑛床은 크게 (1) 石灰岩層의 열극을 따라 배태된 스키아르니鑛體(西部 磁鐵石-螢石鑛體)와 (2) 黃銅石, 磁硫 鐵石, 鐵망간重石, 灰重石, 磁硫鐵石, 方鉛石, 閃亞鉛 石 등이 隨伴되는 熱水交代 및 熱水鑛脈型鑛體로 구분 된다. 특히, 西部鑛體는 柘榴石, 輝石스키아르니와 함께 磁鐵石, 螢石이 隨伴되는 스키아르니鑛體이며 中央鑛體와 本鑛體는 北東方向의 構造線을 따라 발달하는 含銅黃 化鑛物石英脈으로 된 脈狀鑛體이며 극부적으로 鑛體주 위에 母岩인 石灰岩이 스키아르니화 되어 있다.

다음에 現地調査 및 과거의 자료(장세문, 1980; 손 정우, 황한식, 이두성, 1976)에 의하여 이들 鑛體의

賦存狀態를 간단히 기재한다.

西部鑛體 : 西部鑛體는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 NE方向으로 연장된 2개의 노두가 나타나 있는데 東南 측 노두는 南쪽에 스키아르니가 노출되고 그 北측에 鑛體 가 隨伴된다.

鑛體는 薄層의 세일과 結晶質 石灰岩의 互層을 이루 는 石灰岩을 交代한 磁鐵石-螢石을 含有한 스키아르니鑛體 이다.

鑛體는 폭 5~7m이고 높이 3~4m인 디스크(disc)型 의 橢圓型모양으로 西坑 坑道入口에서 20m위에서 착 맥되었으며 上部는 노두와 관통되어 있다.

西部鑛體의 특징은 磁鐵石-螢石을 隨伴하는 스키아르 니鑛體이다. 스키아르니鑛物은 主로 輝石類이고 소량의 녹색 柘榴石, 綠簾石, 方解石등으로 構成되어 있고 黃化鑛 物로 多量의 磁硫鐵石과 少量의 黃鐵石, 黃銅石이 隨 伴된다. 이들 鑛體內에 鑛物組合에 의해 鑛石은 輝石- 磁鐵石-螢石, 輝石-柘榴石-螢石-方解石 및 方解石-螢 石-黃銅石이 우세한 鑛石으로 구분된다.

本 西部鑛體의 下部發達을 조사하기 위한 손외(1976) 의 시추에서도 鐵鑛石 15~45%인 含磁鐵石 스키아르니鑛 體가 확인되었다.

中央鑛體 : 中央鑛體 노두는 石灰岩의 層理인 N20°E 走向과 75°NW 傾斜하는 단회색의 石灰岩層理와 거의 平行하게 發達하고 있다. 鑛體는 走向 N30°E, 傾斜 88° NW로 發達하는 構造線을 交代 및 充填한 폭 2m, 연 장 32m內外인 렌즈상 鑛體이다. 含銅石英脈內에는 0.5~5cm 직경의 石灰岩 각력도 관찰되며 鑛石鑛物은 主로 黃銅石이고 少量의 灰重石, 螢石, 方解石, 磁硫 鐵石, 方解石이 隨伴되고 있다.

本鑛體 : 本鑛體는 中央鑛體의 西北部 연장으로 역 시 大理岩化된 石灰岩의 層理인 NE方向으로 연장되어 있으며(Fig. 2), N20°E, 76~80°NW의 構造線을 充填 한 렌즈상 交代鑛體(폭 6m, 연장 약 30m) 및 含銅石 英脈狀 鑛體(脈幅 0.4~1m 內外)로 되어 있다.

本鑛體의 上部는 黃銅石-輝蒼鉛石-石英脈으로 石英 脈內에는 vug가 많이 관찰된다. 中部의 石英脈에는 黃 銅石-灰重石이 우세하고 下部에는 黃銅石-螢石-철망간 重石-方解石을 含有하는 石英脈으로 특징지어진다. 本 坑道入口에서 150m 위처에 0.5~1.5m폭의 含銅石英 脈이 發達되고 있으며 石英脈은 石灰岩측에 絹雲母, 黃鐵石, 磁硫鐵石이 우세하고, 內部쪽으로 黃銅石이 우세하며 vug內에는 螢石, 方解石, 菱狀간石등이 관찰 된다.

鑛物의 隨伴關係

萬藏鑛山의 主要 鑛石鑛物인 西部鑛體의 磁鐵石과

磁硫鐵石, 中央 및 本鑛體의 黃銅石, 黃鐵石 및 磁硫鐵石 등은 모두 石灰岩內에 형성된 스키르나이트와 밀접히 隨伴되어 나타난다. 스키르나이트鑛物은 주로 柘榴石, 單斜輝石, 珪灰石 및 綠簾石 등으로 構成되며 含磁硫鐵石鑛體 또는 含黃化物鑛體는 스키르나이트에 밀접히 隨伴된다.

萬藏鑛山에서 특기할만한 사실은 西部鑛體에서 酸化鑛物인 磁鐵石스키르나이트와 黃化鑛物인 銅스키르나이트가 同一鑛化地域內에서 產出된다는 사실이며 이것이 黃化鑛物을 主로하는 中央 및 本鑛體에 있어서의 鑛化環境에 어떤 차이점이 있었는가에 대한 의문을 던져준다. 이러한 의문을 相律的으로 해석해 보기 위하여 다음에 鑛體별로 스키르나이트鑛物과 鐵石鑛物의 隨伴關係 및 鐵石鑛物 相互關係에 대하여 野外觀察, 鑛石試料의 肉眼的 및 顯微鏡的으로 관찰하고 이를 검토하였다.

西部鑛體 : 鐵石鑛物인 磁鐵石은 柘榴石 및 單斜輝石을 主로 하는 스키르나이트에 밀접히 隨伴되며 이들 스키르나이트에는 方解石과 石英이 少量 隨伴되고 있다.

顯微鏡 관찰에 의하면 單斜輝石은 벽개가 잘 發達되며 주황색의 간섭색을 띠며 사소광을 한다. 綠簾石은 짙은 녹색을 띠며 불규칙한 형태를 보이며 cross nicol下에서 높은 간섭색을 보인다. 磁鐵石은 自型的 結晶으로 이들 스키르나이트鑛物과 等粒狀構造를 이루어 나타나며 때로는 多量의 벽개가 뚜렷한 螢石이 隨伴된다. 螢石이 單斜輝石, 磁鐵石과 共存함이 特徵的이다. 柘榴石은 EPMA分析에서 Fe₂O₃ 29.47~30.4%인 안드라다이트에 해당되었다(Table 1).

Table 1 Chemical composition of garnet from the west orebody of the Manjang mine.

Composition	Analytical point			
	1	2	3	4
SiO ₂	35.26	35.01	34.97	35.0
Al ₂ O ₃	0.56	0.86	0.37	0.05
Fe ₂ O ₃	29.47	29.12	30.04	29.7
MnO	1.84	1.86	1.59	1.47
MgO	0.02	0.05	0.05	0.06
CaO	31.69	31.29	31.57	32.08
Total	98.88	98.19	98.60	98.35
Mole percent end member				
Pyrope	0.05	0.21	0.0	0.27
Spessartine	2.90	4.19	0.0	0.0
Grossularite	0	0	0	0
Andradite	97.05	95.60	100.0	99.73

Table 2 Chemical composition of sphalerite from the central ore body (MJC-3) of the Manjang mine.

Composition	Analytical point			
	1	2	3	4
Zn	56.45	56.56	56.49	56.49
Fe	8.78	9.09	9.18	8.63
Mn	0.02	0.02	0.04	0.07
Cu	0.01	0.0	0.04	0.0
S	34.94	34.31	34.71	34.25

이처럼, 西部鑛體는 主로 含磁鐵石體로 되어있으나 少量의 磁硫鐵石, 黃鐵石 등의 黃化鑛物이 산점상으로 포함되며 磁鐵石內에 黃銅石이 불규칙한 작은 입자로 포함 되어 있기도 하다.

中央 및 本鑛體 : 이들 鑛體는 西部鑛體와는 달리 石英脈內에 黃銅石, 黃鐵石, 磁硫鐵石, 方鉛石 및 閃亞鉛石 등의 黃化鑛物이 石英脈內에 隨伴될 뿐이며 스키르나이트鑛物은 부분적으로 少量 隨伴되며 磁鐵石은 발견되지 않는다.

黃鐵石-閃亞鉛石-方鉛石이 共存하는 鑛石(MJC-3)의 閃亞鉛石의 EPMA分析에 의하면 Fe 8.6~9.2%이다 (Table 2).

流體包有物 研究

鑛物組合이 特徵的인 西部 磁鐵石-螢石鑛體와 中央-本鑛體間의 石英과 螢石內의 流體包有物에 대한 均一化溫度 및 鹽濃度(NaCl equivalent weight percent)를 측정하여 本地域의 스키르나이트와 熱水鑛化溶液의 特性을 검토하였다.

對象鑛物

流體包有物 研究를 위한 鑛物試料은 本鑛山內의 西部, 中央 및 本鑛體에서 채취한 試料들이다. 이 研究를 위해 20여개의 試料를 선정하여 108개의 流體包有物에 대해 均一化溫度를 측정하였으며 이중 均一化溫도와 鹽濃도가 同時에 측정 가능했던 流體包有物은 28개 시료이다. 研究 對象鑛物은 主로 石英과 약간의 螢石이며 方解石은 투명도가 낮아 研究對象에서 제외하였다.

本 研究에서는 一次 包有物만을 研究對象으로 하였으며 一次二相 包有物은 氣相과 液相으로 構成되며 液相의 充填度는 60% 이상이다. 本鑛山의 包有物의 대다수가 二相 包有物에 속하며 加熱實驗時 液相으로 充填된다. 液相, 氣相, 固相의 三相 包有物도 本鑛體의 石英에서 小數 發見되었다.

加熱 및 冷却實驗

本 實驗은 Roedder(1962)의 均一化法(homogenization method)으로 流體包有物의 均一化溫度를 측정하였다. 加熱實驗은 Leitz製 Model SM-Lux 加熱顯微鏡으로 수행하였으며 그 結果가 Fig. 2 및 Table 3에 수록되어 있다.

NaCl 相當鹽濃度(NaCl equivalent wt.%)는 Roedder(1962, 1963)의 冷却實驗法에 의해 冷却溫度를 측정하여 이 溫度를 Potter, et al.(1978)의 實驗結果를 이용하여 產出하였다. 냉각실험은 Nikon製 NE-I型 低溫顯微鏡으로 實驗을 수행했다.

西部鑛體의 螢石內의 流體包有物에 대한 均一化溫度는 298~350°C, 中央鑛體의 石英, 螢石에 있어서는 240~>350°C, 225~310°C이며 本鑛體의 石英, 螢石

Table 3 Freezing and heating data of fluid inclusions in quartz and fluorite minerals from the Manjang mine.

Sample location	Host mineral	Salinity(NaCl equ. wt.%)	Homogenization temperature(°C)
West orebody	Fluorite	8.5~9.4	298~350
Central orebody	Quartz	6.3~9.7	240~>350
	Fluorite		225~310
Main orebody	Quartz	9.2~12.9	240~>350
	Fluorite	9.0~9.9	220~324

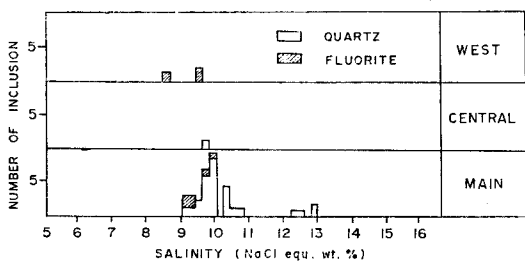
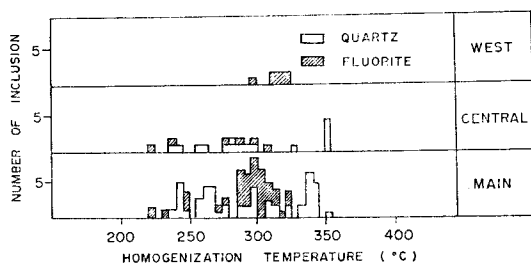


Fig. 2 Homogenization temperature and salinity data of fluid inclusions for quartz and fluorite minerals from the Manjang mine.

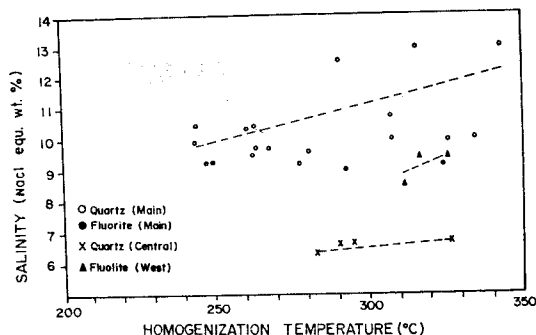


Fig. 3 Relationship between homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in quartz and fluorite minerals from the Manjang mine.

에 있어서는 각각 240~>350°C, 220~324°C이다. 전체적으로 볼 때 石英보다는 螢石內의 流體包有物의 均一化溫度가 다소 낮은 경향을 보임을 알 수 있었다. 특히 西部鑛體의 螢石이 中央, 本鑛體의 것보다 높은 溫度를 나타내고 있다.

本鑛山의 西部, 中央 및 本鑛體에서 채취한 石英 및 螢石內의 流體包有物에 대한 冷却實驗의 結果는 Fig. 2, Table 3와 같다.

西部鑛體의 螢石內의 流體包有物에 대한 NaCl 相當鹽濃度는 8.5~9.4wt.%, 中央鑛體의 石英은 6.3~9.7 wt.%, 本鑛體의 石英, 螢石은 각각 9.2~12.9wt.%, 9.0~9.9wt.%이다. 多數의 측정이 가능했던 本鑛體의 試料은 대략 9.0~9.9wt.%에 집중되며 石英보다는 螢石內의 流體包有物의 鹽濃도가 다소 낮았음을 알 수 있다.

鹽濃도와 均一化溫度와의 關係

Fig. 3는 鹽濃도와 均一化溫度의 상관關係를 도시한 그림이다. 鹽濃도와 均一化溫度의 關係는 약간 溫度가 증가할수록 鹽濃도가 증가하고 均一化溫度가 낮아질수록 NaCl 相當鹽濃도도 낮아지는 경향을 보인다. 이 같은 경향은 鑛化作用時 순환수(meteoric water)의 mixing 에 기인한 것으로 解釋된다.

鑛物組合과 相律解釋

여기서는 앞에서 기술한 萬藏鑛山의 鑛物隨伴關係鑛物組合 및 流體包有物 研究의 結果를 相律圖의 적용으로 鐵스카른인 西部鑛體와 銅스카른인 中央鑛體 및 本鑛體의 鑛化環境을 解釋해 보려고 한다.

鐵스카른으로서의 西部鑛體는 石英 및 方解石등과 鑛石鑛物인 磁鐵石이 柘榴石 單斜輝石 등의 스카른鑛物과 밀접히 隨伴되며 이들 鑛物의 平衡關係는 Ca-Fe-Si 의 3成分系로서 Fig. 4에서와 같은 5個의 반응식에 대

한 5개의 univariant curve를 Uchida and Iiyama(1982)에 의한 log f_{O_2} -T diagram에 도시 검토해 보았다.

上記 univariant reaction은 한 方程式을 제외하고는 모두 酸化와 脫炭酸作用으로 이들 鑛物들의 安定域은 溫度와 壓力이외에 f_{O_2} 와 X_{CO_2} 가 중요한 要因이 됨을 알 수가 있다. 全壓力이 一定할 때 위의 반응들은 Ca-Fe-Si의 3成分과 C-O가 과잉 포함되어 있는 系內的 log f_{O_2} -T diagram 상에서 平衡關係를 고찰하여야 한다.

壓力問題로서 本鑛山의 關係火成岩으로 볼 수 있는 花崗斑岩은 斑岩質인 것으로 보아 貫入 심도는 깊지 않았던 것으로 추측되며 日本의 釜石鑛山(Uchida and Iiyama, 1982)內 新山 Fe-Cu 鑛床의 關係火成岩이 斑岩質인점과 鑛床 주변이 슬레이트 및 혼펠스로 되어 있는 점등이 유사함을 고려하여 壓力을 1Kb로 추정하였다. X_{CO_2} 에 대하여는 Taylor and O'Neil(1977)에 의하면 石灰岩의 變質交代時 內部를 流通하는 流體 X_{CO_2} 는 비교적 낮아서 0.1以下인 만큼 本鑛山에 있어서도 釜石鑛山의 경우와 유사하였다고 가정하여 0.02로 하였다.

뒷 장의 黃同位元素 地質溫度計에 의해 中央鑛體가 353°C인어졌으며 앞에서 기술한 바와 같이 西部, 中央

및 本鑛體의 流體包有物의 均一化溫度는 220°C~> 350°C이며 1Kb 內外의 壓力 보정을 고려하여 추정할 때 보정 溫度는 400°C는 넘지 않을 것으로 보인다. 또한 西部鑛體의 螢石은 磁鐵石스카른과 共存하며 鑛物 共生으로 보아 스카른化와 거의 同時期로 解釋되어 均一化 최대 溫度 350°C를 스카른化의 최저 溫度로 가정하여 壓力補整과 아울러 400°C 內外로 가정하였다. 그리고 流體包有物의 대상시료인 石英 및 螢石에서 얻은 溫度는 스카른 단계 以後의 熱水段階로 전환된 후의 溫度로 생각할 수 있으며 스카른단계의 말기 產物(Miyazawa, 1978)로 보는 磁鐵石은 적어도 이 以上의 溫度에서만 安定하였을 것이다. Fig. 4에서 西部鑛體의 鑛物共生에서 스카른化時의 최저 f_{O_2} 는 -31정도로 추정되며 中央, 本鑛體의 鑛物組合는 주로 黃化鑛物만 隨伴되어 Garrels and Christ(1965)의 log f_{S_2} -log f_{O_2} 관계를 적용해석해보면 적어도 f_{O_2} 는 -31以下의 環境이 있을 것으로 추정된다. 鑛物組合는 저온으로부터 磁鐵石-石英-方解石, 磁鐵石-灰鐵柘榴石-石英, 灰鐵柘榴石-灰鐵輝石-石英, 灰鐵輝石-灰鐵柘榴石-方解石, 磁鐵石-灰鐵輝石-方解石의 순으로 安定하게 된다(Fig. 4).

安定同位元素比 分析研究

萬藏鑛山의 西部鑛體, 本鑛體, 中央鑛體의 方解石 및 鑛床母岩인 大理岩의 炭素($\delta^{13}C$) 및 酸素 安定同位元素比($\delta^{18}O$) 分析을 통하여 鑛化作用時의 溫度와 鑛化溶液의 기원등을 解釋하였다.

分析된 同位元素는 千분률로 $\delta = \left(\frac{R_{시료}}{R_{표준지표}} - 1 \right) \times 1000$ 로 표시했으며 이때 R은 $^{34}S/^{32}S$, $^{18}O/^{16}O$ 그리고 $^{13}C/^{12}C$ 이다. 分析된 同位元素比中에서 炭素는 PDB, 黃은 CDT, 그리고 酸素는 SMOW로 표시했다. 모든 安定同位元素比 分析을 위한 시료처리와 分析은 日本 名古屋大學 地球科學科에서 실시했다.

炭素 및 酸素 安定同位元素比

鑛床母岩인 石灰岩과 鑛體中의 方解石鑛物의 炭素 및 酸素 安定同位元素比 分析 결과는 Table 4와 같다. 母岩인 石灰岩은 $\delta^{13}C = -1.2 \pm 0.5\%$ (평균, -0.6%), $\delta^{18}O = 13.5 \sim 19.6\%$ (평균, $+17.5\%$)로 海成石灰岩의 값을 나타내며 酸素($\delta^{18}O$)의 경우 變成作用에 의해 變成을 받지 않은 石灰岩에 비해 ^{18}O 이 depleted되어 있다. 鑛體中의 方解石鑛物은 $\delta^{13}C = -2.8 \sim -4.3\%$, $\delta^{18}O = +7.4 \sim +9.4\%$ 로 母岩의 그 값과는 현저히 다르다(Fig. 5). 이 값에서 流體包有物에서 얻은 溫度(350°C)와 O'Neil, et al.(1969), Bottinga(1968)의 동위원소 분별정수를 이용하여 계산된 方解石과 平衡狀態에 있었던 鑛化溶液의 동위원소비는 $\delta^{13}C_{CO_2} = -1.8\%$,

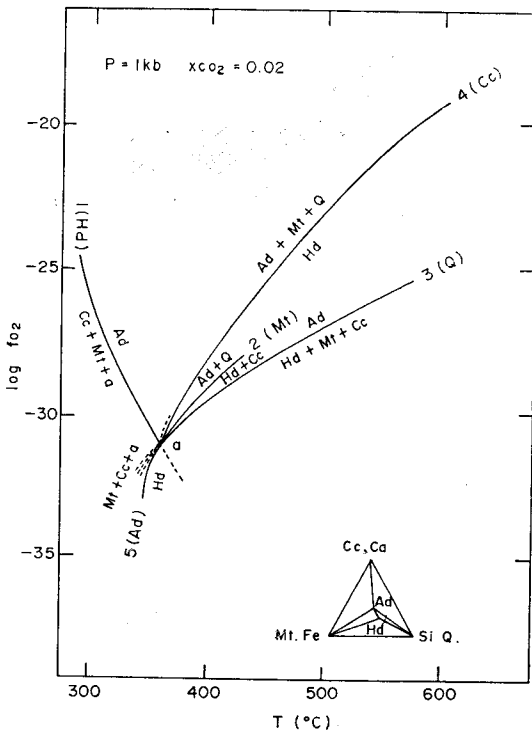
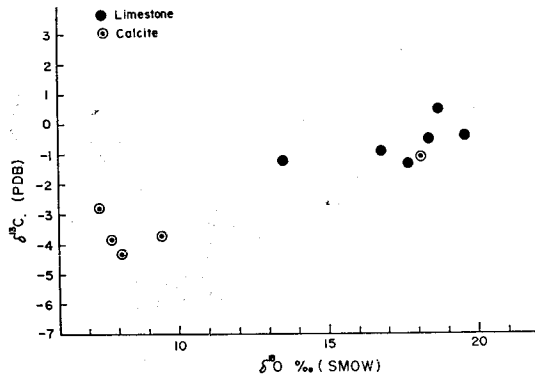


Fig. 4 Log f_{O_2} -T diagram in the system Ca-Fe-Si at $X_{CO_2}=0.02$ and $p=1Kb$ (modified from Uchida and Iiyama, 1982).

Table 4 Carbon and oxygen isotopic compositions of calcite and carbonate rocks from the Manjang mine.

Sample No.	Description	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	Remark
MjC-A	Grey crystalline limestone	-0.4	+19.6	Central orebody
MjW-A	Grey crystalline limestone	-1.2	+13.5	West orebody
MjW-B	Ditto	-0.5	+18.4	West orebody
MjW-C	Coarse grained calcite	-3.8	+7.8	West orebody
MjW-D	Vein calcite	-2.8	+7.4	West orebody
MjM-1	Grey crystalline limestone	-0.9	+16.8	Main orebody
MjM-2	Dark grey limestone	-1.3	+17.7	Main orebody
MjM-3	Marble	+0.5	+18.7	Main orebody
MjM-4	Vein calcite in limestone	-1.1	+18.1	Main orebody
Mj-1	Vein calcite	-4.3	+8.1	Main orebody
Mj-2	Ditto	-3.7	+9.4	Main orebody

Mj-1, Mj-2 data (Kim, 1986).

**Fig. 5** $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{18}\text{O}$ plot for the calcite and carbonate rocks from the Manjang mine.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +3.8\%$ 이다.

Hoef(1978)의 화성기원의 탄소의 값과 이 지역石灰岩, 그리고 마그마水和 계산에서 얻어진 이들 값을 비

교해보면 鑛化溶液은 심부 기원의 탄소와 母岩의 탄소의 mixing이 인정된다.

그리고 花崗岩과 근접하고 있는 試料(MjWA)는 oxygen shift를 나타내고 있으나 石灰岩內에 發達하는 方解石脈(MjM-4)의 試料는 石灰岩의 同位元素값과 유사한 값을 가져, 이 方解石의 C와 O의 기원은 바로 母岩인 石灰岩임을 잘 나타내 주고 있다(Fig. 5).

黃同位元素分析

中央鑛體, 本鑛體, 西部鑛體 및 長延面五佳里 地域의 銅鑛山產 黃鐵石(MjK 1)의 黃同位元素比分析 결과는 Table 5와 같다.

표에서와 같이 $\delta^{34}\text{S}$ 의 값은 +4.4~+9.9% 범위의 대단히 均一한 값을 가지며 平均 +6.1%로 H_2S 가 ouse한 광화용액에서 황화광물들이 침전되었다고 가정하면 이 동위원소 값은 마그마 기원으로 해석될 수 있으며 또한 마그마기원으로 해석된 南韓의 여러 鑛床의

Table 5 Sulfur isotopic compositions of sulfide minerals from the Manjang copper mine.

Sample No.	Description	Mineral	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	Isotope Temperature
MjC-1	cp-gn-py-qz(cc) ore	py	+6.8	353°C
		gn	+4.4	
MjC-3	sp-py-cp-qz(cc) ore	py	+5.2	
		sp	+5.1	
MjC-3A	cp-py-sp ore	cp	+4.9	
		py	+5.5	
		sp	+5.2	
MjM-7	cp(gn) in qz vein	cp	+6.3	
MjM-9	py in qz vein	py	+6.7	
MjW-1	cp ore in skarn silicates	cp	+9.7	
MjK-1	py in qz vein	py	+6.9	

py(pyrite), gn(galena), sp(sphalerite), cp(chalcopyrite), qz(quartz), cc(calcite)

平均 값(金奎漢, 中井信之, 1980)의 범위와도 일치하고 있다. 즉 황의 기원이 대부분 火成起源이고 母岩의 堆積起源의 황이 鑛化作用時에 거의 영향을 주지 않았음을 의미해 주고 있다. 그러나 西部鑛體의 黃銅石의 $\delta^{34}\text{S}=+9.7\%$ 로 기타 鑛體의 黃化鑛物의 값과 약 3% 정도 차이가 있다. 이는 鑛化作用時 物理化學的 環境의 차이에 기인한 것으로 解釋된다. 中央鑛體의 黃鐵石-方鉛石 鑛物쌍의 同位元素平衡溫度는 Ohmoto and Rye (1979)의 平衡關係를 이용 계산 353°C가 얻어졌다. 이는 石英의 流體包有物의 最高溫도와 근사한 값을 나타내고 있어, 鑛化深度가 비교적 앞았음을 의미해 주고 있다.

結 論

沃川層群 花田里層의 石灰質岩을 母岩으로 하는 萬藏鑛床은 磁鐵石스카른인 西部鑛體와 含銅熱水性石英脈狀鑛體인 中央 및 本鑛體로 大分된다. 이들 鑛體의 東南 및 南部에는 花崗斑岩이 露出되어 있어 上記의 鑛化와 成因인 관련성이 예상된다.

西部鑛體의 스카른은 珪灰石, 單斜輝石, 柘榴石, 綠簾石 등을 주로하며 磁鐵石과 螢石이 黃化鑛物과 함께 밀접히 隨伴되며, 中央 및 本鑛體에서는 石英脈內에 黃銅石, 黃鐵石, 磁硫鐵石, 드물게는 閃亞鉛石, 方解石이 隨伴됨으로써 西部鑛體는 磁鐵石-螢石이 中央 및 本鑛體는 黃化鑛物인 黃銅石을 주로 함이 특징이다.

石英 및 螢石內의 流體包有物의 充填溫度는 각각 240°C~>350°C, 220°C~350°C이며 鹽濃度는 각각 6.3~12.9wt.%, 8.5~9.9wt.%로써 石英이 螢石보다 다소 높은 溫도와 鹽濃度를 나타내며 充填溫度가 낮을수록 鹽濃度도 낮아지는 경향을 보인다. 이는 鑛化作用時 순환수(meteoric water)의 mixing을 암시해 주고 있다.

西部鑛體의 스카른鑛物과 磁鐵石의 隨伴關係는 鑛化環境을 全壓力 1 kb, $X_{\text{CO}_2}=0.02$ 로 전제 한 $\log f_{\text{O}_2}$ -T diagram 上에서 解釋하면 $\log f_{\text{O}_2}$ 가 -31以上, 溫度가 360°C以上에서 스카른鑛物이 安定하였으며 高溫으로부터 低溫으로 向하여 灰鐵輝石-灰鐵柘榴石-方解石, 灰鐵輝石-灰鐵柘榴石-石英, 磁鐵石-灰鐵柘榴石-石英, 磁鐵石-石英-方解石의 순으로 安定하였고 대부분 磁鐵石은 스카른 말기에 가장 集中的으로 產出되었음을 알 수 있다.

母岩인 石灰岩과 鑛石에 隨伴되는 方解石의 炭素($\delta^{13}\text{C}$) 및 酸素($\delta^{18}\text{O}$) 安定同位元素比의 比較 解釋에서 이들 間에 현저한 값의 차이를 나타내어 그 기원에 있어 鑛化作用時의 심부기원의 炭素와 순환수의 mixing

이 있었음을 의미해 주고 있다. 黃化鑛物의 黃同位元素比는 平均 +6.7%로 火成起源의 黃을 주로 하는 鑛化溶液이 대단히 均質하였으며 西部鑛體의 $\delta^{34}\text{S}$ 값과의 차이는 鑛化作用時의 物理化學的인 環境의 차이에 기인함을 암시해 주고 있다.

參 考 文 獻

- 金奎漢 · 中井信之(1980) 韓國의 一部 金屬鑛床의 硫黃 同位元素成分 및 同位元素地質溫度에 關한 研究. 地質學會誌, 第16卷, 第2號, p.124-134.
- 손경우 · 황한석 · 이두성(1976) 광상시추조사보고. 대한광업진흥공사, 3:182-184.
- 이종혁 · 김정환(1972) 槐山圖幅說明書. 국립지질조사소.
- 장세문(1981) 단장광산조사보고서. 한국의 광상, 제 8호, p.94-95.
- Bottinga, Y.(1968) Calculation of fractionation factors for carbon and oxygen isotopic exchange in the system calcite-carbon dioxide water. J. Phys. Chemistry, v. 72, p. 800-808.
- Hoefs, J. (1978) Some Peculiarities in the carbon isotope composition of "juvenile" carbon. New Zealand Dept. Sci Indus, Research Bull, v. 220, p. 181-184.
- Garrels, R.M. and C.L. Christ(1965) Solutions, minerals and equilibria. New York, Harper & Row.
- Miyazawa, T.(1978) Contact-metasomatic deposits in Japan and Korea. ed. Hamashima.
- Ohmoto, H. and R.O. Rye(1979) Isotopes of sulfur and carbon. In; Barnes, H.L.(ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2nd ed., New York, John Wiley.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N. and Mayeda, T.K. (1969) Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. J. Chem. Phys., v. 51, p. 5547-5558.
- Potter, R.W., M.A. Clynnne and O.L. Brown(1978) Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. Econ. Geol., v. 73, p. 284-285.
- Roedder, E.(1962) Studies of fluid inclusions I; Low temperature application of a dual-purpose freezing and heating stages. Econ. Geol., v. 57, p. 1045-1061.
- Roedder, E. (1963) Studies of fluid inclusions II; Freezing data and their interpretation. Econ. Geol., v. 58, 168-211.
- Taylor, B.E. and J.R. O'Neil(1977) Stable isotope

studies of metasomatic Ca-Fe-Al-Si skarns and associated metamorphic and igneous rocks, Osgood Mountains, Nevada. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 163, p. 1-49.

Uchida, E. and J.T. Iiyama(1982) Physicochemical study of skarn formation in the Shingama iron-copper ore deposit of the Kamaishi mine, northeastern Japan. *Econ. Geol.*, v. 77, p. 809-822.