

將軍鑛山の 磁鐵石鑛床에서 産出되는 Mg-스카른鑛物

李讚熙* · 宋錫煥** · 李鉉具*

Mg-skarn Minerals from Magnetite Deposits of the Janggum Mine, Korea

Chan Hee Lee*, Suckhwan Song** and Hyun Koo Lee*

ABSTRACT: The first Mg-skarn minerals are found from magnetite ore deposits of the Janggum mine, Korea. The skarn minerals are composed of mostly chondrodite, olivine, chlorite, serpentine, phlogopite, talc, apatite, magnesite, dolomite, siderite and trace amount of clinopyroxene, amphibole, garnet, wolastonite associated with magnetite, pyrrhotite and pyrite. The skarn zone is developed in the magnetite deposits at the contact of the Mg-rich Janggum Limestone Formation and the Chunyang granite. The chondrodites are columnar and radial shapes and some of them show twins. The chemical compositions of twinning-type chondrodites have high FeO (4.63 to 5.6 wt%), MnO (0.26 to 0.46 wt%) and low MgO (55.02 to 56.18 wt%) relative to the radial-type chondrodites. Twinning in chondrodite has been formed in close relation to substitution between Mg and Fe + Mn in humite solid solution. Temperature, $-\log f_{O_2}$ and X_{CO_2} during the skarn stage of magnetite deposits from the Janggum mine range from 395 to 430°C, from 30.5 to 31.2 atm and from 0.06 to 0.09, respectively.

序 言

將軍鑛山에는 鑛床의 母岩, 産出狀態 또는 成因이 다른 망간鑛床, 鉛-亞鉛-銀鑛床, 磁鐵鑛床, 바나듐鑛床들이 分布하여 많은 사람들의 關心을 끌어들였다. 鑛山周邊의 地質은 金玉準의 (1962), 李大聲 (1967), 黃仁典 (1968), 李鉉具 (1980) 등에 의하여 詳細히 報告된 바 있으며, 將軍鑛山을 構成하는 망간鑛床 (Kim 1970; 1979), 鉛-亞鉛-銀鑛床 (Imai, Lee, 1980; 李鉉具, 1980; 李鉉具外; 1990), 磁鐵鑛床 (李鉉具外, 1996) 및 바나듐鑛床 (Imai *et al.*, 1980; 安建尙, 李鉉具, 1995)에 대하여도 詳細히 研究되어 있고, 鑛化作用과 地質構造 및 母岩變質에 관하여도 檢討된 바 있다 (李鉉具의 1990).

1985년에는 鉛-亞鉛-銀鑛床의 第1豎坑 東南쪽 350 m 地點에서 30 m 정도의 幅과 300 m 以上の 延長을 보이는

磁鐵鑛體가 발견되었으며, 現在에는 南鑛床의 A 鑛體에서 水平坑道를 開設하여 探鑛中에 있다. 이는 鉛-亞鉛-銀鑛床과는 다른 스카른型 鑛床의 形態를 보이며 橄欖石 및 휴마이트군 (humite group)에 속하는 콘드로다이트 (chondrodite) 등 多量의 Mg-스카른鑛物, 少量의 Ca-스카른鑛物 및 마그네사이트 (magnesite)를 포함한 多量의 Mg-Fe계 碳酸鹽鑛物이 産出된다.

一般的으로 휴마이트군의 鑛物은 매우 稀少한 變成鑛物의 一種으로서 酸性 火成岩類와 돌로마이트 (dolomite)의 接觸變質帶에 局限되어 産出되는 것으로 알려져 있다 (Deer *et al.*, 1962). 또한 超鹽基性 火成岩 및 高溫, 高壓의 變成岩類에서는 Ti를 含有하는 휴마이트군의 鑛物이 報告된 바 있다 (Aoki *et al.*, 1976; Nielsen, Johnsen, 1978). 韓半島에서는 北韓의 笏洞鑛山과 遂安鑛山의 스카른대에서 發見된 바 있으며 (Watanabe, 1939; 1943), 太白山 鑛化帶內의 스카른鑛床인 院洞鑛山과 新禮美鑛山에서도 報告된 바 있다 (金洙鑛外, 1988; 張浩完, 張秉郁, 1992; Yang, 1991). 마그네사이트는 Mg-스카른鑛物들이 綠泥石 또는 滑石으로 變質되는 過程에서 흔히 生成되는 것으로 알려져

* 忠南大學校 地質學科(Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

** 戰略鑛物資源研究센터(Center of Mineral Resources Research, Korea University, Seoul 136-701, Korea)

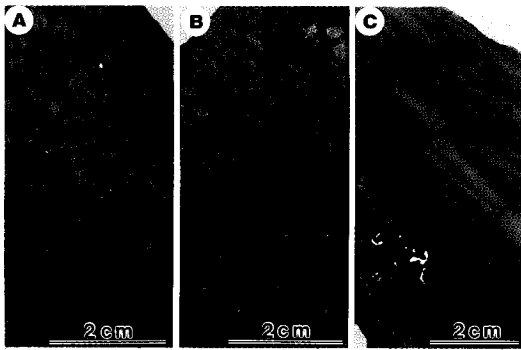


Fig. 1. Photographs of ore-slabs from boring-core (No. 93-3) from magnetite deposits of the Janggun mine. A; Alternative banded ore of pyrite and skarns as chondrodite, chlorite and clinopyroxene assemblages, B; Pyrrhotite and pyrite ore interbedded with clinopyroxene, C; Dolomitic limestone replaced by pyrite, pyrrhotite and chlorite assemblages.

있으며 (Deer *et al.*, 1962),北韓의 遂安鑛床 (Watanabe, 1943)에서 報告된 바 있으나 南韓에서는 잘 알려져 있지 않다.

將軍鑛山에서 鑛化作用과 關係있는 스카른鑛物은 報告된 바 없었으며, 다만 春陽花崗岩과 將軍石灰岩層의 接觸部에서 鑛化作用과는 關係없는 微量의 스카른鑛物만 觀察될 뿐이다. 이 研究는 將軍鑛山の 磁鐵鑛床을 構成하는 Mg-스카른鑛物에 관한 것으로 構成鑛物의 產出狀態와 共生關係, X-線回折分析, 化學組成 및 生成環境을 考察하였으며, 新禮美 및 院洞鑛山の 磁鐵鑛床에서 報告된 Mg-스카른형 鑛物들의 特徵과 比較하여 이들의 生成環境을 檢討한 것이다.

地質 및 鑛床

將軍鑛山 周邊의 地質과 鑛床은 詳細히 研究되어 있으며, 스카른이 產出되는 磁鐵鑛床에 關하여도 筆者들 (1996)에 의하여 研究된 바 있기 때문에, 이 研究에서는 이들에 關하여 簡略히 記述하고자 한다. 將軍鑛山の 周邊에는 先캄브리아기의 遠南層群, 栗里層群과 캄브로-오르도비스기의 壯山珪岩層, 斗音里層, 將軍石灰岩層이 分布하며 이를 페름-石炭紀의 東水谷層과 才山層이 平行不整合層으로 被覆한다. 이 岩層들은 大寶花崗岩에 對比되는 春陽花崗岩에 의하여 貫入되어 있다. 또한 安山岩質 岩脈들이 上記한 堆積岩類와 花崗岩類를 貫入하고 있다.

鉛-亞鉛-銀鑛床은 將軍石灰岩層과 春陽花崗岩의 接觸部를 따라 發達한 熱水交代型的 鑛床으로서 鑛體의 空間

의 分布에 따라 北鑛床과 南鑛床 (A, B, C, D 鑛體)으로 불리고 있다 (李鉉具外, 1996; Fig. 1). 磁鐵鑛床은 南鑛床의 東南쪽에 位置하며 鉛-亞鉛-銀鑛床과는 다른 獨立된 스카른형의 鑛床으로서, 過去 地表採掘한 資料를 根據로 深部試錐에서 磁鐵鑛體의 存在와 規模가 確認된 것이다. 이 磁鐵鑛床은 돌로마이트질 將軍石灰岩層과 春陽花崗岩의 接觸部를 따라 N70°W의 走向과 50°NE의 傾斜를 보이며 렌즈상으로 발달한 二個의 平行한 鑛體로 構成되어 있다.

將軍鑛床의 母岩을 이루는 將軍石灰岩層은 鑛山의 北部에서는 Ca가 豊富한 石灰岩이 優勢하나 南部에서는 Mg가 豊富한 돌로마이트질 岩石이 分布하며, 磁鐵鑛床 周邊은 典型的인 돌로마이트로 構成되어 있다 (李鉉具外, 1990). 이들은 全般的으로 珪化作用을 받아 脫色變質되어 있으며 鑛體와의 接觸部에서는 絹雲母化, 綠泥石化, 碳酸鹽鑛物化, 粘土鑛物化 作用이 있었다. 鑛床의 東쪽에 分布하는 石灰岩의 一部는 淡褐色 또는 暗褐色의 薄層이 狹在되어 있어 一見 스카른 鑛物帶로 誤認된 境遇도 있었으나, 春陽花崗岩과의 一部 接觸部에서 鑛化作用과 關係없는 微弱한 스카른화 作用이 있었을 뿐이다. 그러나 磁鐵鑛床의 鑛化帶內에는 鑛石鑛物과 함께 콘드로다이트, 橄欖石, 綠泥石, 蛇紋石, 滑石, 金雲母, 燐灰石, 透輝石, 角閃石, 石榴石, 珪灰石 등의 스카른鑛物과 돌로마이트, 마그네사이트, 菱鐵石, 方解石 등의 碳酸鹽鑛物이 產出된다.

產出狀態

磁鐵鑛床에서 產出되는 스카른鑛物은 試錐코어 (93-3號孔)에서 確認한 것이기 때문에 스카른의 廣域的인 分布와 分帶, 鑛化作用과의 關係 및 鑛物組成의 變化등을 詳細히 觀察한다는 것은 不可能하였다. 93-3호공에서 着脈된 스카른型 鑛石과 鑛物들은 本坑水準의 90~160 m 下부와 320~410 m 下부이다. 前者를 構成하는 鑛石鑛物은 閃亞鉛石과 黃鐵石이 大部分이며 硫砒鐵石과 黃銅石, 磁硫鐵石, 方鉛石이 隨伴되나, 後者の 境遇는 磁鐵石과 磁硫鐵石이 主류를 이루며 赤鐵石, 黃鐵石, 閃亞鉛石, 硫砒鐵石, 黃銅石, 輝蒼鉛石, 自然蒼鉛 등이 產出된다.

스카른鑛物은 深部鑛體 (320~410 m)에서만 產出되며 이들의 大部分은 스카른帶와 鑛石鑛物帶의 互層을 이룬다 (Fig. 1, A, B, C). Mg-스카른鑛物의 種類는 콘드로다이트, 橄欖石, 蛇紋石, 滑石, 綠泥石, 金雲母 등이며 透輝石, 角閃石, 石榴石, 珪灰石 등의 Ca-스카른 鑛物이 少量 產出된다. 또한 鑛石과 스카른의 接觸部에는 燐灰石과, 마그네사이트, 돌로마이트, 菱鐵石 등의 碳酸鹽鑛物이 多量 產出

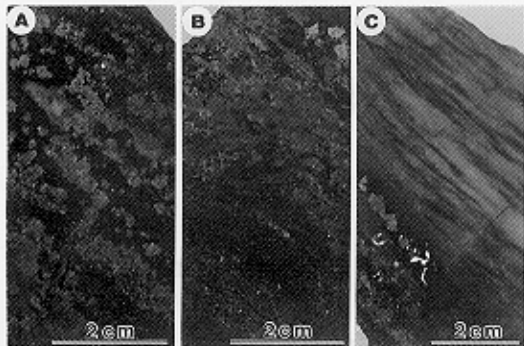


Fig. 1. Photographs of ore-slabs from boring-core (No. 93-3) from magnetite deposits of the Janggum mine. A; Alternative banded ore of pyrite and skarns as chondrodite, chlorite and clinopyroxene assemblages, B; Pyrrhotite and pyrite ore interbedded with clinopyroxene, C; Dolomitic limestone replaced by pyrite, pyrrhotite and chlorite assemblages.

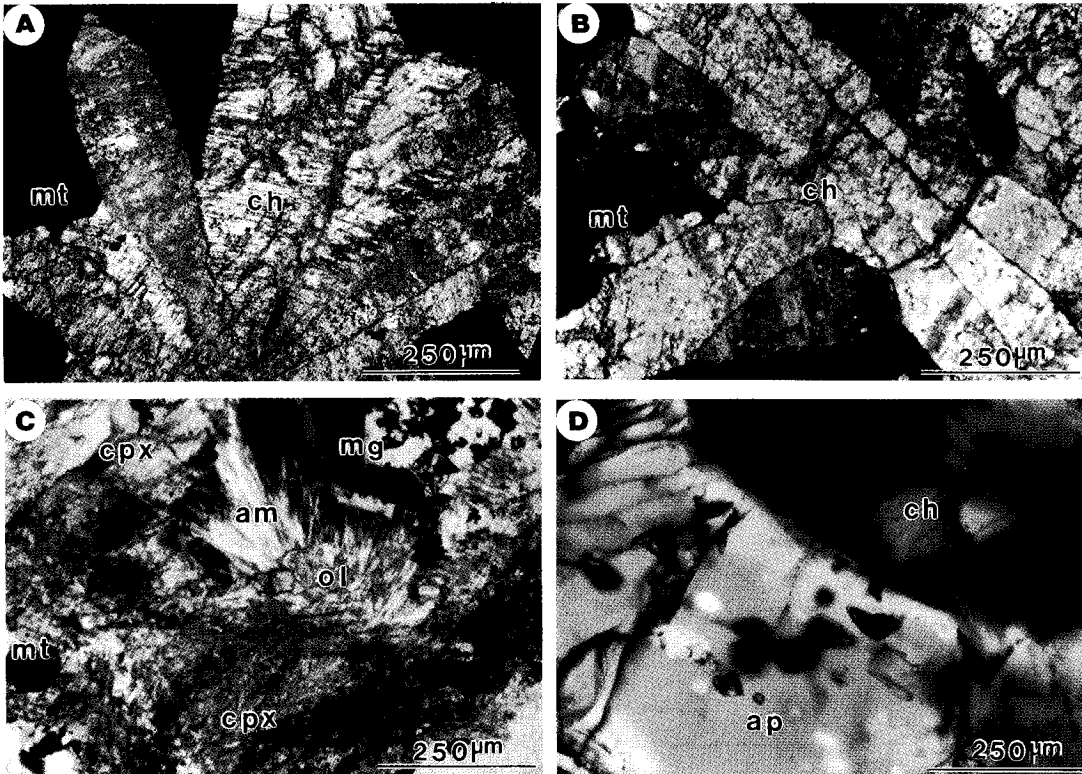


Fig. 2. Microphotographs of skarn minerals from magnetite deposits of the Janggum mine. A; Sub-radial type chondrodite coexisting magnetite. B; Twinning type chondrodite contact with magnetite. C; Magnesite replaced by olivine, clinopyroxene and amphibole assemblages. D; Apatite inclusion in chlorite. ch; chondrodite, mt; magnetite, cpx; clinopyroxene, mg; magnesite, am; amphibole, ol; olivine, ch; chlorite, ap; apatite.

된다. 上部鑛體의 母岩은 脫色變質되어 있어 주로 絹雲母 化作用을 받았으며 微量의 綠泥石이 産出될 뿐 스카른鑛物은 産出되지 않는다. 그러나 각 스카른대와 變質帶의 空間的인 分布狀態는 觀察이 不可能하였다.

콘드로다이트는 肉眼的으로 淡黃色 또는 黃褐色을 띠나 條痕色은 灰白色이며, 유리光澤을 갖는 柱狀의 形態로 産出된다. 이들의 크기는 0.5~2 mm 程度이며 몇개의 結晶들이 모여 球果狀 또는 放射狀 組織을 보인다 (Fig. 2, A). 顯微鏡下에서는 無色에서 淡黃色을 띠며 赤黃色 또는 褐色의 강한 多色性이 있고, 높은 屈折率과 干涉色을 보인다. 一部 結晶들은 聚片 또는 複合 雙晶을 보이며 (Fig. 2, B), 드물게는 累代組織을 갖기도 한다. 이 콘드로다이트는 磁鐵石, 磁硫鐵石, 돌로마이트, 綠泥石, 橄欖石, 透輝石 및 燐灰石과 共存한다. 또한 磁鐵石의 内部에 包有物狀으로 産出되는 것도 있으며 橄欖石을 包含하는 것도 觀察된다.

橄欖石은 粒狀의 自形結晶을 가지고 淡黃色을 띠나 條

痕色은 白色이다. 粒子의 크기는 보통 0.5 mm 정도의 크기를 보이며 顯微鏡下에서는 無色 또는 淡黃色을 띠고, 黃色 내지 褐色의 多色性을 보이는 境遇가 많으며 높은 屈折率을 보인다 (Fig. 2, C). 이는 透輝石, 角閃石, 마그네사이트와 共存하는 것이 있으나, 大部分은 콘드로다이트, 蛇紋石, 滑石으로 交代되어 있어 原形을 識別하기가 困難할 정도이다.

綠泥石은 1~2 cm의 패치 (patch)를 이루어 磁鐵石과 共存하는 것이 大部分이며, 一部는 透輝石 또는 角閃石과 共生한다. 이 鑛物도 蛇紋石과 滑石에 의하여 交代되어 있으며, 内部에는 包有物狀의 燐灰石을 多量 含有한다 (Fig. 2, D). 蛇紋石과 滑石은 콘드로다이트, 橄欖石, 綠泥石과 共存하는 것도 있으나, 大部分은 Mg가 豊富한 이 鑛物들의 劈開面과 粒子境界를 따라 交代하고 있는 것으로 보아 變質過程에서 生成된 것이 많음을 알 수 있다. 金雲母는 진한 綠色을 띠며 板狀의 形態로 産出된다. 顯微鏡下에서는 石榴石과 密接히 共生하며 粒子의 境界와 劈開

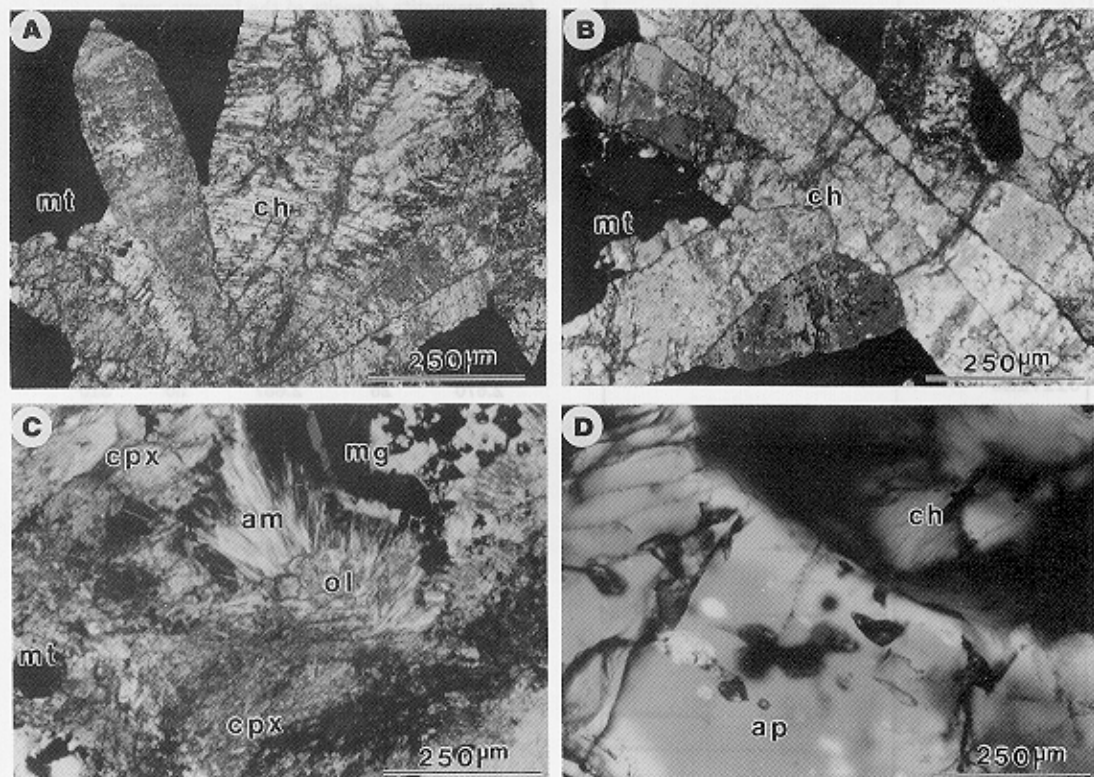


Fig. 2. Microphotographs of skarn minerals from magnetite deposits of the Janggun mine. A: Sub-radial type chondrodite coexisting magnetite. B: Twinning type chondrodite contact with magnetite, C: Magnesite replaced by olivine, clinopyroxene and amphibole assemblages, D: Apatite inclusion in chlorite. ch: chondrodite, mt: magnetite, cpx: clinopyroxene, mg: magnesite, am: amphibole, ol: olivine, ch: chlorite, ap: apatite.

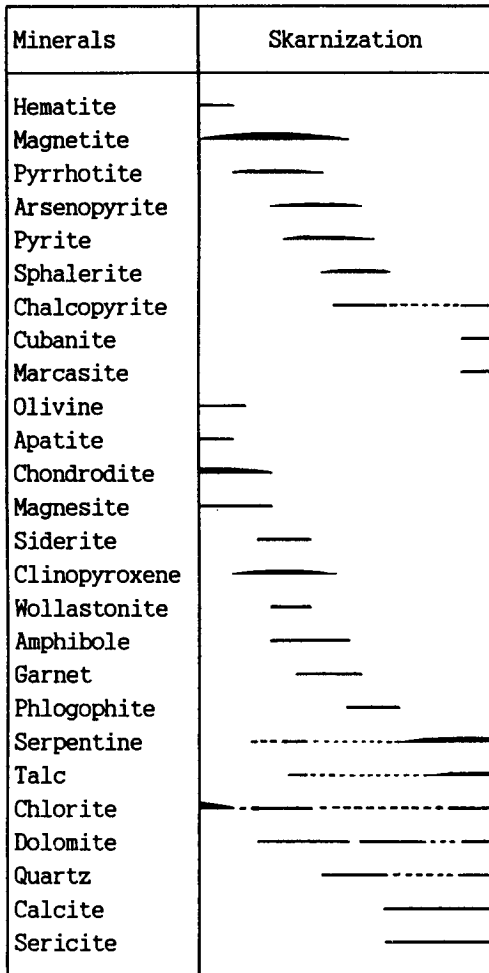


Fig. 3. Paragenetic sequence of skarn and ore minerals in skarn stage from magnetite deposits of the Janggun mine.

面들은 後期的 絹雲母와 滑石으로 交代되어 있다. 磷灰石은 磁鐵石과 돌로마이트의 境界와 內部, 또는 綠泥石의 內部에서 自形으로 産出되며, 一部는 肉眼觀察이 可能하나 大部分은 0.3 mm 미만이다.

透輝石과 角閃石은 진한 綠色을 띠며 劈開面이 잘 發達된 柱狀의 集合體를 이루어 産出된다 (Fig. 2, C). 珪灰石은 榴石과 共存하여 微量 産出된다. 石榴石은 0.2~0.5 mm 정도의 크기를 보이며 淡褐色의 自形結晶을 보인다. 顯微鏡下에서는 等方性을 보이며 一部는 累代組織을 가지며 金雲母와 共存한다. 마그네사이트와 菱鐵石은 돌로마이트질 母岩과 磁鐵石의 境界에서 産出되며, 一部는 Ca-스카른광물의 粒子境界에 晶出되어 있다 (Fig. 2, C). 磁鐵石과 磁硫鐵石의 境界, Mg-스카른과 Ca-스카른광물

Table 1. X-ray powder diffraction data of chondrodite from magnetite deposits of the Janggun mine.

	Janggun		JCPDS 12-527		
	dÅ	I/I'	dÅ	I/I'	hkl
Hematite	7.415	5	7.41	8	001
Magnetite	4.857	16	4.84	30	200, 20 $\bar{1}$
Pyrrhotite	3.994	7	3.99	14	011
Arsenopyrite	3.725	15	2.72	16	002
Pyrite	3.575	30	3.56	35	201, 20 $\bar{2}$
Sphalerite	3.482	13	3.48	25	111
Chalcopyrite	3.387	23	3.38	30	210, 21 $\bar{1}$
Cubanite	3.023	34	3.02	45	11 $\bar{2}$
Marcasite	2.846	6	2.847	12	211, 21 $\bar{2}$
Olivine	2.754	73	2.758	35	311
Apatite	2.670	26	2.667	30	310
Chondrodite	2.623	36	2.617	30	112
Magnesite	2.514	47	2.510	45	31 $\bar{2}$
Siderite	2.323	23	2.320	30	311
Clinopyroxene	2.290	31	2.288	35	11 $\bar{3}$
Wollastonite	2.259	100	2.258	100	212, 213
Amphibole	2.149	5	2.148	12	121
Garnet	2.109	28	2.108	9	401, 40 $\bar{3}$
Phlogophite	2.029	8	2.027	6	11 $\bar{2}$
Serpentine	2.025	8	2.019	6	113
Talc	1.944	7	1.964	6	203, 204
Chlorite	1.880	5	1.878	8	51 $\bar{1}$
Dolomite	1.836	3	1.839	4	322, 51 $\bar{2}$
Quartz	1.742	83	1.740	70	222, 22 $\bar{3}$
Calcite	1.694	10	1.692	10	422
Sericite	1.677	5	1.677	4	32 $\bar{3}$

의 境界 및 空隙에는 돌로마이트와 方解石이 共生群을 이루기도 한다. 또한 石英과 共生群을 이루어 磁鐵石 및 콘드로다이트내에 捕獲物로도 産出된다.

上述한 바와 같이 將軍鑛山의 磁鐵鑛床에서 産出되는 스카른鑛物들은 鑛化 初期에 磁鐵石, 磁硫鐵石 및 base-metal 硫化鑛物과 共生群을 이루어 콘드로다이트, 橄欖石, 綠泥石, 磷灰石, 마그네사이트, 돌로마이트, 菱鐵石들의 晶出이 있었으며, 後期로 가며 base-metal 黃化鑛物과 함께 透輝石, 石榴石, 角閃石, 珪灰石, 金雲母의 晶出이 있었다 (Fig. 3). 蛇紋石과 滑石은 早期의 晶出鑛物群과 共生하는 것도 있으나, 大部分은 Mg-스카른의 變質鑛物로 産出된다. 또한 末期에는 石英, 方解石과 함께 廣範圍한 絹雲母化作用의 重疊이 있었던 것으로 보인다.

X-線回折分析

將軍鑛山의 磁鐵鑛床에서 産出되는 콘드로다이트를 粉末法으로 X-線回折分析한 結果는 Table 1과 같다. 모든 回折線들은 JCPDS 12-755의 콘드로다이트와 同一한 값

을 보인다. 一般적으로 휴마이트군 鑛物의 結晶構造는 Mg₂SiO₄ (forsterite) 層과 Mg(OH,F)₂ (brucite) 層이 反復적으로 發達하는 層狀構造를 이루고 있으며, 이들의 排列方式에 따라 노버자이트 (norbergite), 콘드로다이트 (chondrodite), 휴마이트 (humite), 크리노휴마이트 (clinohumite)로 産出된다 (Taylor, West, 1928).

Table 2. X-ray powder diffraction data of magnesite from magnetite deposits of the Janggun mine.

Janggun		JCPDS 8-479		
dÅ	I/I'	dÅ	I/I'	hkl
3.269	8			
2.878	13			
2.745	100	2.742	100	104
2.509	9	2.503	18	006
2.340	4			
2.322	5	2.318	4	110
2.231	10			
2.107	72	2.102	45	113
1.941	11	1.939	12	022
1.773	4	1.769	4	024
1.705	37	1.700	35	116
1.511	2	1.510	4	211
1.489	6	1.488	6	122
1.373	3	1.371	4	208
1.354	3	1.354	8	119
1.338	8	1.338	8	300
1.252	4	1.252	4	012

휴마이트군 鑛物의 Mg와 Fe는 相互 置換固溶體를 形成하고 있으며, 노버자이트와 휴마이트는 正方晶系에 콘드로다이트와 크리노휴마이트는 單斜晶系에 屬한다. 콘드로다이트는 2個의 Mg₂SiO₄層 사이에 1개의 Mg(OH,F)₂層이 介在되어 單位胞를 形成하는 鑛物로서 粘土鑛物에서와 같이 混合層狀의 構造를 이루기도 하며 (Ribbe, 1982), 하나의 單位胞를 形成하는 C軸 方向의 底面間隔 (d₀₁₁)이 7.44Å 정도로 알려져 있다. 그러나 將軍鑛山の 콘드로다이트는 7.415Å으로 다소 작은 값을 보인다.

磁鐵鑛石과 돌로마이트질 母岩의 接觸部에서 産出되는 마그네사이트의 X-線回折分析 結果는 Table 2와 같다. 大部分의 回折線들은 JCPDS 8-479의 合成 마그네사이트와 同一한 값을 보이나 面指數가 정해져 있지 않은 3.269, 2.878, 2.340, 2.231Å의 값은 將軍鑛山에서 産出되는 것에서만 나타난다. 이는 不純物의 影響이라기 보다는 合成相과 天然相 사이의 差異일 可能性이 많은 것으로 보인다.

化學分析

電子顯微分析 (EPMA)에 의하여 콘드로다이트와 橄欖石, 綠泥石, 蛇紋石 및 碳酸鹽鑛物의 化學組成이 研究되었다 (Table 3, 4, 5). 一般적으로 콘드로다이트는 Mg ↔ Fe⁺²와 F ↔ (OH)의 置換反應이 있는 것으로 알려져 있음

Table 3. Chemical composition of chondrodite from magnetite deposits of the Janggun mine.

	Radial type						Twinning type					
	37.17	36.02	36.38	36.83	36.96	36.50	36.37	36.20	36.25	36.13	36.38	36.16
SiO ₂	37.17	36.02	36.38	36.83	36.96	36.50	36.37	36.20	36.25	36.13	36.38	36.16
Al ₂ O ₃	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	0.15	-	-	-	-	0.15	-	0.15	0.13	-	-	-
FeO*	3.23	3.57	2.47	1.23	2.08	1.84	4.68	4.71	5.15	6.08	5.19	4.63
MgO	57.82	56.73	58.07	57.76	58.76	58.66	56.18	55.86	55.02	55.56	55.48	55.85
CaO	-	0.07	0.11	-	-	-	-	0.11	-	0.19	-	0.26
MnO	0.25	0.25	0.12	0.13	0.24	0.25	0.36	-	0.15	0.46	0.34	0.26
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	0.35	-	0.44	0.45	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.13
Total	98.62	96.79	97.15	95.95	98.04	97.40	97.94	97.06	97.28	98.99	97.39	97.09
	Cations on the basis of 10=O											
Si	2.271	2.248	2.251	2.289	2.261	2.247	2.258	2.262	2.281	2.241	2.272	2.262
Al	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	0.007	-	-	-	-	0.007	-	0.007	0.006	-	-	-
Fe	0.165	0.186	0.128	0.064	0.106	0.095	0.243	0.246	0.269	0.315	0.271	0.242
Mg	5.266	5.281	5.357	5.352	5.359	5.384	5.201	5.205	5.123	5.139	5.167	5.210
Ca	-	0.005	0.007	-	-	-	-	0.007	-	0.013	-	0.004
Mn	0.013	0.013	0.006	0.007	0.012	0.013	0.019	-	0.008	0.024	0.018	0.014
Na	-	-	-	-	-	-	0.042	-	0.053	0.045	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	0.010

*; total FeO

Table 4. Chemical composition of olivine, chlorite and serpentine from magnetite deposits of the Janggun mine.

	Olivine			Chlorite				Serpentine			
SiO ₂	40.21	39.78	40.34	25.47	25.46	25.15	24.95	44.21	44.07	44.72	44.80
Al ₂ O ₃	-	-	-	20.74	20.58	20.18	29.83	0.18	0.40	0.46	0.16
TiO ₂	-	0.12	-	0.06	0.07	0.04	0.04	-	0.10	-	0.19
FeO*	2.25	1.21	2.45	28.57	28.31	28.09	27.59	2.15	2.17	2.32	1.77
MgO	58.26	59.18	57.37	13.41	13.56	13.73	13.58	39.06	39.21	39.02	40.12
CaO	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-
MnO	-	-	-	0.31	0.24	0.30	0.26	0.01	-	-	0.18
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0.05	-	0.04	-	0.17	-	0.12	-
Na ₂ O	-	-	-	-	0.02	-	-	-	0.42	-	0.31
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.72	100.49	100.16	88.61	88.24	87.53	86.25	85.94	86.37	86.64	87.53
	4 oxygen basis			28 oxygens basis				9 oxygen basis			
Si	0.936	0.924	0.939	5.406	5.420	5.405	5.027	2.115	2.099	2.127	2.106
Al ^(iv)	-	-	-	2.594	2.580	2.595	2.973	-	-	-	-
Al ^(vi)	-	-	-	2.236	2.585	2.517	2.218	0.001	0.011	0.013	0.005
Ti	-	0.002	-	0.010	0.010	0.006	0.007	-	0.002	-	0.006
Fe	0.044	0.023	0.048	5.071	5.040	5.049	5.027	0.086	0.086	0.092	0.069
Mg	2.021	0.049	2.016	4.243	4.304	4.398	4.408	2.783	2.783	2.765	2.807
Ca	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
Mn	-	-	-	0.055	0.004	0.054	0.048	0.004	-	-	0.008
Cr	-	-	-	0.009	-	0.006	-	0.003	-	0.023	-
Na	-	-	-	-	0.007	-	-	-	0.010	-	0.011
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*: total FeO

Table 5. Chemical composition of carbonate minerals from magnetite deposits of the Janggun mine.

	Calcite			Dolomite		Magnesite		Siderite			
SiO ₂	0.12	-	-	0.36	0.56	1.08	0.02	0.25	0.49	0.13	0.52
TiO ₂	0.01	-	0.03	-	0.16	-	0.17	-	0.10	0.08	0.68
FeO*	0.04	0.42	0.54	0.96	0.82	2.89	3.48	6.32	35.57	33.57	53.65
MnO	0.42	0.78	0.62	0.46	0.83	4.28	3.29	2.85	4.52	4.52	0.16
MgO	1.43	2.48	1.86	20.55	20.43	40.71	41.08	40.57	15.65	15.65	1.35
CaO	52.17	51.17	51.75	29.61	29.61	0.33	0.78	1.06	0.37	0.37	-
Total	54.19	54.19	54.80	52.41	52.41	49.29	48.82	51.05	54.32	54.32	56.36
X _{Fe}	0.001	0.006	0.007	0.010	0.009	0.029	0.034	0.061	0.498	0.449	0.943
X _{Mn}	0.006	0.010	0.008	0.005	0.009	0.042	0.033	0.028	0.102	0.062	0.003
X _{Mg}	0.043	0.073	0.055	0.527	0.523	0.924	0.923	0.897	0.370	0.482	0.054
X _{Ca}	0.950	0.911	0.930	0.458	0.459	0.005	0.010	0.014	0.030	0.007	0.000

*: total FeO

며, Mg ↔ Fe⁺²의 置換은 橄欖石의 境遇와 같이 完全하게 이루어 지지 못하고 10.54 wt% 정도까지 置換할 수 있다고 한다 (Deer *et al.*, 1962). 그러나 將軍鑛山의 磁鐵鑛末에서 産出되는 콘드로다이트의 FeO 含量은 1.23~6.08 wt% 정도이다. 또한 聚片雙晶을 이루는 雙晶型 콘드로다이트에서는 MgO; 55.02~56.18 wt%, FeO; 4.63~6.08 wt%의 含量을 보이며, 雙晶의 發達이 없는 放射狀 콘드로다이트는 MgO; 56.73~58.76 wt%, FeO; 1.23~3.57 wt%의 組成置를 보인다. 이들의 (Fe + Mn)/(Mg + Fe

+ Mn) 비를 보면 前者의 境遇는 0.015~0.062 이나, 後者は 0.013~0.036 이다.

콘드로다이트의 化學式은 Mg(OH, F)₂ · 2Mg₂SiO₄로 표시하고 있으나 항상 完全한 스토이키오메트리 (stoichiometry)를 이루지 못하고 組成上의 偏差를 보이는 것으로 잘 알려져 있다 (Deer *et al.*, 1962). 이는 콘드로다이트가 混合層狀構造를 形成하기 때문인 것으로 說明되고 있다 (Muller, Wenk, 1978; Ribbe, 1982). 將軍鑛山의 콘드로다이트는 兩者 모두 스토이키오메트리와는

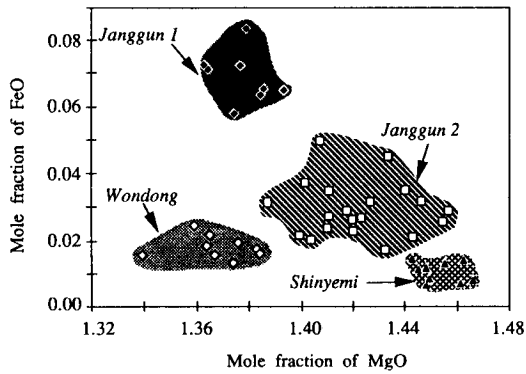


Fig. 4. Plotted diagram showing mole fraction of FeO versus MgO for chondrodite from magnetite deposits of the Janggun mine. Wondong; composition of chondrodite from the Wondong mine (Kim *et al.*, 1988), Shinyemi; composition of chondrodite from the Shinyemi mine (Yang, 1991), Janggun 1; composition of twinning-type radial-type chondrodite.

차이가 있는 것으로 보아, 이 鑛物의 格子内에는 다른 휴마이트군의 鑛物이 混合層狀으로 介在되어 있음을 시사하는 것으로 보인다. 휴마이트군의 鑛物에는 TiO₂ (최대 5.4 wt%)가 MgO를 置換할 수 있다고 하나 (Deer *et al.*, 1962), 將軍鑛床에서 産出되는 콘드로다이트의 TiO₂ 含量은 약 0.15 wt%로서 상당히 낮다. 또한 院洞鑛山 및 新禮美鑛山에서 産出되는 것에 비하여 將軍鑛山の 콘드로다이트는 FeO의 含量이 越等히 높으며 (Fig. 4), 雙晶型 콘드로다이트에서는 FeO와 MnO의 含量이 높은 것으로 보아 雙晶의 生成은 Mg ↔ (Fe + Mn)의 置換과 密接한 關聯이 있는 것이 確實하다.

콘드로다이트와 共存하는 橄欖石의 組成은 Table 4와 같이 높은 MgO (57.37~59.18 wt%)와 낮은 FeO (1.21~2.45 wt%)로 보아 거의 純粹한 포스테라이트 (forsterite)에 該當된다. 綠泥石에는 27.59~28.57 wt%의 FeO와 13.41~13.58 wt%의 MgO가 包含되어 (Table 4) 있어, Hey (1954)의 綠泥石 分類表에 表記하면 典型的인 리피도라이트 (ripidolite) 領域에 圖示된다. 또한 蛇紋石의 化學組成은 FeO; 1.77~2.31 wt%와 MgO; 39.02~40.12 wt%이다.

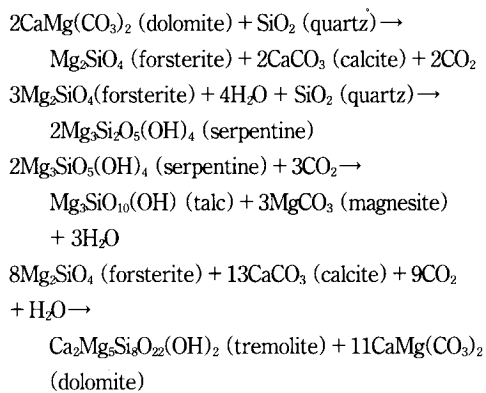
이 磁鐵鑛床에서 産出되는 炭酸鹽鑛物의 組成範圍는 Table 5와 같다. 方解石에는 微量의 FeO (0.04~0.54 wt%), MnO (0.42~0.78 wt%), MgO (1.43~2.48 wt%)가 包含되어 있으며 돌로마이트에는 20.43~20.55 wt%의 MgO와 微量의 FeO (0.82~0.96 wt%), MnO (0.46~0.83 wt%)가 包含되어 있다. 마그네사이트내 MgO의 組成範

圍는 40.57~41.08 wt%이며, 少量의 MnO (2.85~4.28 wt%)와 FeO (2.89~6.32 wt%)가 包含되어 있다. 菱鐵石의 FeO 組成範圍는 33.57~53.65 wt%로서 상당히 넓으며 MnO (0.16~7.23 wt%)와 MgO (1.35~15.65 wt%) 또한 넓은 組成範圍를 보인다.

討議 및 結言

前述한 바와 같이 將軍鑛山の 磁鐵鑛床에는 鑛石鑛物과 함께 多量의 Mg-스카른과 Ca-스카른, 多量의 Mg-Fe 炭酸鹽鑛物이 産出된다. 南韓에서 報告된 代表的인 Mg-스카른형의 鑛床은 太白山 鑛化帶의 院洞 및 新禮美鑛山에 있는 磁鐵鑛床이다 (金洙鎭, 1988; Yang, 1991). 院洞鑛山에서 産出되는 콘드로다이트는 鑛化 初期의 磁鐵石에 隨伴되어 金雲母, 透輝石 및 榴石과 共存하며, 新禮美鑛山の 콘드로다이트는 磁鐵石의 鑛化時期에 生成된 橄欖石과 共存한다고 한다. 이들은 酸性 火成岩類와 돌로마이트질 岩石 (莫洞石灰岩層)이 접하는 곳에서 外成스카른의 形態로 産出되는 것으로 鑛物의 主成分元素인 Mg는 母岩에서 供給되었을 것으로 보인다. 將軍鑛山の 磁鐵鑛體는 春陽花崗岩과 돌로마이트질 將軍石灰岩의 接觸部에 發達하고 있어 스카른화 作用과 春陽花崗岩은 空間적으로 密接한 關係를 가지고 있다. 또한 春陽花崗岩體의 内部에 發達하는 裂隙을 따라 鑛石이 胚胎되어 있으며 鑛體 周邊의 花崗岩은 綠泥石化 및 絹雲母化 作用이 있었던 것으로 보아 鑛化時期는 春陽花崗岩體의 貫入時期 보다 後期일 것으로 보인다.

將軍鑛山 磁鐵鑛床에서 産出되는 스카른鑛物에는 콘드로다이트-橄欖石-磁鐵石, 橄欖石-마그네사이트-蛇紋石-滑石, 透輝石-角閃石-마그네사이트-方解石등이 共生群을 이룬다. 위 鑛物의 共生群과 化學組成 및 熱力學的 資料로 부터 磁鐵鑛床의 스카른화 作用에 따른 Mg-스카른鑛物이 生成될 수 있는 反應式을 만들어 보면 아래와 같다.



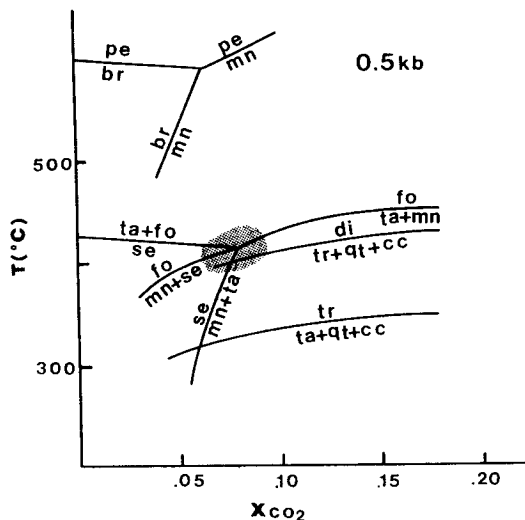
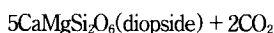
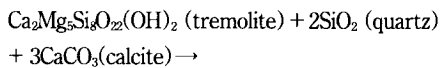


Fig. 5. Diagram of temperature and mole fraction of CO_2 showing the possible ranges at dotted area suggested by mineral assemblages and thermodynamic considerations from skarn minerals in magnetite deposits of the Janggung mine. The curves of $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ and $\text{MgO-CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ systems are modified from Harris, Einaudi (1982). pe; periclase, br; brucite, mn; magnesite, fo; forsterite, di; diopside, ta; talc, se; serpentine, tr; tremolite, qt; quartz, cc; calcite.



이 반응식을根據로 $\text{MgO-CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ 및 $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ 의 相關圖에 (Harris, Einaudi, 1982) 適用하여 스카른 生成期의 溫度와 CO_2 몰분율 (mole fraction, X_{CO_2})을 구하면 각각 395~430°C, 0.06~0.09의 範圍가 된다 (Fig. 5).

磁鐵礦床의 스카른礦物과 共存하는 鑛石鑛物에는 磁鐵石-磁硫鐵石-黃鐵石, 磁硫鐵石-黃鐵石-閃亞鉛石-硫砷鐵石, 黃鐵石-磁硫鐵石-黃銅石-큐바나이트의 共生群이 있다. 여기에 設定된 鑛物共生群과 化學組成 및 熱力學的 資料를 가지고 鑛化作用 當時의 溫度와 硫黃分壓 ($-\log f_{\text{S}_2}$)을 推定하면 345~382°C, 8.1~9.7 atm의 範圍이다. 또한 磁鐵石-磁硫鐵石-黃鐵石의 共生群을 利用하여 推定한 pH와 酸素分壓 ($-\log f_{\text{O}_2}$)은 6.5~7.2와 30.5~31.2 atm 이었다 (李鉉具外, 1996; Fig. 6). 한편 院洞 및 新禮美鑛山에서 보고된 Mg-스카른의 生成溫度는 각각 420~550°C (院洞鑛山)와 440~550°C (新禮美鑛山)로서 高溫에서 生成되었음을 알 수 있다 (張浩完, 張秉郁, 1992; Yang, 1991). 이때의 CO_2 몰분율 (0.1 미만)은 共通의 範圍으로 낮았던 것으로 알려져 있

다.

將軍鑛山에 관한 既存의 研究에서는 鑛化作用과 關係 있는 스카른의 產出이 報告된 바 없으나, 이 研究에서 밝혀진 바와 같이 磁鐵礦床에서는 典型的인 Mg-스카른형에 屬하는 鑛物이 많이 產出된다. 이는 鑛床의 垂直的 帶狀 分布를 연상케하는 證據가 될 수 있으며, 將軍鑛山에서 產出되는 多量의 鑛物들의 成因研究에 새로운 解析을 가 할수 있는 資料가 될 것이다. 이를 具體的으로 證明하기 위하여 스카른 및 鑛石鑛物을 形成한 鑛化流體의 起源 및 進化에 관한 研究가 進行中이다.

謝 辭

이 研究는 韓國科學財團 後援 戰略鑛物資源研究센터의 支援으로 遂行되었다. 原稿의 未備點에 關하여 細心한 指摘과 建設的인 批評을 하여주시신 高麗大學校의 崔善奎教授님과, 일부 鑛物의 定量分析에 도움을 주신 韓國資源研究所의 梁東潤博士께 感謝한다. 또한 野外調査, 試料處理 및 分析을 도이준 忠南大學校 地質學科의 金尙中碩士, 庚鳳哲碩士, 郭昌根 및 李鍾昌學士에게도 깊이 感謝한다.

參考文獻

- 金洙眞, 魯振煥, 李洋洛 (1988) 院洞鑛山의 鐵鑛石에 隨伴되는 콘드로다이트에 대한 鑛物學的 研究. 韓國鑛物學會誌, 1권, p. 63-69.
- 金玉準, 洪萬燮, 金起泰, 朴喜寅 (1962) 1/50,000 三千里 地質圖幅. 國立地質調查所.
- 安建尙, 李鉉具 (1995) 慶北 奉花郡에 分布하는 壯山珪岩層의 岩石學的 및 地化學的 研究. 資源環境地質, 28권, p. 43-51.
- 李大聲 (1967) 將軍 망간鑛床의 地質과 鑛床. 地質學會誌, 3권, p. 51-59.
- 李鉉具 (1980) 韓國 將軍鑛山 複合硫化物, 硫鹽鑛石의 鑛床學的 및 鑛物學的 研究. 日本 早稻田大學 博士學位論文 (日語), 329p.
- 李鉉具, 高錫濤, 金正直哉 (1990) 將軍鑛山의 鉛, 亞鉛, 銀 및 鐵鑛床의 成因과 地質構造와의 關係-鑛床生成의 地質構造 規制와 母岩의 變質. 鑛山地質, 23권, p. 161-181.
- 李鉉具, 李讚熙, 宋錫煥 (1996) 將軍鑛山 磁鐵石鑛床에서 產出되는 鑛石鑛物과 生成環境. 資源環境地質, 29권, p. 1-9.
- 張浩完, 張秉郁 (1992) 院洞 Fe-Pb-Zn 스카른鑛床의 物理化學的 特徵. 鑛山地質, 25권, p. 1-16.
- 黃仁典 (1968) 三韓將軍鑛山 調查報文. 鑛山地質, 1권, p. 9-30.
- Aoki, K., Fujino, K. and Akaogi, M. (1976) Titano-chondrodite and titano-clinohumite derived from upper mantle in the Buell Park Kimberlite, Arizona. *Miner. Petrol.*, v. 56, p. 243-253.
- Deer, W.A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1962) *Rock-forming minerals*. v. 1, Ortho- and ring-silicates, and v. 5, Non-silicates, Longmans, Green and Co. Ltd.
- Harris, N. B. and Einaudi, M. T. (1982) Skarn deposits

- in the Yerington district, Nevada: Metasomatic skarn zinc evolution near Ludwig. *Econ. Geol.*, v. 77, p. 877-898.
- Hey, M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Min. Mag.*, v. 30, p. 277-292.
- Imai, N. and Lee, H.K. (1980) Complex sulphide-sulphosalt ores from the Janggun mine, Republic of Korea. Proceedings of the International Conference on Complex Sulphide Ores, held in Rome on Oct. 5-8th, 1980, Austin and Sons Ltd., Caxton Hill, Hertford in England, p. 248-259.
- Imai, N., Lee, H. H. and Machida, M. (1980) Vanadium-bearing mica from the Jangsan quartzite in the Janggun mine area, Republic of Korea. *Clay Sci.*, v. 5, p. 221-236.
- Kim, S. J. (1970) Mineralogy and genesis of the manganese ores from Janggun mine, Korea. *Jour. Geol. Soc. Kor.*, v. 6, p. 135-186.
- Kim, S.J. (1979) The stratabound manganese carbonate deposits of the Janggun mine area, Korea. *Monograph Series on Mineral Deposits*, No. 18. 78p.
- Muller, F. W. and Wenk, H. R. (1978) Mixed-layer characteristics in real humite structures. *Acta Crystallogr.*, v. 34, p. 607-609.
- Nielsen, T. F. D. and Johnsen, O. (1978) Titaniferous clinohumite from Gardiner Plateau Complex, East Greenland. *Miner. Mag.*, v. 42, p. 99-101.
- Ribbe, P. H. (1982) The humite series and Mn-analogs. *Rev. in min.*, v. 5, p. 231-274.
- Taylor, W. H. and West, J. (1928) The crystal structure of the chondrodite series. *Proc. Roy. Soc.*, v. 117, p. 517-532.
- Yang, D. Y. (1991) Mineralogy, petrology and geochemistry of the magnesian skarn-type magnetite deposits at the Shinyemi mine, Republic of Korea. Ph. D. thesis, Waseda Univ., Japan, 323p.
- Watanabe, T. (1939) Kotoit, ein neues gesteinsbildenes Magnesiumborat. *Min. U. Pet. Mitt. Bd.*, v. 50, p. 441-463.
- Watanabe, T. (1943) Geology and mineralization of the Suian district, Tyosen (Korea). *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Imperial Univ., Ser.*, 4, 6, 205p.

1995년 11월 25일 원고접수