

蔚山 鐵·重石 鑛床의 成因

朴 箕 和* 朴 喜 寅**

On the Genesis of Ulsan Iron-Tungsten Deposits

Ki Hwa Park and Hee-In Park

Abstract: The Ulsan mine is one of the largest contact metasomatic magnetite and scheelite deposits in the southeastern part of Korea. Mineralization at the Ulsan mine is localized along the contact between upper Cretaceous volcanic rocks and age unknown limestone which were intruded by 58 m. y.-old biotite-hornblende granite.

General zonal sequence of skarn toward crystalline limestone from limestone-volcanics contact is grandite, grandite-salite and salite zones. On the otherhand volcanics origin skarns exhibits zonal sequences toward hornfels from boundary with limestone is garnet, garnet-epidote, and epidote zone. Compositions of garnets and clinopyroxenes are determined by the X-ray diffraction and reflective indices. Local brecciation of these early skarns were followed by formation of the later skarn as zoned patches, breccia fillings and cross-cutting veins. Paragenetic sequence of late skarn minerals which is exhibited in the zoned patches and veins is an overlapping progression with time from andradite through hedenbergite or actinolite, quartz to calcite deposition.

Magnetite metallization followed early formed skarns and pyrite pyrrhoite, sphalerite, galena, tennantite, scheelite and arsenopyrite deposition were simultaneously with hedenbergite, quartz and calcite of late skarn.

Filling temperatures of fluid inclusions in calcites range from 160° to 280°C.

I. 序 言

蔚山鑛山은 蔚山市에서 北東쪽으로 約 15km 떨어진 蔚州郡 農所面 達川里에 있으며 大韓鐵鑛株式會社에 의하여 1979年度에 磁鐵鑛(60% Fe); 480,000t, 灰重石鑛(74% WO₃)60t, 硫砒鐵鑛; 1200t을 生産하고 있다.

이鑛山の 地質鑛床에 對하여는 黃仁典(1963)이 報告한바 있고 蔚山圖幅의 地質圖(1/50,000)는 朴揚大外(1968)에 의하여 作成되었다. 이鑛山の 磁鐵石鑛床은 所謂 朝鮮系의 結晶質石灰岩과 이를 貫入한 白堊紀末의 花崗岩과의 接觸部 가까이에 胚胎된 스카른型의 鑛床으로 알려져왔다(黃, 1963; 朴等, 1968). 이 地域에 小規模로 露出된 結晶質石灰岩이 朝鮮系大石灰岩統에

屬하는 것으로 慶尙系地層의 基盤을 이루는 것이 라면 이 基盤岩은 蔚山-慶州間斷層(金鍾煥等, 1976; 崔光善等, 1977)에 依하여 이 地域에 露出되었을 可能性이 있다. 따라서 이 地域에 分布하는 慶尙系地層의 下部에는 두꺼운 石灰岩層이 넓게 分布하여 있을 可能性이 있고 이 石灰岩과 白堊紀末의 花崗岩體와의 接觸部에는 스카른型의 鑛床이 形成되어 潛在할수도 있는 것이다. 그러므로 이鑛山の 地質과 鑛床을 研究한다는 것은 鑛床學的側面에서는 勿論 鑛物資源開發의 側面에서도 重要한 일이다.

이 研究는 이鑛山の 磁鐵石·灰重石鑛床을 主對象으로하여 鑛山周邊의 地質과 함께 特히 鑛床이 胚胎된 母岩을 檢討하여 母岩의 種類에 따른 스카른의 性質과 鑛床生成環境의 一端을 考察하였다.

1976년부터 1977年사이에 實施된 現地調査時

*資源開發研究所 金屬鑛床研究室

**서울大學校 自然大·地質學科

여러가지로 協助하여 주신 大韓鐵鑛·蔚山鑛業所의 當時 洪容均所長과 그 밖의 여러분께 深甚한 謝意를 表한다.

II. 地 質

이 地域의 廣域地質에 對하여는 蔚山地質圖幅 說明書(朴等, 1968)에 詳細하게 記載되어있고 鑛山附近의 地質에 對하여는 筆者中の 하나인 朴喜寅外(1977)에 依하여 報告된바 있어 여기서는 廣域地質의 概要와 함께 鑛床과 密接한 關係를 갖는 地質에 對하여 詳述하고자 한다.

이 地域의 地質系統을 模式的으로 表示하면 다음과 같다.

- | | |
|-------|----------------|
| 第 4 紀 | 沖積層 |
| | —— 不整合 —— |
| 第 3 紀 | { 鹽基性脈岩 |
| | { —— 貫入 —— |
| | { 黑雲母·角閃石花崗岩 |
| | { —— 貫入 —— |
| 時代未詳 | 閃綠岩質岩 |
| | —— 貫入 —— |
| 白 堊 紀 | { 火山岩 및 火山碎屑岩類 |
| | { —— 貫入·噴出 —— |
| | { 蔚山層 |
| | —— 關係未詳 —— |
| 時代未詳 | { 蛇紋岩 |
| | { —— 關係未詳 —— |
| | { 石灰岩 |

石灰岩은 蔚山地質圖幅에서는 大石灰統에 屬하는 것으로 記載되어 있다. 이는 慶尙系地層中에는 두꺼운 石灰岩이 發達된 것이 아직 報告된 바 없고 鑛山附近에 露出된 石灰岩이 結晶質石灰岩이라는 點에서 推定된 것으로 보인다. 이 石灰岩은 鑛床의 母岩을 이루며 鑛床 附近에 小規模로 露出되어 있을 뿐이다. 鑛山의 西쪽과 北西쪽의 火山岩類 分布地域에서 實施한 試錐 結果에 依하면 火山岩類 下部에 두꺼운 灰色細粒質石灰岩이 發達되어 있음이 確認되었다. 이 中 鑛山 北西쪽 260m 地點(Fig. 2)에서 實施된 試錐의 코아中 灰色細粒質石灰岩에서 海綿과 軟體動物中

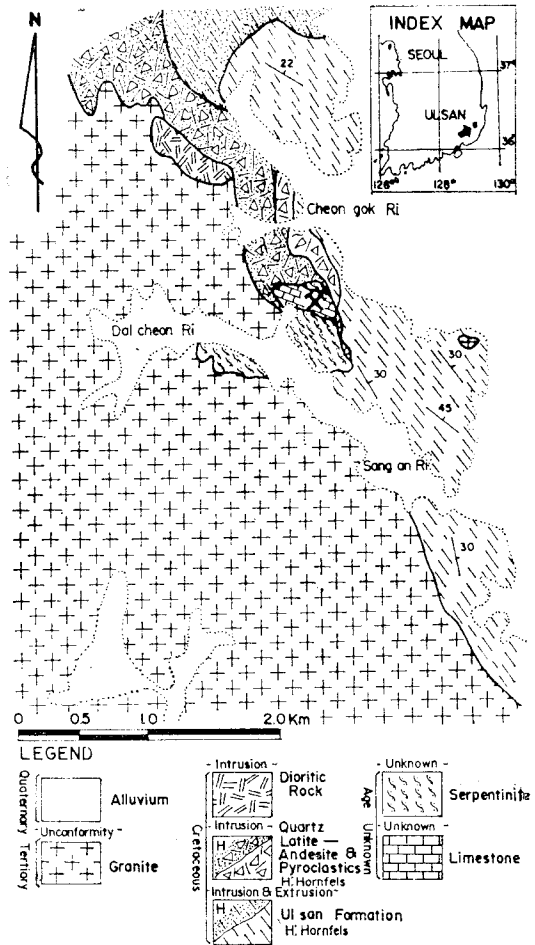


Fig. 1 Geologic map of Ulsan mine area

腹足數의 化石이 發見되어 微古生物學的研究가 進行中이다. 現時點에서 이 石灰岩의 時代에 對하여는 未詳하나 鑛山附近의 白色結晶質 石灰岩은 위에 말한 灰色細粒質石灰岩이 鑛化作用에 隨伴된 變質作用으로 再結晶된 것임은 分明하다. 이 石灰岩과 蔚山層과의 關係는 未詳하다.

蛇紋岩은 鑛床의 南側과 北側에 分布하며 黑雲母角閃石花崗岩에 依하여 貫入되어 있다. 이 蛇紋岩體의 根源岩과 成因에 對하여는 이번 研究에서는 檢討되지 않았다.

蔚山層은 蔚山과 方魚津圖幅調查者에 依하여 命名된 것이나 隣接하는 彦陽, 毛良圖幅에서는 이層은 大邱層으로 表示되어있다. 章基弘(1975, 1977)은 大邱層을 咸安層, 半夜月層 및 松內洞

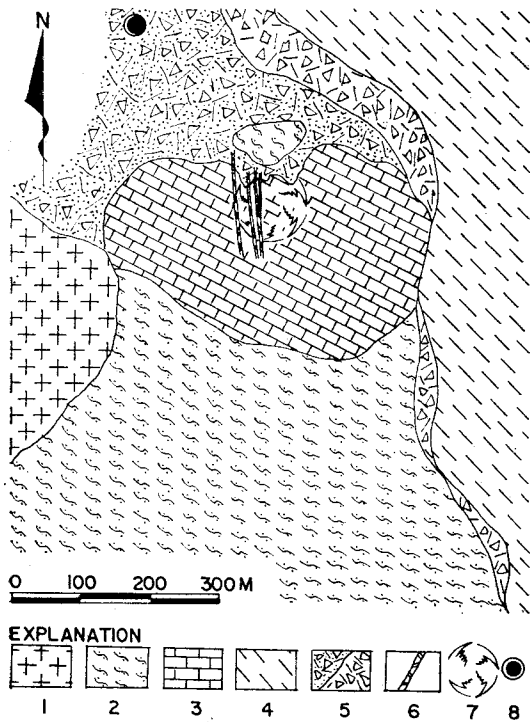


Fig. 2 Geologic map of open-pit area, Ulsan mine.

1. granite
2. serpentinite
3. limestone
4. Ulsan, formation
5. hornfels, quartz latite-andesite
6. basic dike
7. open pit
8. boring site

層으로 細分하고 있으나蔚山鑛山附近的蔚山層이 위의 어느層에 對比될런지는 不明하다. 이層은鑛山の東쪽에 廣範하게 分布하며 後述하는 火山岩類와 花崗岩類에 依하여 貫入되어 있다. 岩石은 主로 赤色砂岩과 泥岩으로 構成되어 있으나 一部 凝灰質砂岩과 礫岩이 挾在한다. 蔚山層을 構成하는 岩石들은 花崗岩類와의 接觸部에서 廣範하게 호온펠스化되어 있다.

火山岩類는 蔚山地質圖幅에 있어 鑛山에서 泉谷里附近에 걸쳐 分布하는 호온펠스로 表示된 岩石들이다. 蔚山地質圖幅에서는 이를 蔚山層이 호온펠스化된 것으로 表示되어 있다. 이 火山岩類는 石灰岩과 蔚山層의 堆積岩을 貫入하고 있다. 이 岩類는 石英래타이트-安山岩(quartz lat

ite-andesite)과 同質의 火山碎屑岩으로 되어 있다. 火山碎屑岩은 石英片과 함께 砂岩, 石英安山岩, 安山岩質岩, 그레이웍커 및 珪岩 등의 岩片을 包含하고 있어 岩質이 多樣하다. 이 火山碎屑岩은 花崗岩類와의 接觸部近處에서 호온펠스化되어 少量의 綠簾石·電氣石等과 함께 微細한 黑雲母片의 集合으로 된 點紋(spot)이 形成되어 있다. 石英래타이트-安山岩은 肉眼으로 보아 세일과 비슷하다. 이 岩石을 着色實驗하여 鑛物組成을 求한 結果는 table 1과 같다. 斜長石, 石英, 正長石의 平均含量比는 74.3 : 14.0 : 12.4이다. 이 資料를 Streckeisen(1967)¹⁾의 Q-Kf-Pl圖 (Fig. 3)에 넣어 보면 石英래타이트-安山岩의 領域에 屬한다. 이 岩石中의 斜長石을 Bambaur²⁾(1967)가 提示한 方法으로 An成分을 求한 結果는 18±3% An이다.

閃綠岩質岩은 上述한 火山岩類를 貫入하고 黑雲母·角閃石花崗岩에 依하여 貫入되어 있다. 構成鑛物은 斜長石과 角閃石을 主로하고 少量의 石英, 저어콘, 綠簾石 및 綠泥石을 隨伴한다. 斜長石, 角閃石, 石英의 含量比는 69.7 : 21.1 : 4.7이고 斜長石의 An成分은 18~23%이다 (Table 1, Fig. 3).

黑雲母·角閃石花崗岩은 鑛山の 西部에 分布하며 上述한 모든 岩石을 貫入하고 있다. 李倫鍾(1975)은 이 花崗岩體中 加大里西南方 3km 地點(鑛山西南方 約 10km)의 岩石을 角閃石·黑雲母花崗閃綠岩이라 記載하고 이 岩石中 黑雲母의 K-Ar 年令을 58m. y.로 報告한 바 있다. 이 岩石은 岩體 緣邊部에서 細粒—中粒質로 斑狀組織을 갖이나 岩體 中心部로 가며 等粒狀組織을 갖는다. 이 花崗岩은 岩體 緣邊部에서 마이아를 리틱組織을 갖기도 한다. 이 岩石의 構成鑛物은 石英, 正長石, 斜長石을 主로하고 少量의 黑雲母 角閃石, 저어콘 및 磁鐵石等이다. 斑狀花崗岩의 斑晶은 오리코크레이스(An13~18)로서 累帶構造를 보인다. 石基中에는 石英과 正長石의 微文象組織이 顯著하다. 磁鐵石은 一部 마아타이트化 되어 있다(Photo. 1). 着色實驗하여 얻은 이 岩石의 鑛物組成은 table 1과 같고 이 資料를

1) Hyndman, D. W. (1972) · Petrology of Igneous and Metamorphic rocks. p. 34, 35.

2) Hutchison, C. S. (1974) Laboratory Handbook of Petrographic Technique. p. 197~264.

Tab 1. Modal composition of igneous rock

Rock Name	Biotite-Hornblende Granite										Dioritic Rock		Quartz latite -Andesite		
	1-1	1-4	1-5	1-6	29-1	29-7	30-4	31-5	31-6	A3	31-2	31-3	26-6	26-8	3-3
Quartz	24.15	22.50	16.65	23.70	28.30	22.00	23.60	17.98	20.75	27.12	3.30	6.07	11.80	17.81	12.24
K-feldspar	60.82	57.58	59.77	53.47	44.28	57.16	53.32	59.82	54.91	36.54			12.10	12.80	9.19
Plagioclase	14.25	18.95	19.70	17.45	24.80	17.58	14.83	20.28	18.95	33.70	71.75	67.48	75.60	69.00	78.24
Biotite	0.25	1.23	2.62	2.54	1.24	2.30	8.08	0.63	4.60	1.87					
Hornblende	0.01			1.03	0.03		0.14	0.06	0.19		19.73	22.42			
Fe Ores	0.53	0.19	1.06	1.80	0.35	0.96	0.03	1.23	1.10	0.76	0.28	0.16	0.50	0.40	0.28
Zircon			0.01	0.01											
Epidote										0.01					
Chlorite											0.10	0.10			
Q+Kf+Pl	99.24	98.66	96.12	94.62	97.38	96.74	91.75	98.08	94.11	97.36	75.05	73.55	99.50	99.60	99.72
C. I	0.79	1.42	3.69	5.38	1.62	3.26	8.08	1.92	5.89	2.63	24.82	26.48	0.50	0.40	0.28

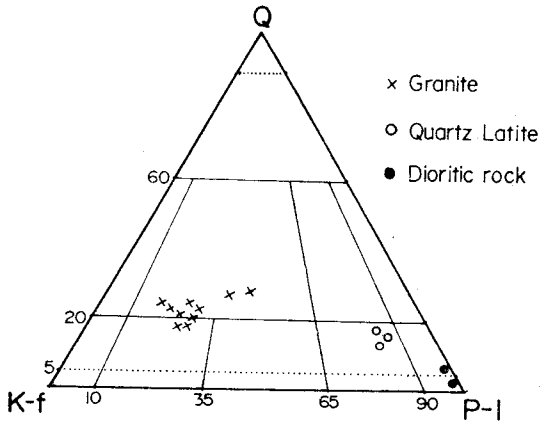


Fig. 3 Mode Q-Kf-Pl diagram

Strecheisen(1967)의 Qt-Kf-Pl 圖에 表示하면 大部分이 花崗岩에 屬하나 一部는 石英閃長岩의 領域에 걸친다(Fig. 3).

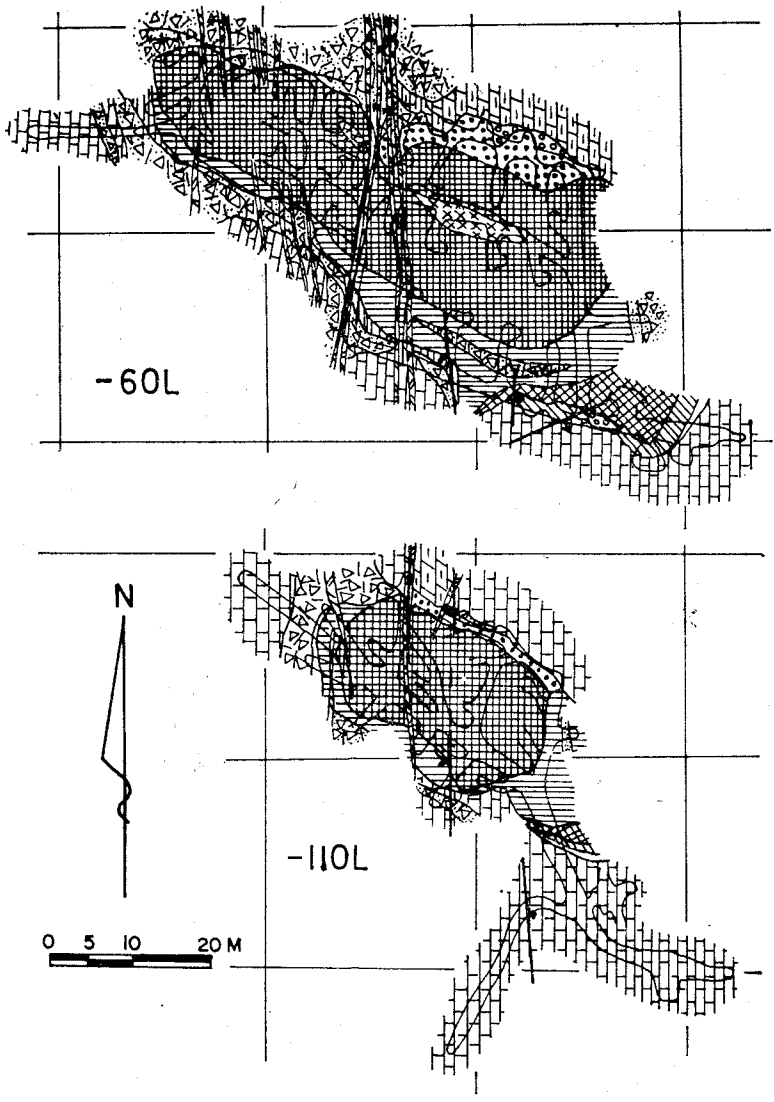
蔚山地質圖幅(朴等1968)에 依하면 鑛山西쪽에 分布하는 黑雲母·角閃石花崗岩體에 依하여 貫入된 蔚山層은 全體的으로 도움(dome) 構造를 이루고 있다. 鑛床賦存地는 이 도움의 東翼部에 該當된다. 鑛山附近의 蔚山層의 走向 傾斜도 이를 잘 나타내고 있다. 鑛山東쪽의 蔚山灣—慶州를 잇는 國道邊에 沿하여 姜必鍾等(1976)은 Landsat-I 映像에 뚜렷한 tectolineament 를 認定하였고 崔光善等(1977)은 이地域에 對한 重力과 磁力測定結果 NNW-SSE 方向의 斷層이

있을 것으로 報告한 바 있다. 그러나 이 斷層에 依한 轉位の 크기와 方向에 對하여는 밝혀지지 않고있다.

III. 鑛床

III-1. 産出狀態

鑛床은 黑雲母·角閃石花崗岩體와의 接觸部 附近에 分布하는 石灰岩과 火山岩類中에 形成된 스카른帶에 胚胎된 接觸交代鑛床이다. 現在開發되고 있는 主鑛體는 花崗岩體와의 接觸部에서 東쪽으로 約 200 m 떨어진 곳에 賦存하며 (Fig. 2) 平面的으로 보아 N80°W 方向의 長軸으로 140m, 短軸 70m의 橢圓形 輪廓를 갖는다. 이 鑛體는 北西쪽으로 plunge하며 1977年度現在 露頭에서 約 280m 下部까지는 繼續되어 있음이 試錐로서 確認되고 있다. 鑛山에 保管된 資料에 依하면 主鑛體 南쪽에도 石灰岩과 蛇紋岩과의 接觸部에 小規模의 磁鐵鑛體가 있어 過去에 採掘된바 있으나 當時의 坑道는 모두 廢坑되어 그 産出狀態를 觀察할 수 없다. 黃仁典(1963)은 主鑛體가 石灰岩內의 EW 方向의 背斜軸部에 胚胎한것으로 報告한 바 있다. 그러나 鑛床附近에만 一部 露出된 石灰岩은 結晶質石灰岩으로 坑內外를 莫論하고 確實한 層理面을 읽을수 없다. 또 主鑛體는 石灰岩과 火山岩類에 걸쳐 胚胎되나 主體는 오히려 火山岩類內에 胚胎되어 있다. 따



EXPLANATION

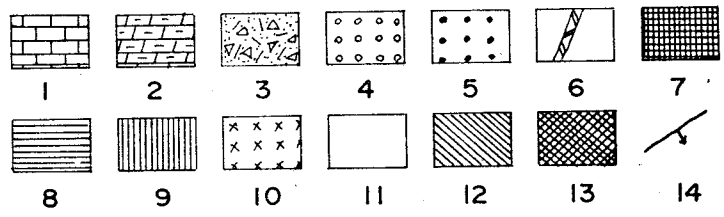


Fig. 4 Underground geologic map of -60m level and -110m level.
 1; crystalline limestone 2; calcite zone 3; hornfels 4; arsenopyrite rich zone
 5; scheelite rich zone 6; basic dike 7; magnetite ore 8; garnet-epidote skarn
 9; epidote skarn 10; garnet skarn of volcanic rock 11; salite skarn
 12; garnet-salite skarn 13; garnet skarn of limestone 14; fault

라서 主鑛體가 石灰岩과 火山岩類의 境界以外에 어떤 다른 地質構造의 規制를 받고 胚胎되었는지 알 수 없다.

III-2. 스킨

스카른帶는 위에 말한바와 같이 石灰岩과 火山岩類와의 接觸部에 따라 兩쪽으로 發達한다. 이들 스킨은 原岩의 種類에 따라 構成鑛物의 種類와 量比를 달리하며 各各 特徵的인 帶狀分布를 하고 있다. 石灰岩源스카른은 石灰岩과 火山岩類와의 境界에서 石灰岩쪽으로 柘榴石, 柘榴石·사라이트 및 사라이트 스킨의 順으로 帶狀分布한다(Fig. 4). 한편 火山岩源스카른은 石灰岩과의 境界에서 火山岩類쪽으로 柘榴石, 柘榴石·綠簾石 및 綠簾石 스킨의 順으로 帶狀分布한다. 이와같은 스킨은 部分的으로 破碎된 後 안드라다이트, 헤덴버어자이트, 陽起石, 石英 및 方解石等에 依하여 廣範하게 切斷되고 角礫사가 채워져 있다. 說明의 便宜上 前述한 스킨들을 各各 早期스카른과 後期스카른이라 부르게 한다.

早期石灰岩源스카른

柘榴石스카른은 前述한 火山岩源스카른 과의 境界附近에 分布한다. 赤褐色을 띠고 全體의 85~90%의 柘榴石과 10~15%의 사라이트로 되어 있다. 柘榴石의 크기는 0.3~0.5mm이고 光學的으로 異方性を 띤다. 柘榴石結晶內에는 사라이트가 包含되어 있기도 한다. 이 柘榴石을 X-線廻折로서 單位胞를 求하고 屈折率을 測定하여 Skinner (1956)의 그림에서 그 組成을 求한 結果 이 柘榴石들은 그로슈라-안드라다이트系에 屬하며 63~64mol% Ad.¹⁾로서 그랜다이트에 屬한다(Table 2, Fig. 5).

柘榴石·사라이트 스킨은 柘榴石스카른 과는 漸移的이다. 이스카른의 柘榴石과 사라이트의 平均含量比는 30 : 70이다. 柘榴石의 크기는 柘榴石스카른의 것보다 작고 光學的으로 異方性이다. 前述한 方法으로 求한 Ad 成分은 58m%이다. 사라이트의 크기는 0.03~0.05mm로서 一部는 柘榴石結晶 中心部에 包有되어 있기도 한다. 사라이트는 後期의 方解石과 接하는 部分에

1) Ad는 andradite의 略字임

2) Hd는 hedenbergite의 略字임

Tab. 2 Determination of garnet composition by the unit cell and refractive index

Sample No.	a(Å)	Refractive index	Composition (Mol %)
1	11.963	1.83~1.82	Ad;58, Gr;42, Pa;0
2	11.963	1.83~1.82	Ad;58, Gr;42, Pa;0
3	11.972	1.84~1.83	Ad;63, Gr;37, Pa;0
4	11.972	1.84~1.83	Ad;64, Gr;35, Pa;1
5	11.861	1.87~1.86	Ad;64, Gr;2, Pa;34.2
6	11.825	1.86~1.85	Ad;64, Gr;2, Pa;33.7
7	11.828	1.84~1.83	Ad;42, Gr;25, Pa;34
8	11.866	1.82~1.81	Ad;48, Gr;27, Pa;25
9	11.962	1.87~1.86	Ad;83, Gr;12, Pa;4
10	11.996	1.87~1.86	Ad;83, Gr;12, Pa;4
11	11.997	1.88~1.87	Ad;83, Gr;12, Pa;4
12	12.023	1.88~1.87	Ad;83, Gr;12, Pa;4
13	11.961	1.88~1.87	Ad;83, Gr;4, Pa;12
14	12.032	1.87~1.86	Ad;83, Gr;12, Pa;4
15	11.996	1.88~1.87	Ad;83, Gr;4, Pa;12

(Cu/Ni, 2θ standard; KBrO₂) Ad; andradite, Gr; grossular, Pa; pyalsite

1. 2; Garnet from the garnet-salite skarn of limestone origin.

3. 4; Garnet from the garnet skarn of limestone origin.

5. 6; Garnet from the garnet skarn of volcanic rock origin.

7. 8; Garnet from the garnet-epidote skarn of volcanic rock origin.

9-15; Garnet from the late stage skarn.

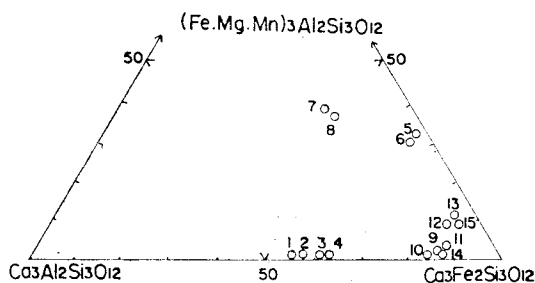


Fig. 5 See table 2 for sample numbers.

서 一部 角閃石化되어 있다. 이 스킨帶內의 사라이트를 X 線廻折한 資料를 Rustein (1969)의 計算式으로 組成을 求하여 본 結果 Hd²⁾成分은 34~38mol%이다. 이 사라이트의 單位胞 a, b, β 값은 Table 3. 과 같고 이를 Poldervarrt (1951)의 單斜輝石 成分圖에 넣어 보면(Fig. 6) 이들은 사라이트 領域에 屬한다.

Tab. 3 Determination of clinopyroxene composition

Sample No	Mol% hedenbergite determined from				Unit Cell Parameter a. b. β
	d(220)	d(310)	d(131)	average d value	
1	37.40	39.00	37.03	37.40	a;9.787 b;8.961 β;105.6°
2	33.55	35.05	37.13	35.05	a;9.786 b;8.959 β;105.6°
3	37.40	38.22	36.14	37.40	a;9.787 b;8.961 β;105.6°
4	44.01	43.35	43.49	43.48	a;9.794 b;8.966 β;105.47°
5	80.23	80.88	80.45	80.46	a;9.835 b;9.005 β;104.97°
6	99.07	98.25	96.64	98.63	a;9.845 b;9.015 β;104.7°
7	83.27	80.88	85.45	83.23	a;9.835 b;9.005 β;104.7°
8	88.74	85.45	83.27	85.37	a;9.835 b;9.005 β;104.89°
9	85.47	85.48	83.27	85.24	a;9.831 b;9.001 β;104.87°
10	96.64	99.25	99.07	97.78	a;9.847 b;9.010 β;104.68°

- 1, 2; Clinopyroxene from the garnet-clinopyroxene skarn of limestone origin.
- 3, 4; Clinopyroxene from the salite skarn of limestone origin
- 5-10; Clinopyroxene from the late stage skarn.

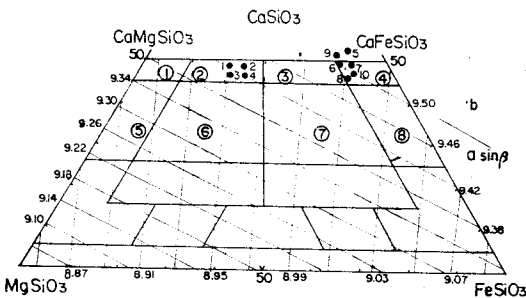


Fig. 6 Diagram showing the composition and nomenclature of clinopyroxene (after Poldervaart and Hess, 1951)
 ① diopside ② salite ③ ferrosalite ④ hedenbergite
 ⑤ endiopside ⑥ augite ⑦ ferroaugite
 ⑧ ferrohedenbergite

사라이트 스카른은 結晶質石灰岩과 柘榴石·사라이트 스카른과의 사이에 分布한다. 이 스카른은 0.05~0.01mm 크기의 사라이트로 構成된다. 이에 對한 前述한 方法으로 그 Hd 成分을 求하면 36~43mol% Hd 이다.

早期火山岩源스카른

柘榴石스카른은 大部分이 磁鐵鑛體內에 存在한다(Fig. 4). 이 스카른은 黃綠色을 띠며 緻密하여 組織과 色으로 石灰岩源柘榴石스카른과 容易하게 識別된다. 이 스카른中의 柘榴石含量은 98% 以上이다. 柘榴石의 크기는 0.02~0.03 mm로서 光學的으로 等方性이다. 前述한 方法으로 求한 이 柘榴石의 組成은 Ad:64, Gr:1.7~2.3, Pa:33.7~34로서 안드라다이트-파이알사이트系別에 屬한다. 石灰岩源스카른의 柘榴石에 比하여 그 組成이 判異하다(Table 2, Fig. 5).

柘榴石·綠簾石스카른 中 代表的인 것의 鑛物 組成은 柘榴石 45~60%, 綠簾石이 40~45%이다. 柘榴石은 크기가 0.01~0.03mm이고 光學的으로 等方性이다. 前述한 方法으로 求한 이 柘榴石의 組成은 Ad:42~48, Gr:24~27, Pa:25~34이다(Table 2, Fig. 5).

綠簾石스카른은 綠簾石을 主로하고 少量의 石英와 綠泥石을 包含한다.

後期스카른

後期스카른은 안드라다이트와 方解石을 主로하고 때로는 헤덴버어사이트, 陽起石等を 隨伴한다. 이 스카른은 早期의 石灰岩源스카른과 火山岩源스카른을 莫論하고 早期스카른 內에 팻치(patch)狀 또는 不規則한 脈狀으로 産出한다. (Fig. 7, 8, 9) 때로는 早期스카른과 磁鐵鑛의 角礫사이를 채우고 있기도 한다(Fig. 7, 8). 後期스카른의 構成鑛物들은 早期스카른 이나 磁鐵鑛과의 接觸部에서 外側으로 안드라다이트-(石英)一方解石(Fig. 8), 안드라다이트-헤덴버어사이트-(石英)一方解石(Fig. 8), 안드라다이트-陽起石一方解石(Fig. 9) 등의 順으로 發達하는 것이 普通이다.

안드라다이트는 一般으로 早期스카른의 外緣을 라이닝(lining)한다. 後期스카른의 細脈에서 안드라다이트結晶은 脈壁에서 脈中央을 向하여 成長하고 있다(Photo. 2). 안드라다이트 結晶의

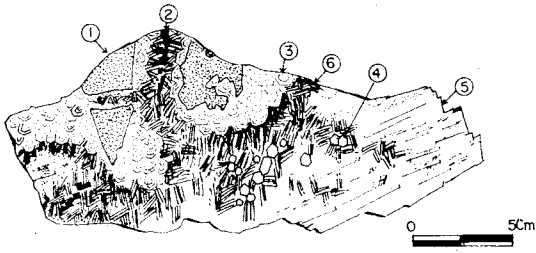


Fig. 7 Sketch showing early skarn breccias filled with late skarn.

- (1) early skarn, (2) chalcopyrite, (3) andradite, (4) quartz (5) calcite, (6) hedenbergite,

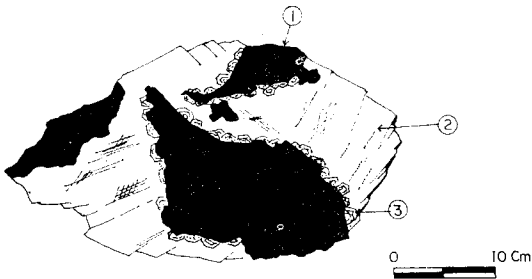


Fig. 8 Sketch showing magnetite breccias filled with andradite and calcite.

- (1) magnetite breccia, (2) calcite, (3) andradite.

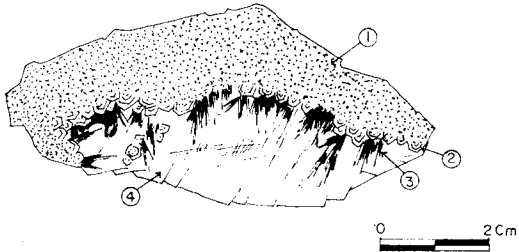


Fig. 9 Sketch showing andradite, actinolite and calcite of late stage skarn.

- (1) early skarn, (2) andradite, (3) actinolite, (4) calcite.

크기는 5 mm內外로서 光學的으로 異方性を 띠며 累帶構造가 顯著하다(Photo. 3). 前述한 方法으로 求한 이 柘榴石의 組成은 Ad:83, Gr:4~12, Pa:4~12이다.

헤덴베르자이트는 안드라다이트에서 方解石쪽으로 發達하며 길이가 5~10cm나 되기도 한다. 前述한 方法으로 求한 Hd mol. %는 80~98.6이다(Tab. 3, Fig. 6).

陽起石은 안드라다이트에서 方解石쪽으로 柱

狀結晶이 成長하며 때로는 石英內에 針狀結晶으로 包含되어 있기도 한다. 陽起石의 屈折率은 $r=1.6735\sim1.6685$ 로서 Zussman (1963)이 提示한 透角閃石—페로액티노라이트(ferroactinolite) 系의 屈折率, 密度 및 化學組成 關係圖에서 보면 페로액티노라이트의 mol. %는 81~86이다. Zussman도 말한 바와 같이 이 方法으로 얻은 結果의 精度는 滿足스러운 것이 못된다. 따라서 여기서는 좀 더 廣意의인 뜻에서 이를 陽起石이라 부르고 있음을 附言하여 둔다.

方解石은 早期스카른이나 磁鐵鑛內에 珞峙狀으로 産出되기도 하고 脈狀으로 이들을 切斷하거나 이들의 角礫사이를 채우고 있다. 露天探掘跡의 東南端에는 直徑이 約 40m나 되는 등구름한 輪廓을 갖는 塊狀體로 産出되기도 한다. 早期스카른 이나 磁鐵鑛內의 方解石珞峙는 서로 細脈으로 連結되어 있지 않아 早期스카른 産物같이 보이는 것도 있다. 그러나 모든 境遇 이 方解石珞峙는 안드라다이트의 라이닝을 갖고 있다.

後述하는 바와 같이 珞峙狀方解石中の 流體包有物 組成型과 充填溫度는 方解石脈, 角礫을 채우고 있는 方解石 및 塊狀方解石의 그것과 同一하다. 따라서 方解石은 모두 後期스카른 生成期의 것으로 생각한다.

IV. 鑛石鑛物

主要鑛石鑛物은 磁鐵石, 灰重石, 硫砒鐵石이고 少量의 黃銅石, 黃鐵石, 磁硫鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 덴난타이트(tennantite) 등이 産出된다.

磁鐵石은 가장 重要한 鑛石鑛物로서 主로 早期의 石灰岩源 柘榴石스카른, 柘榴石·사라이트 스카른과 火山岩源의 柘榴石스카른 帶內에 胚胎되어 있다. 磁鐵鑛은 곳에 따라 角礫化되고 磁鐵鑛 角礫사이는 前述한 바와 같이 後期 스카른의 안드라다이트와 方解石으로 채워져 있다. 磁鐵石은 黃鐵石과 그밖의 硫化鑛物에 依하여 交代되어 있다.

灰重石은 磁鐵石의 主鑛體 北緣에서 早期스카른 이나 磁鐵鑛을 切斷하고 一部 交代한 方解石脈內와 그 周邊에서 散點狀으로 産出한다. 때로는 磁鐵鑛을 切斷하는 石英細脈과 그 周邊에서 産出되기도 한다. 灰重石粒의 크기는 1~20mm

이다. 灰重石은 一般的으로 硫砒鐵石과 密接히 共生한다. 硫砒鐵石은 前述한 바와 같이 後期스카른의 方解石內와 그 周邊에 散點한다. 黃銅石은 後期스카른中 헤텐버어자이트와 共生한다. 選鑛場附近에 모아둔 硫化鑛物더미의 黃銅鑛試料中 黃銅石은 閃亞鉛石의 溶離點滴을 가지며 黃鐵石, 磁硫鐵石을 交代하고 덴난다이트에 依해 緣邊이 交代되어 있다(Photo. 4). 이 외에도 選鑛場附近에 모아 놓은 硫化鑛物 더미에는 方鉛石이 存在하나 이들 硫化鑛物의 產出狀態는 未詳이다.

二次鑛物로 軟망간石, 괴다이트(goethite) 망간土 및 孔雀石等이 地表附近에서 產出된다.

V. 鑛物의 共生關係

鑛石과 스카른의 構造와 組織으로본 鑛物의 共生關係를 總括하여 이를 模式的으로 表示하면 Fig. 10과 같다.

黑雲母·角閃石花崗岩體 周邊의 石灰岩의 再結晶作用과 火山岩類 및 蔚山層을 構成하는 堆積岩類의 호온펠스化作用은 早期스카른의 生成보다는 훨씬 先行된 것으로 이에 對하여는 여기서 除外한다.

早期石灰岩源스카른中 사라이트는 그랜다이트에 依하여 一部 交代되고 이들 스카른은 磁鐵石에 依하여 一部 交代되어 있다. 早期스카른과 磁鐵鑛은 部分的으로 破碎된後 後期스카른은 早期 스카른과 磁鐵鑛의 角礫사이를 充填하고 있다. Fig. 10의 柘榴石中 早期石灰岩源 스카른의 것은 그랜다이트, 火山岩源스카른 中の 것은 안드라다이트-파이알싸이트系列의 것인데 對하여 後期스카른의 것은 안드라다이트로서 原岩의 種類와 生成時期에 따라 그 組成이 判異하다. 한 便 單斜輝石中 早期石灰岩源스카른의 것의 Hd成分은 34~43mol. %인데 對하여 後期스카른의 것은 80.5~98.6mol. %로서 그 組成이 相異하다. 後期스카른은 一般的으로 안드라다이트에서 始作하여 헤텐버어자이트, 또는 陽起石, 石英, 方解石의 順으로 生成되었다. 이中 헤텐버어자이트, 陽起石, 石英은 缺하는 境遇도 있다. 早期스카른은 石英, 方解石 生成時에 一部 角閃石, 綠泥石化 되었다. 黃鐵石, 黃銅石等은 헤텐버어자

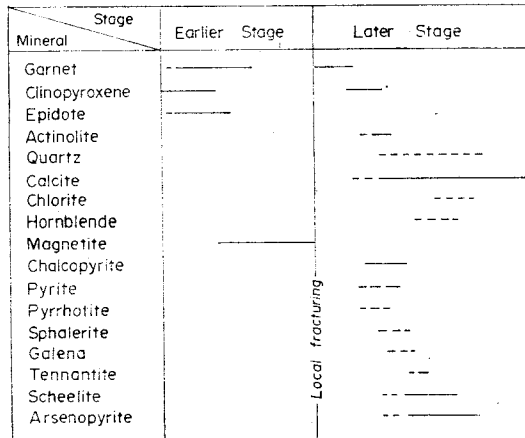


Fig. 10 Paragenetic sequence of skarn and ore minerals.

이트와 共生하고 灰重石, 硫砒鐵石은 石英, 方解石과 共生한다. 全鑛化期를 通하여 볼때 鑛化作用은 早期에는 珪酸鹽鑛物, 酸化鑛物 後期에는 珪酸鹽鑛物, 硫化鑛物, 炭酸鹽鑛物의 順으로 進行된 것으로 보인다.

VI. 流體包有物

流體包有物 研究對象試料은 後期스카른中の 方解石과 石英이다. 方解石은 早期스카른과 磁鐵鑛內에 팻치狀으로 存在하는 것, 硫砒鐵石을 隨伴하는 方解石脈, 硫砒鐵石等の 鑛石鑛物을 隨伴치않는 方解石脈의 것等を 坑道別로 採取하였다. 팻치狀方解石은 前述한 바와 같이 早期스카른이나 磁鐵鑛과의 接觸部에 안드라다이트로 라이닝된 것들로써 一部 헤텐버어자이트나 陽起石과 共存하는 것들이다. 石英은 스카른內의 晶洞에서 產出한 것이다.

方解石中の 流體包有物은 모두 75~85%의 充填度를 갖는 液體 氣體의 二相包有物이고 石英中の 것은 65~76%의 充填度를 갖는 液體, 氣體의 二相包有物 뿐이다.

加熱實驗은 Leitz 會社製의 Model 350SM-Lux 加熱顯微鏡으로 行하였다. 方解石中の 流體包有物의 充填溫度는 160°C~280°C로서 170°C~260°C 사이에 大部分이 分布한다(Fig. 11). 早期스카른과 磁鐵鑛內에 팻치狀方解石의 流體包有物 充填溫度는 160°C~270°C 이다 (Fig. 11-2, 4, 7,

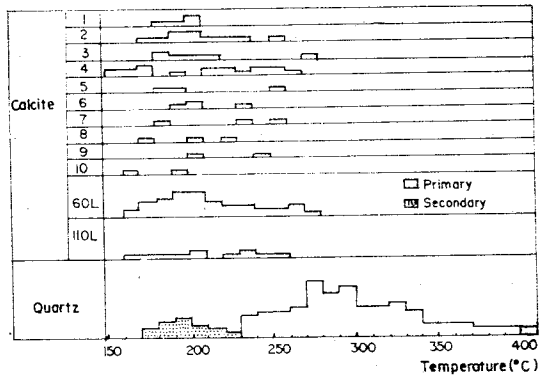


Fig. 11 Filling temperature of the fluid inclusion in Calcite and quartz

- 1.; Arsenopyrite bearing Calcite vein, open pit.
- 2.; Calcite patch in skarn, -60m level.
- 3.; Arsenopyrite bearing Calcite vein, -60m level.
- 4.; Calcite patch in skarn.
- 5.; Barren calcite vein, -60m level.
- 6.; Barren calcite vein, -110m level.
- 7~10; Calcite patch in magnetite ore, -110m level

8, 9, 10). 硫砒鐵石을 隨伴하는 方解石脈과 硫砒鐵石을 包含치 않는 方解石脈中の 流體包有物 充填溫度는 170°C~280°C이다. 이로 보아 產出狀態를 달리하는 方解石內 流體包有物의 組成型과 充填溫度에는 別差異가 없다. 石英中の 流體包有物 充填溫度는 大部分이 230°C~340°C이고 水晶의 뿌리附近에 分布하는 流體包有物中에는 400°C附近에 이르는 것이 있다. 이溫度는 380°C附近까지 加熱하였을 때의 氣泡의 收縮程度로 보아 推定한 것이다. 石英內의 二次包有物의 充填溫度는 170°C~230°C이다. 이는 前述한 方解石內 流體包有物의 充填溫度와 비슷한 溫度範圍이다.

VII. 考 察

이 鑛山에서 스카른의 帶狀分布로 보아 鑛化流體의 導入通路는 石灰岩과 火山岩類와의 境界였을 것으로 推定되나 이 以外에 또 어떤 다른 地質構造가 利用되었는지 現在로서는 不明瞭하다. 早期스카른은 石灰岩과 火山岩類와의 境界에서 母岩의 種類에 따라 各各 相異한 構成鑛物과 鑛物組成을 갖는 스카른의 帶狀分布를 한다. 石灰岩源스카른에 있어서는 스카른帶의 中心에서 石灰岩쪽으로 가며 그랜다이트, 그랜다이트·사라

이트, 사라이트스카른의 順으로 帶狀分布를 한다. 火山岩源스카른에 있어서는 火山岩源호온펠스쪽으로 柘榴石, 柘榴石·綠簾石, 綠簾石스카른의 順으로 帶狀分布한다. 이와 같은 스카른의 帶狀分布는 國內外的 스카른型鑛床의 스카른에서 普遍的으로 보여지는 帶狀分布의 類型과 같다 (Burt, 1971; 宮澤 1978). 石灰岩源柘榴石스카른과 柘榴石·사라이트스카른中에는 間或 사라이트가 柘榴石에 依하여 交代되어 柘榴石結晶中央部에 一部 包有되어 있음을 볼 수 있다. 그러나 이들 早期柘榴石이 모두 사라이트를 交代하여 後에 晶出되었다고는 보여지지 않는다. 石灰岩源스카른이 帶狀分布하게 되는 要因에 對하여는 溫度, 壓力 fO_2 및 fCO_2 以外에도 非揮發性成分의 化學포텐셜 등 여러가지가 提起되어 오고 있다. 早期스카른의 生成期間中 좁은 範圍의 스카른帶間에 溫度나 岩壓의 큰 勾配는 생각할 수 없을 것이다. Gustafson (1974)의 Ca-Fe-Si-O-H系의 實驗에 依하면 同一溫度下에서는 fO_2 가 낮아짐에 따라 안드라다이트, 안드라다이트·헤텐버어자이트, 헤텐버어자이트의 順으로 安定領域이 存在하고 fO_2 가 一定하면 溫度가 높아짐에 따라 위와 같은 順序로 各鑛物들의 安定領域이 存在한다. 後者の 境遇는 스카른帶 中心部에 分布하는 柘榴石이 사라이트보다는 後에 溫度가 低下된 環境下에서 生成된 確實한 保證이 없는 限 생각할 수 없다. 鑛床形成場所에 있어 鑛液의 fO_2 를 變化시키는 要因으로는 交代作用에 依하여 發生되는 CO_2 의 解離에 依하여 생기는 O_2 가 酸化作用을 하는 境遇 (Shoji, 1976)와 높은 fO_2 를 갖는 鑛液이 炭酸鹽岩中の 有機物質에 依하여 還元되는 境遇 (Shimazaki, 1969) 등을 생각할 수 있다. 이 鑛山의 스카른帶狀分布가 主로 fO_2 의 規制에 依한 것인지, fO_2 가 위의 두 境遇中에 어느 것에 依하여 變化된 것인지 現在로서는 不分明하다.

早期石灰岩源스카른中 그랜다이트의 Ad 성분은 柘榴石스카른帶 (63~64mol. % Ad)에서 柘榴石·사라이트 스카른帶 (58mol. % Ad)로 가며 減少한다. 사라이트中の Hd 성분은 柘榴石·사라이트스카른帶에서 사라이트 스카른帶로 가며 34~38mol. % Hd에서 43mol. % Hd로 增加한다.

한편 早期火山岩源스카른中の 안드라다이트—파 이알싸이트系列 柘榴石에 있어서도 그의 Ad成分은 柘榴石帶에서 64mol. % Ad, 柘榴石·綠簾石·스카른帶에서는 42~48mol. % Ad로서 柘榴石·綠簾石帶에서 낮아진다. 이와같은 事實은 위에서 論議된 스카른 形成期間中の 外的인 規制條件下에서 擴散된 μSiO_2 , μFeO , μCaO , μMgO 등의 勾配를 뜻하는 것으로 帶狀分布의 問題와 함께 앞으로 定量的인 檢討가 되어야할 課題이다.

産出狀態를 달리하는 後期스카른의 안드라다이트는 共通的으로 早期스카른이나 磁鐵鑛을 라이닝하고 結晶成長面은 open space를 向하여 發達하고 있다. 後期스카른의 一般的인 晶出順序는 안드라다이트, 헤텐버어자이트, 陽起石에 이어 末期에 一部 石英과 함께 壓倒的으로 많은量의 方解石이 生成되었다. 헤텐버어자이트와 陽起石이 共存하는 것은 볼 수 없으나 두 鑛物은 모두 안드라다이트後 一部方解石보다는 앞서 晶出된 것이다. 안드라다이트의 Ad成分은 83mol. %이고 헤텐버어자이트의 Hd成分은 83~99mol. % 陽起石의 Ft成分은 約 87mol. % 로서 早期스카른의 柘榴石과 單斜輝石의 Ad, 와 Hd mol. % 보다 훨씬 높다. 前述한 안드라다이트와 헤텐버어자이트 以外에 陽起石의 安定領域도 溫度 壓力 以外에 $f\text{O}_2$ 에 強한 規制를 받는다 (Ernst, 1966). Shimazaki(1969)는 Yaguki 鑛山에서 觀察되는 $f\text{O}_2$ 와 陽起石의 組成과의 關係에서 陽起石은 낮은 $f\text{O}_2$ 條件下에서 安定하고 $f\text{O}_2$ 가 낮아질수록 Ft mol. %는 增加함을 報告한바 있다. 헤텐버어자이트와 陽起石은 硫化鑛物과 密接히 共生한다. 後期스카른의 生成期間中 $f\text{O}_2$ 는 漸次낮아지고 $f\text{S}_2$ 가 相對的으로 높았을 것이 推定된다.

後期스카른에 隨伴되는 方解石中の 流體包有物 充填溫度는 $160^\circ\text{C}\sim 280^\circ\text{C}$ 이다. 産狀을 달리하는 方解石의 充填溫度間에 溫度의 差는 없다. 한편 스카른晶洞과 石英細脈內 石英中の 流體包有物 充填溫度는 大部分이 $230^\circ\text{C}\sim 340^\circ\text{C}$ 의 範圍를 갖는다. 流體包有物의 充填溫度로서 鑛物의 生成溫度를 求하자면 壓力補正을 要하며 이를 爲하여는 流體의 組成에 對한 資料가 必要하

다. 이번에는 이들 流體包有物의 NaCl 相當 鹽濃度를 求하지 못하였다. 方解石과 石英中の 流體包有物에는 NaCl 등의 固相이나 液體 CO_2 相의 存在나 流體의 沸騰現象을 나타내는 證據도 볼 수 없었다. 實際 鑛化流體는 어느程度의 鹽濃度와 CO_2 濃度를 갖고 있었을 것이므로 實際壓力補正을 한 方解石 등의 生成溫度는 充填溫度보다는 높았을 것이나 後期스카른은 産出狀態, 流體包有物의 充填度 및 充填溫度로 보아 熱水溶液에 依하여 生成되었을 것으로 생각된다.

蔚山鑛山附近에 分布하는 慶尙系地層의 全層厚에 對한 資料는 없다. 章基弘(1980)의 말에 依하면 蔚山鑛山附近에 分布하는 蔚山層中の 赤色堆積岩層은 大邱—慶州間의 松內洞層에 對比될 可能性이 크다고 한다. 章(1977, 1979)에 依하면 大邱—慶州間의 慶尙系 地層中 松內洞層과 그위에 놓이는 乾川里層의 두께는 1600m라 한다. 蔚山地域에는 採藥山(火山岩)層은 없다한다. 乾川里層을 傾斜不整合으로 덮는 所謂 榆川(火山岩)層群의 두께는 一般으로 2000m라 한다. 또 이 榆川層群은 慶尙盆地 南쪽으로 갈수록 그 層厚가 두꺼워진다고 한다. 따라서 蔚山鑛山附近에서 松內洞層에 對比되는 地層을 包含하여 그 上位의 慶尙系 地層의 全層厚는 約 3600m 程度였을 것이다. 鑛山附近에서 松內洞層에 對比되는 蔚山層은 花崗岩에 依하여 貫入되어 있고 最上位의 地層은 花崗岩 貫入 以前에 相當한 侵蝕을 받았을 것이다. 尹(1979)에 依하면 蔚山地域에는 白堊紀末에서 마이세·中期까지 堆積作用은 없었다. 花崗岩 貫入에 隨伴된 이地域의 地層構造도 花崗岩 貫入後 鑛化作用이 이루어질 때 까지의 侵蝕을 促進시켰을 要因이 된다. 以上の 資料로서 볼때 鑛化作用時 鑛床形成場所의 上位에 놓인 慶尙系 地層의 두께는 2500m 程度로 보는 것이 妥當할 것으로 보인다. 따라서 鑛床形成時 그 場所에서의 岩壓은 約 600氣壓 程度였을 것으로 생각된다. 後期스카른과 硫化鑛物生成時의 P_{fluid} 는 위의 岩壓·보다는 낮았을 것이다.

VIII. 結 言

1. 蔚山 鐵·重石鑛床은 第3紀의 黑雲母·角閃石花崗岩에 依하여 貫入된 時代未詳의 石灰岩

과 白堊紀의 火山岩類內에 胚胎된 스카른型鑛床이다.

2. 스카른은 原岩의 種類에 따라 鑛物의 種類와 量比를 달리하는 特徵的인 帶狀分布를 한다. 스카른은 그 生成期間中에 있었던 部分的인 破碎作用을 사이에 두고 早期스카른과 後期스카른으로 나누어 진다. 早期의 石灰岩源스카른은 原來의 火山岩類와의 境界에서 石灰岩쪽으로 柘榴石스카른, 柘榴石·사라이트스카른, 사라이트스카른의 順으로 帶狀分布한다. 早期火山岩源스카른은 石灰岩과의 境界에서 火山岩쪽으로 柘榴石스카른, 柘榴石·綠簾石스카른, 綠簾石스카른의 順으로 帶狀分布한다.

後期스카른은 早期스카른의 種類와 關係없이 이들中에 脈狀, 팻치狀 또는 이들의 角礫사이를 안드라다이트, 헤텐버어자이트 또는 陽起石, 石英 및 方解石의 順으로 채우고 있다.

3. 早期스카른의 形成期에 磁鐵石이 後期스카른期에 硫化鑛物과 灰重石이 生成되었다. 全鑛化期間을 通하여 鑛物은 珪酸鹽鑛物, 酸化鑛物, 硫化鑛物, 炭酸鹽鑛物의 順으로 生成되었다.

4. 後期스카른의 方解石中의 流體包有物의 充填度는 75~85%인 液體包有物이고 充填溫度는 160~280°C이다. 後期스카른과 石英細脈을 이루는 石英中의 流體包有物 充填度는 65~75%이고 充填溫度는 大部分이 230~340°C 範圍內에 든다. 鑛床生成時 그場所의 岩壓은 600氣壓 程度였을 것이다.

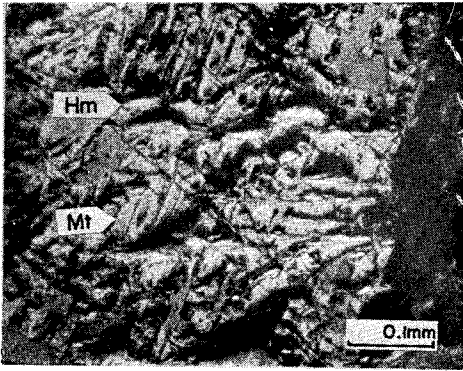
5. 慶南地域에 있어 스카른型鑛床의 母岩으로는 白堊紀의 中性火山岩類도 重要하다. 이 地域의 스카른 型鑛床 探查時에는 灰重石鑛의 胚胎與否에 對하여도 格外 留意하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

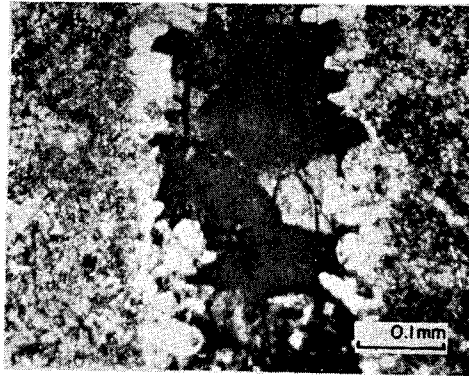
Burt, D. M., 1971. The facies of some Ca-Fe-Si skarns in Japan. *C. I. W.*, 70, 185~188.
 Chang, K. H., 1975. Cretaceous stratigraphy of south-east Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 11, pp. 1~23.
 ———, 1977. 慶尙盆地 上部 中生代의 層序, 堆積 및 地構造, 地質學會誌 13, pp. 76~90
 崔光善, 朴喜寅, 鄭鳳日, 1977. 蔚山 鐵山 附近의 地質構造와 鑛化作用에 關한 地質學的 및 地球物理學的研究, 地質學會誌, 13, pp. 179~189.

Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1962, *Rock Forming Minerals*, I, II. Longmans.
 Ernst, W. G., 1966. Synthesis and stability relations ferrotremolite. *Econ. Geol.*, 264, pp. 37~65.
 Gustafson, W. I., 1974. The stability of andradite, hedenbergite, and related minerals in the system Ca-Fe-Si-O-H. *Jour. Petro.*, 15, pp. 455~496.
 Hess, H. H., 1941. Pyroxene of common mafic magma. *Am. Mineral.*, 26, pp. 525~535.
 ———, 1949. Chemical composition and optical properties of common clinopyroxene. *Am. Mineral.*, 34, pp. 621~666.
 Hyndman, D. W., 1972. *Petrology of igneous and metamorphic rocks*. McGraw-Hill.
 金鍾煥, 姜必鍾, 林正雄, 1976. Landsat-1 映像에 의한 嶺南地域地質構造와 鑛床과의 關係研究, 地質學會誌, 12, pp. 79~89.
 金南長, 陳明植, 1971. 韓國地質圖 毛良圖幅, 國立地質調查所
 李倫鍾, 李인기, 1972. 韓國地質圖, 彥陽圖幅, 國立地質調查所
 ———, 植田良夫, 1976. 韓國慶尙南道 彥陽圖幅 및 北西部蔚山圖幅地域産 花崗岩質岩의 K-Ar年代. *鑛山地質* 9, pp. 127~134.
 宮澤俊彌, 1978. 日本과 韓國에 있어서의 接觸交代鑛床의 研究, 宮澤教授退官記念論文集, pp. A-3~146 (日語)
 朴揚大, 尹亨大, 1968. 韓國地質圖蔚山圖幅, 國立地質調查所
 黃仁典, 1963. 蔚山鐵鑛床調查報告, 地質鑛床研究調查報告 6, pp. 25~54.
 Rustein, R. M. and Yund, R. A., 1969. Unit cell parameter of synthetic diopside-hedenbergite solid solution. *Am. Mineral.*, 54, pp. 238~245.
 Shimazaki, H., 1969. Pyrometamorphic copper and iron ore deposits of the Yaguki mine, Fukushima prefecture, Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. II, 17, p. 317~350.
 ———, 1978. 스카른 形成에 있어서의 酸素分壓의 影響, 宮澤教授退官記念論文集, pp. B-29~36 (日語)
 Shoji, T., 1975. Role of temperature and CO₂ pressure in the formation of skarn and its bearing on mineralization. *Econ. Geol.*, 70, pp. 739~749.
 尹統, 1979. 蔚山盆地의 第3紀層, 地質學會誌, 15, pp. 1~36.

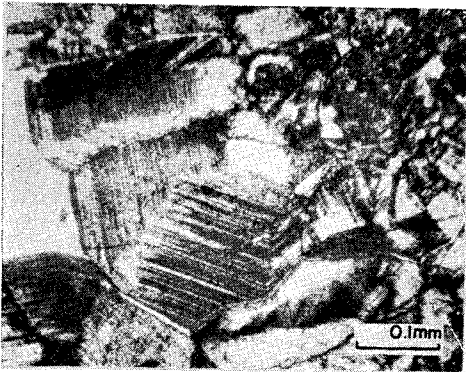
1



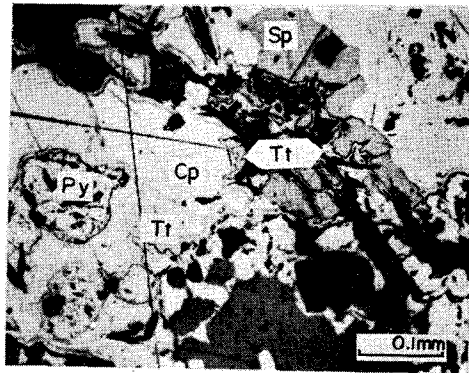
2



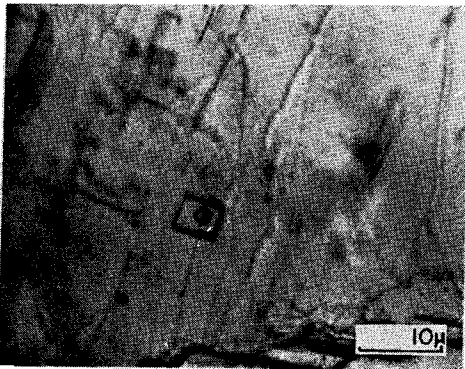
3



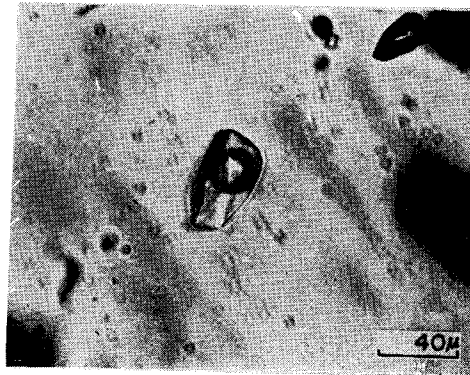
4



5



6



Explanations

- Photo. 1. Magnetite and hematite in biotite-hornblende granite. Mt; magnetite, Hm; hematite.
 2. Andradite vein.
 3. Zonal structured and optically anomalous andradite
 4. Microphotograph showing chalcopyrite re-

places pyrite and tennantite replaces chalcopyrite and sphalerite

Py: pyrite Cp: chalcopyrite.

Sp: sphalerite Tt: tennantite

5. fluid inclusion in calcite
 6. fluid inclusion in quartz