광산지질 15권 1호(1982) pp. 1-16

慶南地區의 스카른型 鑛床의 成因과 스카른鑛物에 關한 硏究

禹榮均* 李旼成** 朴喜寅***

Studies on the Skarn-type Ore Deposits and Skarn Minerals in Gyeongnam Province

Young Kyun Woo, Min Sung Lee and Hee-In Park

Abstract: Many skarn type iron ore deposits are distributed in Kimhae-Mulgeum area of Gyeongnam Province. Integrated field, mineralogic, geochemical and fluid inclusion studies were undertaken to illustrate the character and origin of the ores in this area.

The iron ore deposits in this area are NS or NNE trending fracture filling magnetite veins which are developed in andesitic rocks near the contact with late Cretaceous micrographic granite bodies. Symmetrically zoned skarns are commonly developed in the magnetite veins of this area. Zoning of skarn from center to margin of the vein are as follows; garnet·quartz skarn—epidote skarn—epidote·orthoclase skarn—altered andesitic rocks. Major ore mineral is magnetite and small amount of hematite, pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and sphalerite are associated.

Vein paragenesis reveals four depositional stages; 1) skarn stage, 2) iron sulfide and oxide stage, 3) skarn stage, 4) sulfide stage

Minute halite-bearing polyphase inclusions and liquid inclusions are contained in quartz. Filling temperatures range from 257° to 370°C.

I. 序 言

慶南地區의 安山岩을 母岩으로 하여 形成된 스카른型鑛床은 主로 鐵을 主體로 하며 이에 重石 또는 硫化鑛物을 包含한 鑛床으로서 慶南地域의 安山岩質類와 花崗岩類가 隣接 分布하는 곳에 賦存하고 있으나 特히 金海—勿禁地域에 集中 分布된다. 慶南地區의 스카른型鑛床들中 現在 稼行中인 鑛床은 勿禁鐵鑛床과 蔚山鐵·重石鑛床뿐이고, 나머지는 모두 開發에 着手하다가 中斷된 後 오랫동안 廢鑛狀態에 있던 것이므로 梅里, 梁成鑛山등의 一部 坑道를 除外하고는 坑內調査가 不可能한 狀態에 있다. 그러므로 大部分의 기타 鑛床들은 鑛脈의 露頭나 그 附近의 母岩과 廢石場에서의 鑛石鑛物등을 바탕으로 그 特徵을 把握할 수 밖에 없었다. 한편 蔚山鐵·重石鑛床의 成因에 대하여는 筆者中의 하나인 朴喜寅(1980)에 依하여 硏究된 바 있다. 그러므로 本硏究에서는 鑛床의 規模 開發程度 및 기타 여러가지 점에서 慶南地區스카른型鑛床들을 代表할 수 있으며 調査·硏究의 條件이 가장 좋은 勿禁鐵鑛床에 對한 硏究에 重點을 두고, 본 鑛床의 母岩의 岩石化學, 鑛體의 産出狀態와 構造規制와의 關係, 스카른鑛物의 産出狀態와 性質, 그리고 鑛石鑛物의 共生關係 및 流體包有物등을 硏究하며, 여기서 밝혀진 事實들을 바탕으로 其他鑛床들의 特徵과 比較하여 慶南地區의 스카른型鑛床의 成因과 스카른鑛物에 對한 硏究를 遂行하였다.

本硏究를 爲한 現地調査時 여러가지로 協助하여주신 勿禁鑛業所 沈暲祐所長, 安永根鑛務課長等과 室內硏究를 도와준 서울대학교 대학원의 申炫採, 尹錫台等에게 謝意를 表한다. 또한 本硏究를 爲하여 1980年度 硏究費를 支給해주신 韓國科學財團에 대해서도 無限한 感謝를 드린다.

*公州師範大學 地球科學敎育科
**서울大學校 師範大學 地球科學敎育科
***서울大學校 自然科學大學 地質科學科

II. 硏究地域의 地質

II-1 地質槪要

慶南地區의 스카른型鑛床이 分布된 地域의 地質은

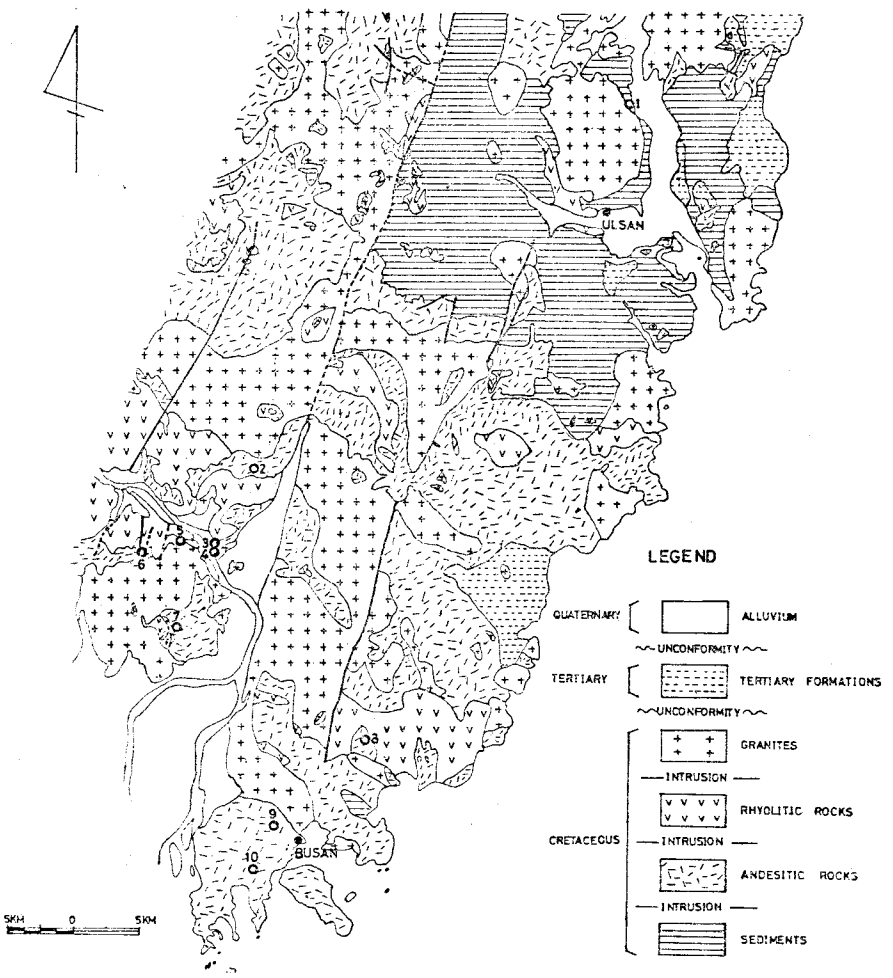

Fig. 1 Geologic map of the Gyeongnam province
Mines: 1. Ulsan, 2. Gyeongnam, 3. Mulgeum, 4. Yangseong, 5. Maeri, 6. Kimhae No. 52, 7. Kimhae, 8. Dongrae, 9. Seongji, 10. Busan

主로 慶尙系 新羅層群, 安山岩質岩類, 流紋岩類와 後期에 이들을 貫入한 花崗岩類 및 第三系 등으로 되어 있다(Fig 1).

이들의 地質系統을 模式的으로 表示하면 다음과 같다.

第四紀————沖積層
~~~不整合~~~
第三紀————第三系
~~~不整合~~~
白堊紀 花崗岩類 ——貫入—— 流紋岩類 ——貫入—— 安山岩質岩類 ——貫入—— 新羅層群

本域의 廣域地質에 대하여는 蔚山(朴揚大外, 1968), 彦陽(李倫鍾外, 1972), 密陽(山成不二磨, 1924), 梁山(李敎成外, 1964), 方魚津(朴揚大外, 1968), 金海(李河榮外, 1964), 東萊月內(孫致武外, 1978)等의 1/5萬 地質圖幅 및 說明書에 詳細하게 報告된 바 있으므로 여기서는 鑛床과 密接한 關係를 가진 地質에 대해서만 詳述하고저 한다.

本域에 分布하는 鑛床들의 生成과 關係된 岩石은 主

岩로 安山岩質岩類와 花崗岩類이나 蔚山鐵鑛床에서만 石灰岩이 關係된다. 本石灰岩은 白色結晶質石灰岩으로서 小規模로 露出되며 蔚山鐵·重石鑛床의 母岩을 이루고 있다. 本岩은 蔚山地質圖幅(朴等, 1968)에서는 大石灰岩統에 屬하는 것으로 記載되어 있으나, 아직 그 時代는 未詳이다. 鑛山附近에서의 試錐 結果 安山岩質岩類下部에 두꺼운 灰色細粒質石灰岩의 存在가 確認되었으며, 本岩이 鑛化作用에 隨伴된 變質作用으로 前記 白色結晶質石灰岩으로 變한 것으로 認定된다. 安山岩質岩類와 花崗岩類에 對해서 記述하면 各各 다음과 같다.

II-2 安山岩質岩類

本域의 安山岩質岩類는 그 産出狀態, 岩石學的 組織 및 構成物質等이 곳에 따라 달라 安山岩, 安山斑岩(肉眼的인 크기의 斑晶을 갖는 安山岩), 安山岩質凝灰岩類로 細分된다.

安山岩은 岩床으로 産出되는 곳도 있으나 大部分 不規則 塊狀岩體로 나타난다. 本岩은 後期의 流紋岩類와 花崗岩類에 의해서 貫入되었는데, 本岩의 작은 殘留體들이 花崗岩類內에 捕獲되어진 곳도 있다. 本岩은 細粒의 綠灰色·暗灰色의 것이 優勢하지만, 灰色 또는 黑色을 띠는 것도 있다. 角閃石, 長石등의 斑晶을 갖는 斑狀構造를 肉眼으로 識別할 수 있는 것도 있으나 長石斑晶은 安山斑岩에 比하여 극히 적다. 이들 斑晶의 크기는 大體로 0.2cm 外이며 0.5 cm 의 角閃石 柱狀結晶도 나타난다.

本岩에는 綠簾石의 斑點이 散在된 部分이 到處에서 發見되는데, 이는 propylitization 에 의해서 斜長石이 變質된 結果로 보인다.

또한 一部 岩床의 産出狀態를 갖는 곳에서는 薄層의 쳐어트層과 凝灰質砂岩의 互層이 이들에 捕獲되어 있으며 이들의 層理와 安山岩의 流狀構造와는 서로 平行하다. 本岩과 後期 花崗岩類와의 接觸部에서는 hornfels 化한 部分이 있다. 鏡下觀察에 의하면 一般的으로 斑狀組織을 보이며, 斑晶으로는 斜長石, 角閃石이 優勢하다. 石基는 長石과 角閃石의 集合體로 pilotaxitic texture 를 갖는 것이 보통이며, 이에 黑雲母, 磁鐵石등이 隨伴된다. 斑晶으로 나타나는 斜長石은 大體로 半自形이고, 알바이트 및 알바이트·칼스반雙晶을 보이며, 累帶構造를 보이기도 한다. 斜長石의 成分은 An 30-50 範圍內에 드는 것이 普通이다.

斜長石中에는 變質되거나 分解되어 綠簾石, 크리노조이사이트, 조이사이트, 絹雲母, 方解石으로 된 部分이 많으며 심한 경우 거의 전부 綠簾石으로 變한 長石의 假像을 이루는 部分도 있다. 輝石中에도 uralite 로 交代된 部分도 있고, 거의 uralite 로 이루어진 輝石의 假像도 發見된다. 또한 黃鐵石粒이 散布되기도 한다. 이러한 特徵들은 이 地域의 安山岩質岩類에서 共通的으로 보여지는 것으로 本安山岩質岩類가 propylitization 을 받았음을 나타낸다. 그러나 이와 같은 變質이 花崗岩類와의 接觸部 附近에서 特히 더 顯著하여지는 경향을 볼 수 없다.

安山岩中 特히 長石斑晶이 肉眼的인 크기로 存在하는 것을 安山斑岩으로 區分한다.

安山岩質凝灰岩類는 곳곳에 小規模로 分布하는데, 0.3~3cm 크기의 不規則한 쳐어트質 또는 安山岩質岩의 岩片을 含有하며, 一般的으로 暗灰色, 灰色, 綠灰色을 띤다.

蔚山鑛山附近의 安山岩質岩은 石英래타이트—安山岩과 同質의 火山碎屑岩이며 이에는 石英片, 砂岩, 石英安山岩, 安山岩質岩, 그레이와케 및 珪岩等의 岩片을 包含하고 있어 岩相이 多樣하다. 本岩은 花崗岩類와의 接觸帶에서 호온펠스化되어 少量의 綠簾石, 電氣石등과 함께 微細한 黑雲母片의 集合으로 된 點紋이 形成되어 있다. 石英래타이트—安山岩은 肉眼으로 보아 아아질라이트와 비슷한데 本岩中의 斜長石의 An 성분은 20±이다.

II-3 花崗岩類

李峻東(1969), 李商萬(1972, .974), 1/250,000 釜山地質圖(1973), 孫致武外(1978)등은 慶南地域의 佛國寺花崗岩系列을 佛國寺花崗岩類와 馬山岩類로 大別하고 있다. 또한 本硏究員中의 朴喜寅등(1976)은 金海地域의 佛國寺花崗岩類와 馬山岩類를 各各 細分하고 이들의 相互體係를 밝힌 바 있다. 여기서는 佛國寺花崗岩類에 屬하는 角閃石花崗岩과 黑雲母花崗岩 및 흔히 馬山岩類로 일컬어지는 微文象花崗岩類에 對하여 說明하기로 한다.

II-3-1 佛國寺花崗岩類

角閃石花崗岩은 淡灰色 및 淡紅色 粗粒質로 主로 紅色長石을 많이 包含하고 있으며 0.5~0.7cm 內外의 角閃石柱狀結晶이 잘 發達된다. 鏡下觀察에 의하면 半自形粒狀組織으로서 石英, 正長石, 斜長石등이 主 構成鑛物이고, 角閃石, 磁鐵石, 저어콘, 燐灰石등이 隨伴된다. 長石類는 大部分이 變質받았고, 斜長石의 成分은 An 32-47 이며 알칼리長石에 비해 量的으로 약간 優勢하다. 部分的으로 石英과 正長石이 文象組織을 이루고 있다. 이는 微文象花崗岩과 類似한 點이 많으며, 이들은 同一마그마의 分化에 의한 것으로 보인다.

黑雲母花崗岩은 主로 淡紅色 및 肉紅色을 띠는 中粒質岩이다. 半自形等粒組織을 이루며 構成鑛物은 主로 石英, 正長石, 斜長石이고, 黑雲母, 磁鐵石, 저어콘,

燐灰石등이 隨伴된다. 斜長石 成分은 An 21~30이다.

II-3-2 微文象花崗岩類

이 岩石은 前述한 佛國寺花崗岩類에 比하여 細粒質이고, 角閃石의 크기와 量이 顯著하게 적으며, 0.2~0.3cm의 長徑을 가진 淡紅色과 灰白色長石이 斑晶을 이루고 있다. 鏡下觀察에 의하면 斑狀組織을 가지며 斑晶을 이루는 鑛物은 주로 正長石과 斜長石이다. 基質部는 微文象組織이 잘 發達되어 있다. 主成分鑛物은 正長石, 石英, 斜長石, 퍼어다이트와 微斜長石이고, 角閃石, 磁鐵石, 黑雲母와 함께 少量의 저어콘과 燐灰石등을 隨伴한다. 角閃石은 綠泥石化, 綠簾石化되어 있으며 그 주위에 磁鐵石이 散在해 있다. 斜長石 成分은 대체로 An 20-28 이며 長石類는 대부분 카오린化되어 있다.

梅里鑛山附近 微文象花崗岩의 化學分析値와 norm 값은 Table 1 에 있다.

한편 朴喜寅等(1976)에 의하면, 本岩은 佛國寺花崗岩類보다 K-長石이 우세하며 Q-Kf-Pl diagram 에서 알칼리長石花崗岩의 領域에 까지 든다. 또한 AFM, Or-Ab-An, Q-Ab-Or diagram 上에서 볼때 佛國寺花崗岩類에 比해서 末期의 分化物로서 溫度와 壓力이 비교적 낮은 環境에서 固結되었고, 또한 fO_2 도 높은 環境에서 形成되었을 可能性이 크며, 실제로 馬山岩類가 佛國寺花崗岩類보다 더 많은 磁鐵石을 包含하고 있다.

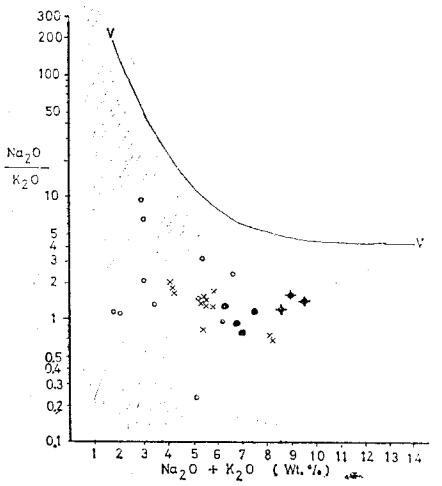

Fig. 2 Na_2O+K_2O versus Na_2O/K_2O diagram (Miyashiro, 1975)

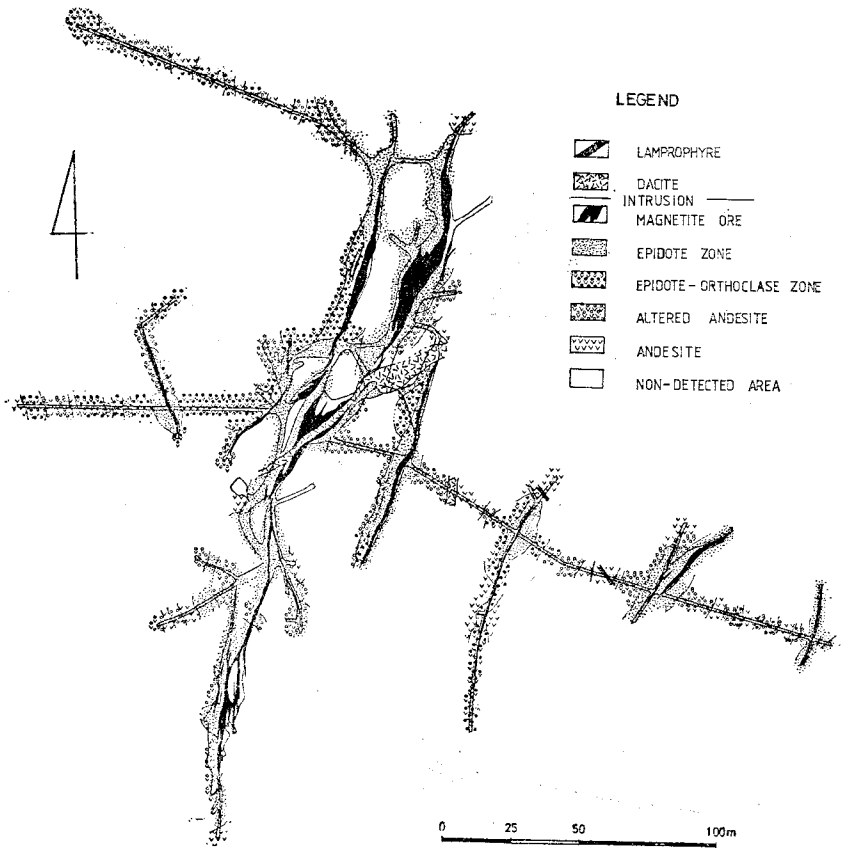

Fig. 3 Underground geologic map of Mulgeum iron mine (-3L)

Table 2. Wall rocks, skarn and ore minerals of skarn-type ore deposits in the Gyeongnam province.

No. of mine in Fig. 1.	mine	Wall rocks	Skarn minerals	Ore minerals
1	Ulsan	andesitic rock limestone	garnet salite epidote hedenbergite actionlite quartz	magnetite scheelite arsenopyrite chalcopyrite, pyrite pyrrhotite, sphalerite, galena tennantite
2	Kyeongnam	andesitic rock	epidote	hematite magnetite chalcopyrite
3	Mulgeum	andesitic rock	quartz garnet hedenbergite epidote orthoclase	magnetite hematite, pyrite pyrrhotite chalcopyrite marcasite
4	Yangseong	andesitic rock	quartz garnet epidote orthoclase	magnetite hematite pyrite chalcopyrite
5	Maeri	andesitic rock	quartz clinopyroxene actinolite garnet epidote orthoclase	magnetite hematite, pyrite pyrrhotite chalcopyrite
6	Kimhae-No. 52	andesitic rock	epidote	magnetite, pyrite
7	Kimhae	andesitic rock	quartz garnet epidote	magnetite hematite pyrite
8	Dongrae	andesitic rock	epidote	magnetite hematite, pyrite
9	Seongji	andesitic rock	garnet epidote	magnetite
10	Busan	andesitic rock	actinolite epidote	magnetite chalcopyrite

II-4 安山岩質岩의 岩石化學

本域 安山岩質岩의 岩石學的인 硏究를 爲하여, 勿禁地域의 安山岩質岩에 對한 X線分析 및 化學分析을 實施하였다(Table 1), 梁山—機張間(朴永鎭, 1980)과 釜山地域(權成澤, 1979)의 安山岩質岩의 化學分析値를 利用하였다.

本安山岩質岩類에서의 알칼리 移動을 알아보기 위하여 $(Na_2O+K_2O)-(Na_2O/K_2O)$ diagram(Miyashiro,

Table 1. Chemical composition and their CIPW normative composition of the igneous rocks and skarns from Kimhae-Mulgeum Area.

rock	micrographic granite		dacite	andesite						altered andesite		orthoclase-epidote skarn	
sample No.	417		150	365		346		222	204	145		2	
XRF[1] and CA[2]	XRF	CA	CA	XRF	CA	XRF	CA	XRF	CA	CA	XRF	CA	XRF	CA
SiO_2	74.76	73.32	63.32	58.01	57.98	62.01	60.82	59.11	59.08	57.61	67.28	64.52	59.37	58.87
TiO_2	0.29	0.37	0.64	0.74	0.70	0.65	0.57	0.74	0.78	0.65	0.55	0.64	0.66	0.66
Al_2O_3	14.55	14.90	15.67	18.25	18.76	17.13	16.04	16.92	18.16	18.52	13.58	14.76	18.26	17.56
FeO	0.92[3]	0.14	2.03	7.03	2.74	5.30	1.35	5.79	0.66	2.32	6.67	1.18	4.24	1.10
Fe_2O_3		1.15	3.28		4.47		4.77		4.55	3.70		7.19		3.24
MnO	0.02	0.02	0.20	0.13	0.15	0.20	0.22	0.09	0.13	0.14	0.06	0.08	0.15	0.25
MgO	0.00	0.43	2.47	2.19	2.28	1.29	3.18	3.35	3.32	3.30	0.37	0.40	2.29	2.53
CaO	0.75	0.86	5.41	5.45	4.46	6.15	4.96	3.27	3.50	4.29	1.57	1.64	5.49	5.97
Na_2O	4.04	3.51	3.74	3.61	4.12	3.06	3.26	5.75	5.59	4.81	0.86	0.76	2.93	3.04
K_2O	4.66	4.16	2.15	2.61	3.31	3.89	3.52	3.66	3.31	3.72	8.84	8.02	6.74	5.82
P_2O_5	0.05	0.12	0.22	0.14	0.16	0.13	0.19	0.13	0.17	0.18	0.12	0.17	0.13	0.13
$+H_2O$		0.54	0.68		0.53		1.02		0.56	0.56		0.54		0.71
$-H_2O$		0.05	0.04		0.07		0.06		0.04	0.07		tr		0.05
Total	100.04	99.57	99.75	98.22	99.73	10.31	99.96	98.81	99.85	99.87	99.90	99.91	100.26	99.93
Q		34.83	19.66		8.66		14.55		2.20	2.10				
Or		24.58	12.71		19.56		20.80		19.56	21.98				
Ab		29.70	31.65		34.86		27.59		47.30	40.70				
An		3.49	19.62		21.09		18.74		14.95	17.95				
C		3.34	0.00		0.67		0.00		0.00	0.00				
Di		0.00	5.04		0.00		3.61		1.02	1.69				
Hy		0.00	4.08		6.07		0.00		0.00	7.76				
En		1.07	0.00		0.00		6.25		7.80	0.00				
Mt		0.00	4.76		6.48		3.36		0.26	5.36				
Hm		1.15	0.00		0.00		2.45		4.37	0.00				
Il		0.33	1.22		1.33		1.08		1.48	1.23				
Ap		0.28	0.28		0.37		0.44		0.39	0.41				
D. I.		89.11	64.02		63.08		62.94		69.06	64.78				
Salic		95.95	83.63		84.84		81.67		84.02	82.74				
Femic		3.03	15.37		14.25		17.19		15.32	16.47				

1) XRF; X-ray fluorescence analysis, Tokyo University
2) CA; Chemical analysis, KIER
3) $FeO+Fe_2O_3$

1975)에 Plot 하면 (Fig. 2), 安山岩質岩들의 Na_2O+K_2O 含量增加에 따른 Na_2O/K_2O의 含量變化는 별로 뚜렷하지 않다. 그러나 勿禁地域의 것은 本域內 他地域의 것보다 Na_2O+K_2O 含量이 더 많고, 勿禁地域의 變質岩石들에서는 이 값이 더 크게 나타나고 있다.

Ⅲ. 鑛 床

Ⅲ-1 慶南地區 스카른 型鑛床 槪要

慶南地區에 分布하는 스카른型鑛床은 安山岩質岩內에 胚胎된 鐵鑛床이 主體를 이루며 特히 金海·勿禁地域에 集中 分布되어 있다. 그러나 蔚山地域에는 石灰岩과 安山岩質岩類中에 形成된 鐵·重石스카른型鑛床도 있다(Fig. 1).

慶南地區의 主要스카른型鑛床들의 母岩, 産出되는 스카른鑛物 및 鑛石鑛物들을 要約하면 Table 2와 같다. 여기서 보는 바와 같이 蔚山鐵·重石鑛床의 母岩과 産

出鑛物에서 一部 差異가 있을 뿐, 모든 鑛床은 대체로 勿禁鐵鑛床과 共通點이 있다.

Ⅲ-2 勿禁鐵鑛床

本鑛床은 梁山郡 元洞面 花濟里에 位置하며, 勿禁驛에서 約 4 km의 거리에 있다.

Ⅲ-2-1 産出狀態

鑛床은 前述한 安山岩質岩內에 胚胎된 脈狀스카른型 磁鐵石鑛床이다(Fig. 3).

鑛脈은 本脈, 西探 1 脈, 東探 1, 2, 3, 4, 5, 脈의 7個 脈으로 되어 있는데, 現在 本脈에 대해서는 露頭에서 約 −280m 下部의 −8 坑까지 開發되고 있으며, 其他 鑛脈에 對해서는 −5 坑까지 選擇的으로 採鑛되어 있을 뿐이다.

鑛脈의 走向과 傾斜는 대체로 NS-N30°E, 60°SE-90°이며, 北쪽으로 20°-30° plunge 한다. 本脈은 延長 約 500m, 最大幅 約 15m, 平均幅 2-4m 이며, 其他鑛脈은 延長 約 100m 內外, 幅 1.5～5m 規模로서 各鑛脈이 約 50～100m 間隔으로 本脈과 平行 發達하고 있다.

本脈은 7 坑 및 8 坑에서 N30°W, 87°SW 의 斷層으로 鑛體의 北部가 北西쪽으로 약간 移動되어 있다. 이 밖에도 鑛體를 橫切하거나, 鑛體內에서 鑛體와 平行한 斷層들이 發達한다.

鑛體와 母岩의 境界部에는 스카른帶가 發達되어 있으며, 곳에 따라 鑛體와 母岩內에 黃鐵石을 주로한 硫化鑛物의 細脈 또는 patch 들이 發見되는데, 特히 鑛脈의 尖滅部分에서는 硫化鑛物뿐만 아니라 스카른鑛物의 含有率도 높아진다.

坑內에서 煌斑岩과 石英安山岩의 岩脈의 安山岩質岩을 貫入하였는데, 特히 石英安山岩은 鑛體까지도 貫入하였음이 發見된다. 石英安山岩의 化學分析値와 norm 값은 Table 1. 에 있다.

III-2-2 스카른

이 鑛山에서 産出되는 스카른鑛物은 주로 柘榴石, 石英, 綠簾石, 正長石이고, 이밖에 헤덴버자이트가 少量 나타난다.

本鑛床에서의 스카른은 Fig. 3 에서와 같이 鑛體를 中心으로 하여, 양쪽으로 거의 對稱的인 帶狀分布를 하고 있으며, 一般的으로 鑛體에서부터 石英—柘榴石스카른, 綠簾石스카른, 綠簾石—正長石 스카른, 變質安山岩의 順이다. 여기서 石英—柘榴石스카른은 鑛體內에 包含되어 나타나거나, 細脈으로만 보이므로(Fig. 5, 6), 이들은 坑內地質圖에서는 表示되지 않았다.

小規模의 磁鐵石鑛脈에서 보면, 스카른과 鑛石鑛物은 대개의 경우 Fig. 6 과 같이 鑛脈의 側壁에서부터 中央部로 갈에따라 綠簾스카른, 磁鐵石, 柘榴石스카른, 石英의 順으로 帶狀分布한다. 때로는 柘榴石스카른이 3 坑 東探 5 脈의 경우와 같이 磁鐵石鑛脈 바로 外側에 小規模로 介在하기도 한다. 1 坑東探 2 脈에는 石英—柘榴石스카른과 綠簾石스카른 사이에서 柘榴石—헤덴버자이트 스카른이 小規模로 發達한다. 위에 나타낸 스카른의 帶狀分布는 모든 스카른帶가 存在할 경우의 一般的인 分布 傾向일뿐 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 일부 스카른帶가 빠지는 수도 있다. 여기서 주요 스카른帶의 特徵을 記述하면 다음과 같다.

石英—柘榴石스카른 : 이는 共通的으로 磁鐵鑛體內에

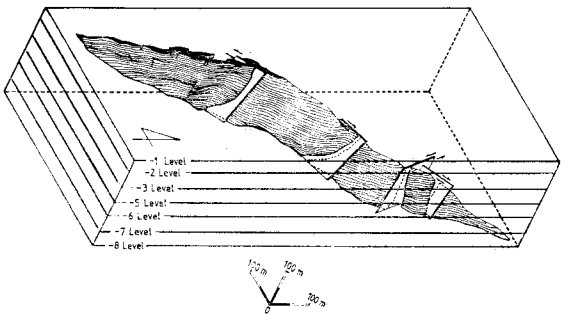

Fig. 4 Main ore body of Mulgeum iron ore deposits

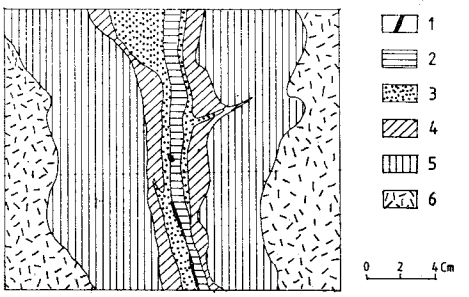

Fig. 5 Sketch showing the mode of occurrence of zoned skarn (-3L. E-cross, 324m, Mulgeum iron mine).
1. magnetite, 2. garnet, 3. epidote, 4. epidote-orthoclase 5. altered andesite 6. andesitic rock.

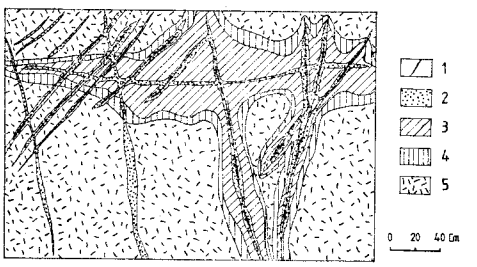

Fig. 6 Sketch showing the mode of occurrence of zoned skarn (-3L. E-cross, Mulgeum iron mine).
1. magnetite, 2. epidote 3.epidote-orthoclase 4. altered andesite 5. andesite.

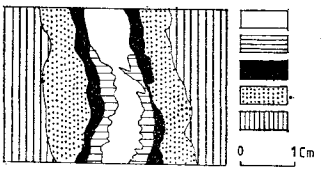

Fig. 7 Sketch showing the mode of occurrence of zoned skarn(-7L.branch of main vein, Mulgeum iron mine).

서 보여지는데, 小規模의 磁鐵石鑛體에서의 石英—柘榴石스카른은 Fig. 7 에서와 같이 鑛脈中央部에 存在한다. 顯微鏡觀察에 의하면 石英—柘榴石帶의 주스카른鑛物은 역시 石英과 柘榴石이다. 이밖에도 極少量의 綠簾石, 磁鐵石, 赤鐵石등이 包含된다. 本스카른의 全體的인 組織은 粒狀變晶質組織이다.

石英은 主로 白色의 것이지만 이중에는 肉眼으로 보아 緻密하고, 赤色을 띠어 jasper 와 같이 보이는 것도 있고, 微細한 晶洞石英으로 産出되는 것도 있다. 柘榴石의 크기는 0.3~0.5mm 가 보통이나, 어떤 것은 약 2mm 程度의 結晶을 보이는 것도 있다.

柘榴石을 X-線廻折로서 單位胞의 길이를 求하고, 屈折率과 比重을 測定하여 Skinner(1956)의 diagram 에 plot 해 보면, 柘榴石의 成分은 안드라다이트에 해당된다. Miyazawa(1978)는 勿禁鑛山産 柘榴石은 純粹한 안드라다이트임을 報告한 바 있다.

한편 Miyazawa(1978)는 勿禁鑛山産 柘榴石은 모두 等方性이라고 報告하였으나, 顯微鏡觀察結果 等方性柘榴石以外에 累帶構造를 보이는 異方性인 것도 發見된다.

綠簾石스카른 : 이는 石英-柘榴石스카른 外側 또는 磁鐵石鑛脈과 接하여 産出되며 正長石-綠簾石스카른帶로 移化한다. 本脈附近의 大規模 綠簾石스카른帶는 正長石-綠簾石스카른帶로 接近함에 따라 綠簾石-正長石스카른, 變質安山岩等의 relict 들이 增加한다. 또한 本스카른帶內에는 磁鐵石의 細脈이 들어 있기도 하다.

主로 綠簾石으로 이루어진 部分의 顯微鏡觀察에 의하면 主스카른鑛物은 綠簾石이며, 石英도 그 다음順으로 많다. 이밖에 少量의 磁鐵石, 스핀, 柘榴石, 綠泥石과 綠簾石-正長石스카른帶의 殘留鑛物인 正長石 및 드물게 安山岩質岩의 殘留鑛物인 斜長石, 燐灰石, 角閃石等이 存在하는 경우도 있다. 本스카른의 全體的인 組織은 粒狀變晶質組織이다(photo. 1).

Miyazawa(1978)의 勿禁鑛山綠簾石스카른 中 綠簾石의 分析結果에 의하면, 綠簾石의 $Fe^{+3}/Al+Fe^{+3}$ 값은 0.28~0.38 로서 피스타사이트에 該當된다. 綠簾石스카른帶에서 石英-柘榴石스카른帶로 接近함에 따라 조이사이트, 클리노조이사이트의 양은 줄고, 피스타사이트의 量이 增加되는 傾向이 있다.

綠簾石-正長石스카른 : 이는 主로 綠簾石스카른帶 外側에 發達된다. 正長石의 含量은 이 스카른帶의 外側으로 감에 따라 減少한다(Fig. 6). 境遇에 따라 本스카른帶가 없이 綠簾石스카른帶에서 바로 變質安山岩帶로 移化하기도 한다.

主스카른鑛物은 正長石, 綠簾石, 石英等이다. 이밖에 少量의 磁鐵石, 赤鐵石, 스핀, 柘榴石, 綠泥石等과 安山岩質岩의 殘留鑛物인 斜長石, 角閃石, 燐灰石等이 包含되기도 한다. 이 스카른의 全體的인 組織은 原岩의 組織인 斑狀組織을 保存하고 있다(photo 2). 正長石은 칼스바雙晶을 보이거나, 雙晶이 없고, 正長石內에는 部分的으로 綠簾石, 綠泥石의 relict 가 保存되어 있다. 또한 正長石 結晶의 末端이 石英과 柘榴石으로 變質된 것이 觀察된다. 斜長石의 成分은 An 29~30% 長石으로 長石 斑晶의 가장자리 또는 가운데 部分이 正로서, 斜變한 것이 觀察되는데, 이는 斜長石의 potassic metasomatism 의 證據이다. 또한 斜長石의 가장자리가 albite rim 을 보이는 것이 있다. 綠簾石類는 綠簾石스카른쪽으로 갈수록 피스타사이트의 量이 增加하고, 클리노조이사이트, 조이사이트의 量이 減少한다. 綠泥石은 펜닌과 다이아반타이트이다.

變質安山岩 : 이는 綠簾石-正長石 스카른帶外側에 發達하며, 경우에 따라 綠簾石스카른帶나 綠簾石-正長石스카른帶없이 鑛體와 直接 接하기도 하며, 차츰 安山岩質岩으로 移化한다. 本帶는 安山岩質岩과 鑛物組成 및 組織等이 비슷하나 安山岩質岩에 비하여 正長石의 量이 뚜렷이 많은 것이 特徵이다(photo 3). 주스카른鑛物은 正長石이고, 이밖에 少量의 綠簾石, 磁鐵石, 石英, 綠泥石, 스핀, 柘榴石과 安山岩質岩의 殘留鑛物인 斜長石, 角閃石, 絹雲母, 燐灰石等이 包含되기도 한다. 正長石과 斜長石의 여러 特徵은 綠簾石-正長石스카른帶와 같다. 이 스카른中의 斜長石의 An 成分은 32~39 로서, 安山岩質岩(An30~50)과 綠簾石-正長石스카른帶의 것의 中間程度이다. 또 이 스카른에서는 綠簾石類中 피스타사이트보다 클리노조이사이트와 조이사이트의 含量이 훨씬 많다. 綠泥石類에서도 다이아반타이트 보다 펜닌의 含量이 많다.

III-2-3 鑛石鑛物

主要鑛石鑛物은 磁鐵石, 赤鐵石, 黃鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石等이 産出된다.

黃鐵石-磁硫鐵石 : 黃鐵石은 磁鐵石에 의해 交代된 早期 黃鐵石(photo 4)과 磁鐵石을 끊거나 一部 交代한 後期黃鐵石(photo 5)의 두 種類가 있다.

早期黃鐵石은 대개가 磁鐵石에 의해 그 緣邊이 交代되어 不規則한 輪廓을 갖고 있으나 後期黃鐵石은 黃鐵石의 特有한 結晶外形을 갖는다. 鐵石中의 黃鐵石은 量的으로 보아 後期黃鐵石이 壓到的으로 많다.

磁硫鐵石은 早期黃鐵石에 小量含有된 것이 보일 뿐 대개의 경우 白鐵石化되고, 後期黃鐵石이나 後述하는 黃銅石에 의하여 交代되어 黃銅石內에 殘存한다.

磁鐵石-赤鐵石 : 磁鐵石은 葉片狀의 組織을 갖는 것과 粒狀組織을 갖는 것이 있으나 兩者間의 晶出時期의 先後關係에는 差가 없어 보인다. 粒狀磁鐵石은 鑛物粒子의 境界에 따라 廣範하게 martite 化 되어 있다. 葉片狀磁鐵石도 初期段階에서는 結晶緣邊과 葉理面에 따라 martite 化되고, martite 化가 進行됨에 따라 磁鐵石은 葉片狀의 赤鐵石內에 殘留物만 남기고 있을 뿐이다 (photo 6). 따라서 肉眼으로 鏡鐵石으로 보이는 것은 葉片狀磁鐵石이 martite 化되어 그 假像을 간직하고 있는 것으로 생각된다. martite 化된 磁鐵石이나 鏡鐵石은 後期의 黃鐵石에 의하여 切斷되고 交代되어 있다. 前述한 바와 같이 磁鐵石과 黃鐵石과의 關係는 晶出時期가 各各 다른 것으로 兩者는 非平衡關係에 있는 것으로 보인다.

黃銅石-閃亞鉛石 : 黃銅石은 前述한 磁鐵石, 赤鐵石 以外에도 後期의 黃鐵石 結晶粒子사이를 充塡하고 있거나 그 一部를 交代한 組織을 보이고 있다(photo 7).

이 黃銅石內에는 特徵的인 閃亞鉛石별(Sphalerite star)이나 dot 를 갖고 있는 경우가 發見되는 點 등으로 미루어 보아 兩者는 溶離關係에 있는 것으로 생각된다. 黃銅石은 때로는 黃鐵石內에 交代 殘有物로 남아있는 磁硫鐵石과 接하고 있는 경우도 觀察된다.

코벨라이트 : 코벨라이트는 黃銅石의 周邊部 또는 黃銅石內의 틈을 따라 生成되어 있는 樣相을 보이고 있으며 때로는 其他鑛物內의 틈을 따라 存在하는 경우도 있다.

이외에도 3坑 東探坑道와 東一脈의 交叉地點下部 採鑛場에서 自然銅이 産出되며, 二次表成鑛物로 孔雀石과 藍銅石이 觀察된다.

III-2-4 鑛物共生關係

스카른鑛物들의 一般的인 生成順序는 前述한 스카른의 帶狀分布에서 보여지는 바와 같이 一般的으로 正長石, 綠簾石, 單斜輝石, 柘榴石, 石英의 順이다.

鑛石鑛物들의 生成順序는 比較的 複雜한데 이들을 스카른鑛物과의 關係 및 鑛石鑛物들 相互間의 共生關係로부타 그 生成順序를 要約하면 다음과 같다.

磁鐵石은 主로 內側에 分布하고, 綠簾石帶를 細脈으로 切斷하기도 한다.

한편 磁鐵石鑛脈의 바깥에서 안쪽으로 갈수록 變質安山岩, 綠簾石, 磁鐵石, 柘榴石, 石英의 順으로 발달된 banding(Fig. 7), 綠簾石스카른帶內의 裂罅을 따라 Fig. 7과 같은 順序로 발달된 cockade 構造(Fig. 8)等으로 보아 磁鐵石의 晶出時期는 一般的으로 綠簾石 以後 柘榴石-石英以前인 경향을 보인다.

그러나 磁鐵石과 石英-柘榴石帶가 rhythmic banding을 이루는 점, 磁鐵石이 石英-柘榴石帶를 切斷한 것으로 보면, 磁鐵石은 石英-柘榴石帶가 生成된 後에도 一部 沈澱이 繼續된 것으로 보인다. 또한 磁鐵石은 石英安山岩에 의해서 切斷되어 있으므로 石英安山岩의 貫入時期보다는 前期이다. 한편 綠簾石中에는 石英安山岩內에 細脈으로 存在하는 것도 있어 磁鐵石의 生成以後에도 形成되었다.

赤鐵石은 石英-柘榴石帶內에 單獨으로 나타나는 경

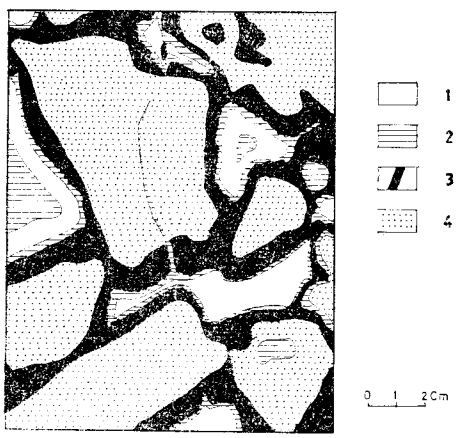

Fig. 8 Sketch showing cockade structure of magnetite ore 1. quartz 2. garnet 3. magnetite 4. epidote

MINERAL		PARAGENETIC SEQUENCE Earlier → Later
Skarn	Orthoclase	
	Epidote	
	Hedenbergite	
	Garnet	
	Quartz	
Oxide	Magnetite	
	Hematite	
Sulfide	Pyrite	
	Pyrrhotite	
	Marcasite	
	Chalcopyrite	
	Sphalerite	

Fig. 9 Paragenetic sequence of skarn and ore minerals in Mulgeum iron ore deposits.

우와 磁鐵石과 共存하며 磁鐵石을 交代하는 경우가 있는데, 어느 경우나 赤鐵石의 形成은 磁鐵石보다 後期임을 나타낸다. 그러나 後期의 黃鐵石에 의하여 切斷·交代되므로 이보다는 前記이다.

鑛石內의 黃鐵石은 前述한 바와 같이 酸化鑛物을 基準으로 그 前記에 形成된 早期黃鐵石과 그 後期에 形成된 後期黃鐵石이 大部分이다. 그러나 黃鐵石은 이외에도 propylitization 에 의해서 安山岩內에 散點狀으로 들어 있는 것과 石英安山岩의 裂罅을 채운 것이 있다. 그러므로 黃鐵石의 形成時期는 1)安山岩形成後 propylitization 時期, 2)磁鐵石形成直前, 3)磁鐵石 形成後, 4)石英安山岩貫入 以後로 나누어 볼 수 있다.

磁硫鐵石은 前期黃鐵石에 의해서 捕獲되어 있으므로 이 보다는 前期이다.

한편 黃銅石과 閃亞鉛石은 離溶關係에 있으므로 同時로 볼 수 있고, 黃銅石은 後期黃鐵石을 交代하므로 이보다는 後期이다.

以上으로 propylitization 時에 生成된 鑛物이나 石英安山岩以後에 生成된 鑛物을 除外하고, 主要鑛化期間中에 晶出한 鑛物들의 生成順序를 模式的으로 圖表에 表示하면 Fig. 9 과 같다.

III-2-5 流體包有物

流體包有物 硏究對象 試料는 石英, 方解石, 柘榴石으로서 産出狀態에 따라 磁鐵石鑛體內의 石英, 方解石의 結晶(dog tooth spar 및 六角柱狀結晶包含) 및 柘榴石結晶, 鑛體를 切斷하는 節理內의 方解石의 結晶等 總 50個를 坑道別로 採取하였다. 이들中 流體包有物이 없거나 크기가 너무 작아(20μ 以下) 測定하기 어려운 것 및 二次包有物의 可能性이 많은 것을 除하면 測定可能한 것은 鑛體內 空洞속에 發達된 水晶 8個, 節理內 方解石의 結晶 2個, 都合 10個밖에 되지 않았다.

本硏究에서는 流體包有物의 相을 基準으로 氣相·液相의 二相包有物을 Ⅰ型, 氣相·液相·固相의 三相包有物을 Ⅱ型으로 區分하였다. 本試料中 Ⅰ型은 石英, 方解石, 柘榴石에 모두 包含되나, Ⅱ型은 石英中에서만 發見되었다(photo 8). Ⅱ型 包有物中 固相은 光學的으로 等方性, 異方性, 透明 및 不透明鑛物等으로 多樣하다 .이中 等方性인 것은 正六面體의 外形을 갖는 것이 大部分이나 不規則한 것도 있는데 이들은 加熱實驗時 310~-360°C 에서 溶解되었다. 異方性인 것은 外形이 不規則하며 加熱實驗時 360°C 까지 加熱하여도 溶解되지 않았다. 正六面體의 外形을 갖는 等方性鑛物은 halite 일 可能性이 많다. 異方性인 鑛物은 流體包有物이 形成될 當時 trap 된 外來物質인지는 不明하다. 流體包有物內에 halite 결정이 들어있는 것이 많은 점으로 보아 그 염농도는 비교적 높아 보인다. 同一試片內에서 Ⅰ, Ⅱ型의 包有物이 共存할 경우 充塡溫度는 거의 類似하다.

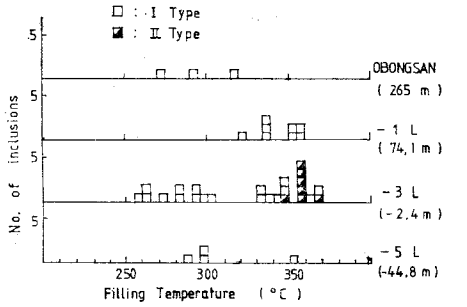

Fig. 10 Filling temperature of the fluid inclusion in quartz (Mulgeum iron ore deposits)

加熱實驗은 Leitz 會社製의 Model 350 SM-Lux 加熱顯微鏡으로 行하였다.

石英中의 流體包有物의 充塡溫度는 257°-370°C 인데 이는 257°-305°C 와 315°-370°C 의 2群으로 나뉘며, Ⅰ型보다는 Ⅱ型의 溫度가 높게 나타나며 Ⅰ, Ⅱ型이 共存하는 경우 350°C前後의 溫度를 보인다(Fig. 10). 方解石中의 流體包有物의 充塡溫度는 石英보다 훨씬 낮은 131°~172°C 로서 이는 方解石이 石英보다 後期生成物임을 指示하며 이는 産出 狀態와도 잘 一致되나, 이는 鑛床의 生成溫度와는 無關하다.

坑別로 본 流體包有物의 充塡溫度는 別差異가 없다 (Fig. 10).

Ⅳ. 斷裂系

慶南地域에 分布하는 脈狀鐵鑛床들에 對한 斷裂系分析을 爲하여 勿禁梅里地域의 野外調査와 勿禁鑛山坑內調査를 實施하였고, 이로부터 얻어진 資料를 Computer (IBM/370 system, SNU)를 利用하여 分析한 다음, 이를 慶南地域의 斷裂系에 對한 旣發表資料와 比較하였다.

旣資料(Yamanari 1924, 李旼成等 : 1964, 孫致武等 (1968)를 綜合해보면 慶南一帶의 優勢한 斷裂系는 NNE 이다.

勿禁一帶 安山岩質岩에 優勢하 節理系는 N80°W/90°, N 48°W/90°, N29°E/90°이며, 流紋岩의 경우는 N32°E/82°NW, N9°E/90°, N26°W/83°sw 이다. 한편 梅里一帶 流紋岩의 경우는 N18°W/84°NE, N30°E/81°SE, N85°W/51S°W 이며, 微文象花崗岩의 경우는 N65°E/90°, N30°W/81°SW이다. 이들을 綜合해보면 安山岩質岩, 流紋岩 및 角閃石花崗岩內의 節理系는 大體로 NS-NNE 의 것이 優勢하며 傾斜는 垂直에 가

Fig. 11 84 poles to magnetite veins contoured at 0–3%, 3–6%, 9–12%, 12–51% per 1% area.

깝다. 反面에 微文象花崗岩內의 節理系는 N65°E/90°로서 前者와는 다른 節理系가 發達한다.

勿禁—梅里一帶 火山岩類 및 角閃石花崗岩內의 優勢한 節理系는 金相旭等(1981)이 밝힌 節理系와 類似한 方向을 보이므로, 두 地域의 節理系는 同時生成일 可能性이 있다. 金等(1981)은 이節理系는 慶南一帶의 NNE 斷層 生成과 同一하며, NNE 및 NEE 方向의 廣域的 壓縮應力에 依한 剪斷應力과 NNE 方向의 水平動力에 의해서 生成되었으리라고 推定했다. 그런데 勿禁鑛山 鑛脈系(NNE/90°–50°SE Fig 11 參照)는 最少한 橫壓力에 依한 것이 아니라고 判斷되는 바, 慶南一帶 NNE 系의 應力場과는 時期를 달리하는 斷裂系로 보여진다.

한편 慶南一帶의 스카른型鐵鑛床들의 鑛脈分布를 보면 一部分 勿禁鑛床들의 鑛脈方向과 類似한 方向을 가지고 있다.

V. 鑛床의 成因

慶南地區의 스카른型鑛床은 蔚山鐵·重石鑛床中 石灰岩源스카른에 胚胎된 一部 鐵·重石鑛床을 除外하고는 모두 安山岩質岩을 母岩으로 하고 있으며, 大部分 微文象花崗岩類와의 接觸部나 그 가까이에 胚胎되어 있다. 또한 蔚山鐵·重石鑛床과 慶南鐵鑛床과 같이 各各 黑雲母·角閃石花崗岩과 黑雲母花崗岩이 分布되는 경우도 있으나, 이들도 岩體緣邊部로 감에따라 微文象花崗岩類와 類似한 組織을 보이고 있다. 여기서 微文象花崗岩類가 스카른型鐵鑛床들과 關聯을 가지고 가깝게 分布되어 있다는 點, 또 微文象花崗岩類는 AFM diagram, Or-Ab-An 과 Q-Ab-Or diagrams 上에서 볼 때 佛國寺花崗岩類에 比해 末期의 分化物로서 溫度와 壓力이 비교적 낮은 環境에서 固結되었고, 또한 fO_2도 높은 環境에서 形成되었을 可能性이 크며, 實際로 前者가 後者보다 더 많은 磁鐵石을 包含하고 있다는 點(朴等, 1976)等으로 미루어 보아 微文象花崗岩類가 本地域 스카른鑛床의 關係火成岩이라고 認定할 수 있다. 이들 鑛床들은 거의 共通的으로 NS-NNE 系의 斷裂性 裂罅를 充塡한 脈狀鑛床들로서, 慶南一帶에 優勢한 NNE系의 應力場과는 時期를 달리하는 斷裂系로 보여진다. 한편 鑛脈中에는 N20W, N55–70E N65W 등의 方向을 보이는 것도 있으나 이들은 鑛脈 周邊의 岩石의 分布狀態等 地域的인 變化에 起因한 것으로 보인다.

蔚山鐵·重石鑛床을 除外한 慶南地區의 鐵鑛床들은 單純한 裂罅充塡熱水鑛床으로 보고된 바 있다(黃: 1962, 1963 金等: 1969, 鑛業振興公社: 1972). 그러나 本鑛床들의 鑛體內와 그 周邊에서 柘榴石, 石英, 陽起石, 單斜輝石, 綠簾石, 正長石等의 스카른鑛物이 一部 또는 全部 産出되고, 또 勿禁, 梁成, 梅里等의 鐵鑛床에서는 鑛體를 中心으로 스카른帶가 石英–柘榴石스카른, 綠簾石스카른, 正長石–綠簾石스카른, 正長石스카른의 順으로 거의 對稱的인 分布를 보이는 點으로 보아, 蔚山鐵·重石鑛床을 包含한 慶南地區의 鐵鑛床들은 모두 스카른型 鑛床에 속한다. 이들 鑛床에서 보여지는 스카른의 帶狀分布는 國內外의 스카른型鑛床의 스카른에서 普遍的으로 보여지는 帶狀分布의 類型과 같다(Burt, 1971, Miyazawa 1978).

本鑛床들의 母岩인 安山岩質岩은 花崗岩體와 鑛體에서 멀리 떨어진 곳에서도 그 構成鑛物中에는 거의 綠簾石類로 變한 長石의 假像과 uralite 로 變한 單斜輝石의 假像外에도 少量의 方解石, 黃鐵石等이 많아 安山岩이 形成된 後 propylitization 을 이미 받은 것들이다. 朴永鎭(1980)과 金相旭(1982)에 의하면 慶尙系 安山岩質岩은 新鮮한 것을 찾아보기 힘들 程度로 變質을 받았다고 報告하였다. 이 地域의 安山岩質岩類의 propylitization 은 廣域的인 現象으로 花崗岩類와의 接觸部에 가까워짐에 따라 特히 그 程度가 높아지는 것을 볼 수 없는 것으로 보아, 花崗岩類의 貫入과 直接 關聯性을 認定할 수 없다. 이 propylitization 의 時期는 적어도 花崗岩類의 貫入이나, 鑛化作用보다는 以前일 것으로 생각되나, 具體的인 時期와 生成機構에 關하여는 앞으로 더 檢討하여야 할 課題中의 하나이다. 그러므로 本 스카른型鑛床의 母岩變質은 鑛化作用 以前의 propylitization 과 鑛化過程에 따른 變質이 重疊되어 나타난 것이다.

스카른形成過程의 成分變化關係를 考察하고자 安山岩質岩과 스카른을 化學分析한 結果는 Table 1. 과 같다. 이 地域의 安山岩質岩들의 平均値는 慶尙系安山岩質岩의 平均値(金相旭: 1982, 朴永鎭: 1980, 權成澤:

1979) 보다 큰 傾向을 보이며, 各成分들도 變化가 甚한데, 이는 安山岩質岩의 propylitization의 程度가 部分的으로 다른데 原因이 있다고 思料된다.

正長石스카른은 安山岩質岩에 比해서 K_2O가 增加한 反面 CaO가 減少되었는데, 이는 potassic metasomatism에 의해서 正長石이 形成된 結果로 보인다. 正長石-綠簾石스카른도 K_2O와 CaO가 增加되었는데, 이는 各各 potassic metasometism과 epidotizetion의 結果로 보인다.

또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 勿禁地域 安山岩質岩은 本域內 他地域 安山岩質岩에 比해서 Na_2O+K_2O의 含量이 높고, 特히 變質岩石에서는 若干 더 커지는 경향이 있다. 이 變質岩石을 勿禁鐵鑛床의 正長石스카른이나, 正長石-綠簾石스카른과 比較해 보면 兩者의 Na_2O+K_2O 含量은 비슷하나, 이 스카른들에서는 K_2O의 含量이 增加되는 傾向을 보이고 있으며, 特히 正長石스카른의 K_2O 含量이 훨씬 더 크다. 前述한 바와 같이 本鑛床의 關係火成岩으로 認定되는 馬山岩類의 K_2O 含量이 큰 點으로 보아, 이 鑛床에서의 스카른化作用은 微文象花崗岩類와 成因的으로 密接한 關係를 갖는 것으로 생각된다.

한편 綠簾石類의 化學成分은 $Ca_2(Al, Fe^{+3})_3Si_3O_{12}(OH)$이고, $Fe^{+3}/(Al+Fe^{+3})=0.00-0.40$이다. 여기서 $Fe^{+3}/(Al+Fe^{+3})=0.00-0.10$의 것은 조이사이트이고, 이와 同質多形이 클리노조이사이트이며, $Fe^{+3}/(Al+Fe^{+3})=0.10-0.40$의 것은 피스타사이트이다(Miyazawa, 1978). 日本 Fujigatani 鑛山의 혼펠스源스카른中 綠簾石의 化學組成은 $Fe^{+3}/(Al+Fe^{+3})=0.10-0.20$의 피스타사이트에 屬하는데, 스카른化中心部에 該當되는 柘榴石스카른에 接한 綠簾石·單斜輝石스카른中의 綠簾石은 보다 鐵分이 많은 $Fe^{+3}/(Al+Fe^{+3})=0.15\sim0.20$의 피스타사이트에 屬한다(Ito, 1962).

Deer et al(1962)의 綠泥石類 化學成分變化關係圖表에서 보면 펜닌보다 다이아반타이트가 $Fe^{+2}+Fe^{+3}$의 값이 더 큼을 알 수 있다. 勿禁鐵鑛床에서 보면, 鑛脈에 가까워짐에 따라 綠簾石類는 클리노조이사이트, 조이사이트에 비하여 피스타사이트가 增加하며, 綠泥石類도 펜닌보다 다이아반타이트가 增加하는 現象이 보인다. 이러한 點들은 鑛脈에 가까울수록 Fe의 供給을 많이 받을 수 있어서, 綠簾石類와 綠泥石類에서 各各 Fe 含量이 보다 많은 피스타사이트와 다이아반타이트가 生成될 수 있었던 것으로 생각된다.

勿禁鐵鑛床 空洞속에 發達한 水晶의 充塡溫度는 257°~370°C이다. 流體包有物의 充塡溫度로서 鑛床의 生成溫度를 定하자면, 壓力補正을 要하며, 이를 爲하여는 流體의 組成에 對한 資料가 必要하다. 이번에는 이들 流體包有物의 NaCl 相當 鹽濃度를 求하지 못하였다. 또한 本試料에서는 LCO_2 相의 存在나 流體의 沸騰現象을 나타내는 證據를 볼 수 없었다. 한편 水晶의 液體包有物中에는 halite로 보이는 六面體結晶等이 있다. 이러한 點으로 보아 實際 鑛化期間中 어느 時期의 鑛化流體의 鹽濃度는 相當히 높았을 것으로 짐작된다. 그러므로 이 資料로서 壓力을 補正한 溫度는 充塡溫度보다는 높을 것이다. 勿禁鐵鑛床의 産出狀態로 보아 生成深度는 그리 깊지 않을 것이므로 이 充塡溫度에 대하여 壓力補正을 하여도 鑛床生成溫度는 400°C를 크게 넘지 않을 것으로 보인다. 方解石內의 流體勿有物 溫度資料는 鑛化作用末期나 以後의 資料일 것이다.

한편 坑別로 본 流體包有物의 充塡溫度 分布가 大略 같은 範圍內에 드는 것은 深度에 따른 鑛床生成의 溫度變化가 없었음을 생각하게 한다. 한편 流體包有物에서 氣相만을 보이는 것이 있고, 充塡度가 比較的 큰 氣體·液體의 二相包有物 乃至는 氣體·液體·固體의 三相包有物이 나타난다는 點, 또 이로부타 밝힌 本鑛床의 生成溫度가 400°C 程度라는 點, 鑛體가 脈狀이라는 點과 鑛脈中 open space filling 現象을 나타내는 cockade structure가 發達되어 있다는 點等으로 보아 本鑛床은 熱水起源의 脈狀스카른型鑛床이라고 할 수 있다.

鑛化期間中 이 地域 鑛床에서 産出되는 重要鑛物의 晶出順序를 綜合해 보면 대체로 다음과 같다. 卽 1)正長石, 綠簾石, 2)磁硫鐵石, 早期黃鐵石 3)磁鐵石, 안드라다이트, 石英, 4)赤鐵石, 5)後期黃鐵石, 6)黃銅石, 閃亞鉛石, 7)方解石의 順이다. 여기서 鑛石鑛物들의 全體的인 晶出段階는 硫化鑛物→酸化鐵鑛物→硫化鑛物의 三段階로 크게 나눌 수 있다. 勿禁鐵鑛床에서 産出되는 流體包有物硏究에 의하면 充塡溫度로부터 推定되는 磁鐵石의 生成溫度는 約 400°C程度이고, 深度에 따른 鑛床生成溫度의 變化는 없는 것으로 生覺된다. 한편 後期의 黃銅石-閃亞鉛石은 離溶關係에 있으므로 그 最高生成溫度는 約 400°C로 推定되므로 磁鐵石生成段階로부터 黃銅石·閃亞鉛石의 生成段階까지의 溫度變化는 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서 勿禁鐵鑛床과 類似한 特徵을 보이는 慶南地區의 스카른型鐵鑛床의 主鑛化期間中의 溫度變化는 거의 없었다고 보여진다. 그러므로 이들 鑛床에서의 鑛石鑛物들의 生成條件은 주로 fO_2, fS_2에 의해서 支配된 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 12에서 대체적인 環境의 變化過程을 推定해 보면 다음과 같다.

初期에 晶出된 磁硫鐵石의 量이 적고, 早期黃鐵石

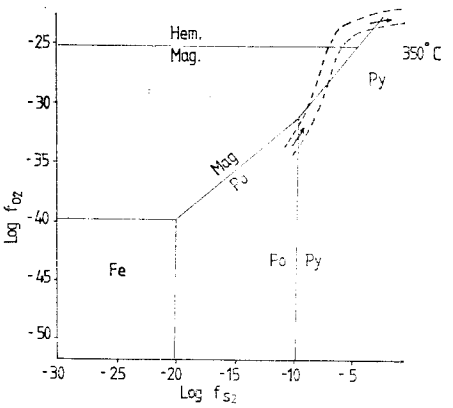

Fig. 12 The stabilities of sufilde and oxide minerals at 350 C. (adopted from Garrels and Christ, 1965)

속에 含有되어 나타나는 것으로 보아, 鑛石鑛物 晶出初期의 酸素分壓과 硫黃分壓은 Fig. 12의 아래 화살표 부근에 該當되는 값을 가졌었다고 生覺된다. 이어서 硫黃分壓이 增加되면서 黃鐵石을 晶出시켰다. 그後 酸素分壓이 높아져서 磁鐵石을 생성시켰고, 酸素分壓이 더 높아짐에 따라 赤鐵石이 晶出되었다. 여기서 硫黃分壓이 다시 높아지면서 多量의 黃鐵石을 形成시켰고, 그後 殘留溶液에서 黃銅石과 閃亞鉛石이 晶出되었다고 思料된다.

硫化鑛物들은 地表가까이에서의 表成作用으로 코벨라이트, 藍銅石, 孔雀石等으로 變하였다.

Ⅵ. 結　言

1) 慶南地區 스카른型鑛床의 鑛化作用과 成因的으로 密接한 關係를 갖는 火成岩은 佛國寺花崗岩系列에 屬하는 微文象花崗岩이다.

2) 本域의 스카른型鑛床은 大部分이 이미 propylitization을 받은 變質安山岩質岩을 母岩으로 하여 形成되었다. 但, 蔚山鐵重石鑛床에는 安山岩質岩과 함께 一部 石灰岩을 交代한 스카른型鑛床이 胚胎되어 있다.

3) 스카른型鑛床들은 거의 共通的으로 NS-NNE 系의 斷裂을 充塡한 鑛脈鑛床의 産出狀態를 나타낸다. 但, 一部 鑛床에서는 N20°W, N55°-70°E, N65°W 등의 方向을 보이는 것도 있다.

4) 安山岩質岩源스카른 鑛物은 安山岩質岩이 熱水溶液에 의해서 交代되어 形成된 것으로서 主로 柘榴石, 石英, 綠簾石, 正長石이고, 이밖에 單斜輝石, 陽起石이 少量 나타난다. 勿禁鐵鑛床의 경우, 柘榴石은 等方性 및 異方性의 안드라다이트(Ad 100%)이며, 綠簾石은 主로 피스타사이트이다. 蔚山鐵·重石鑛床의 石灰岩源스카른은 異方性그랜다이트(58~64 mol% Ad)와 사라이트(34~43 mol% Hd)인데, 安山岩質岩源스카른은 等方性柘榴石(42~64 mol% Ad)과 綠簾石이다.

5) 安山岩質岩源스카른은 一般的으로 鑛脈을 基準으로 對稱的인 스카른帶가 發達하는데, 대체로 鑛體內에 石英-柘榴石帶가 있고, 鑛體로부터 外側으로 綠簾石, 正長石스카른의 順으로 形成되에 있다. 경우에 따라 柘榴石, 單斜輝石, 陽起石스카른이 鑛體와 綠簾石스카른 사이에 介在하기도 한다. 石灰岩源스카른은 그랜다이트, 그랜다이트-사라이트, 사라이트스카른의 順이다.

6) 大部分의 鑛床에서의 鑛石鑛物은 主로 磁鐵石, 赤鐵石이며, 이밖에도 黃鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石, 閃亞鉛石等이 産出된다. 特히 蔚山鐵·重石鑛床에서는 灰重石, 硫砒鐵石, 方鉛石, 테난타이트等도 産出된다.

7) 鑛化期間中 이 地域 鑛床에서 産出되는 主要 鑛物의 晶出順序는 대체로 (1) 正長石, 綠簾石 (2) 磁硫鐵石, 早期黃鐵石 (3) 磁鐵石, 안드라다이트, 石英 (4) 赤鐵石 (5) 後期黃鐵石 (6) 黃銅石, 閃亞鉛石 (7) 方解石의 順이다. 이를 크게 보면 硅酸鹽鑛物→硫化鑛物→酸化鐵鑛物-硅酸鹽鑛物→硫化鑛物→炭酸鹽鑛物의 順이다. 但, 蔚山鑛山의 경우 早期스카른 形成期에 磁鐵石이, 後期스카른形成期에 硫化鑛物과 灰重石이 生成되었고, 全鑛化期間을 通한 晶出順序는 크게 보아 硅酸鹽鑛物→酸化鐵鑛物→硫化鑛物→炭酸鹽鑛物의 順이다.

8) 勿禁鐵鑛床의 生成溫度는 約 400°C 程度以下이다.

9) 本域 스카른型 鑛床의 生成時期에 있어서 鑛石鑛物의 生成條件의 變化는 主로 fO_2, fS_2 分壓差에 의한 것으로 보여진다. 대체로 初期에는 비교적 fO_2 가 낮은 狀態에서 硫化鑛物이 晶出되었고, 이어서 fO_2 가 커짐에 따라 酸化鐵鑛物이 晶出된 뒤, 다시 fS_2 이 커지면서 硫化鑛物을 晶出시킨 것으로 생각된다.

10) 硫化鑛物은 表成作用의 結果 코벨라이트, 藍銅石, 孔雀石等으로 變하였다.

參考文獻

Beasley, A. J., 1981, A computer program for printing geometrically accurate structural fabric diagrams, Computers & Geosciences, 7, pp. 215-227.

Burt, D. M., 1971, The facies of some Ca-Fe-Si skarns in Japan, C. I. W., 70, pp. 185-188.

車文星, 1976, 釜山地域의 佛國寺 酸性火成岩類의 岩

石學的 硏究, 鑛山地質, 9, pp. 85–106.

Church, B. N., 1975 Quantitative classification and chemical comparison of common volcanic rocks, Geol. Soc. of Am. Bull., V. 86, pp. 256–263.

大韓地質學會, 1973, 1/25萬 釜山地質圖, 國立地質鑛物硏究所.

大韓鑛業振興公社, 1972, 韓國의 鑛床, 第4號(鐵·重石編)

Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussuman, J., 1962, Rock forming minerals, I, II, III, Longmans.

Garrels, R.M and Christ C.L. 1965, Solutions, Minerals and Equilibria, Harper & Row.

黃仁典·金基皖, 1962, 勿禁鑛山調査報告, 地質鑛床調査硏究報告, 5, pp. 3–42.

Huchison C. S., 1974, Laboratory handbook of petrographic techniques, John Wiley & Sons.

Ito, K., 1962, Zoned Skarn of the Fujigatani mine, Yamaguchi prefecture, Japanese Jour. Geol. Geogr. 3, pp. 169–190.

金鍾煥·姜必鍾·林正雄, 1976, Landsat-1 映像에 依한 嶺南地域 地質構造와 鑛床과의 關係硏究, 地質學會誌, 12, pp. 79–89.

金相旭·李永吉, 1981, 楡川盆地 北東部 白堊紀 火山岩類의 火山岩面當 및 地質構造, 鑛山地質 14–1, pp. 35–49.

金相旭, 1982, 北部楡川盆地內에 分布하는 後期白堊紀 火山岩類의 岩石學的 硏究(地體構造와 關聯하여), 서울大學校 大學院 博士論文

金善億·姜洋平, 1969, 勿禁鑛山의 鑛體發達樣相과 그에 따른 探鑛計劃, 鑛山地質 2–1, pp. 13–34.

Kuno, H., 1966, Lateral variation of basalt magma across continental margins and island arc; in Poole, W. H. ed., Continental margins and island arcs, International upper mantle project symposium: Geol. Surv. Can. Paper, 66–15, pp. 317–335.

權成澤, 1979, 釜山地域火山岩에 對한 岩石學的 硏究, 서울大學校 大學院 碩士論文

李昌鎭·朴喜寅, 1976, 金海附近 酸性火成岩類에 關한 岩石學的 硏究, 地質學會誌 12–4, pp. 227–241.

李河榮·金相旭, 1964, 韓國地質圖 金海圖幅, 國立地質調査所

李峻東, 1969, 馬山附近 花崗岩質岩의 分化作用에 關한 硏究, 서울大學校 大學院論文集.

李旼成·姜必鍾, 1964, 韓國地質圖 梁山圖幅, 國立地質調査所

李商萬, 1972, 慶尙盆地內의 花崗岩類와 鑛化作用, 孫致武敎授 頌壽記念論文集, pp. 195–219..

———, 1974, 우리나라의 火成活動과 鑛化作用에 關한 關聯性硏究, 科學技術處 R–74–48.

李倫鍾, 李仁基, 1972, 韓國地質圖 彦陽圖幅, 國立地質調査所.

Miyashiro, A., 1975, Volcanic rock series and tectonic Setting; Ann. Rev. Earth-planet Sci., Vol. 3, pp. 251–269.

宮澤俊彌, 1978, 日本과 韓國의 接觸交代鑛床의 硏究, 宮澤敎授退官記念論文集, pp. A–3–146(‘ 。)

朴箕和·朴喜寅, 1989, 蔚山鐵·重石鑛床의 成因, 鑛山地質, 13–2, pp. 104–106.

朴揚大·尹亨大, 1968, 韓國地質圖 蔚山圖幅, 國立地質調査所.

————————, 1968, 韓國地質圖 方魚津圖幅, 〃

朴永鎭, 1980, 慶南 梁山–機張間 安山岩質岩類의 岩石化學 및 變質作用, 延世大學校 大學院 碩士論文.

Rittmann, A., 1973, Stable mineral assemblages of Igneous rocks, Springer Verlar, pp. 7–11.

孫致武·鄭昌熙·金鳳均·李商萬, 1968, 中生代의 地殼變動, 火成活動 및 鑛化作用의 時期에 關한 硏究, 科學技術處 E68–5

孫致武外4人, 1978, 韓國地質圖 東萊·月內圖幅, 資源開發硏究所.

山成不二磨, 1924, 朝鮮地質圖 第1集 密陽 및 楡川圖幅, 朝鮮總督府地質調査所(日語)

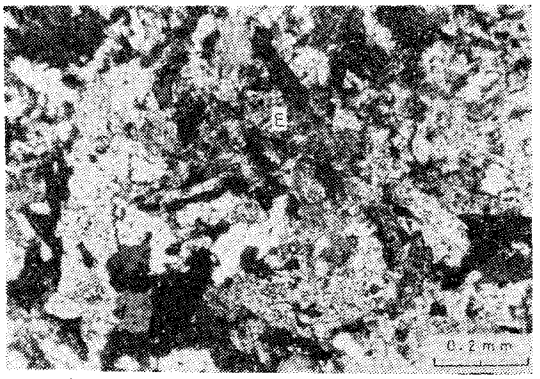

Photo. 1

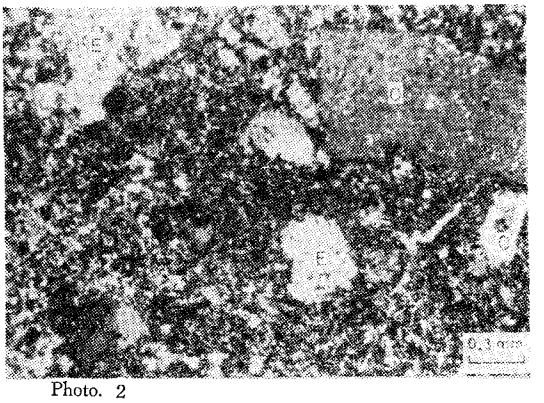

Photo. 2

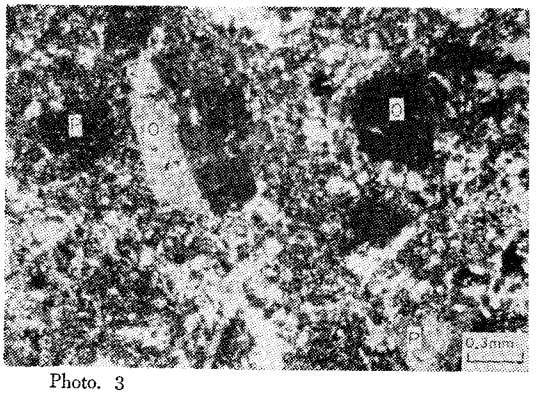

Photo. 3

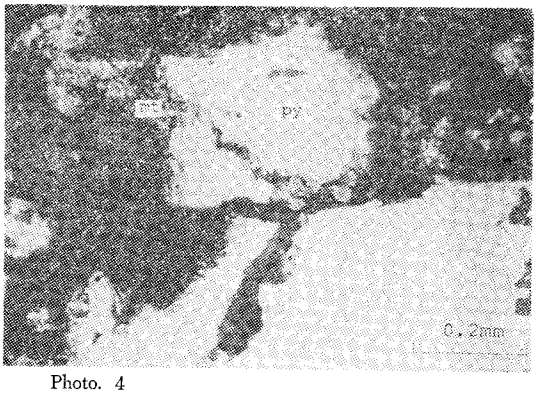

Photo. 4

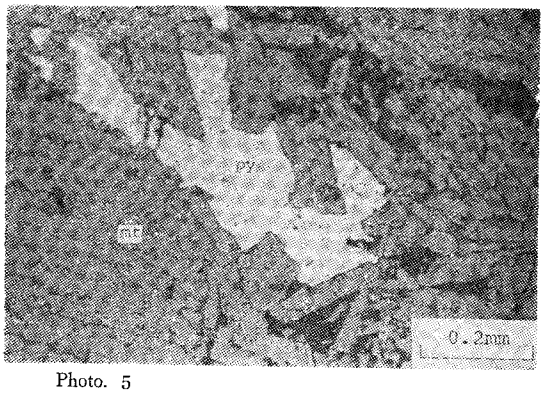

Photo. 5

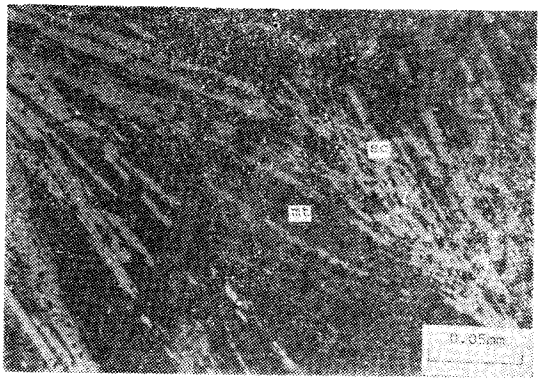

Photo. 6

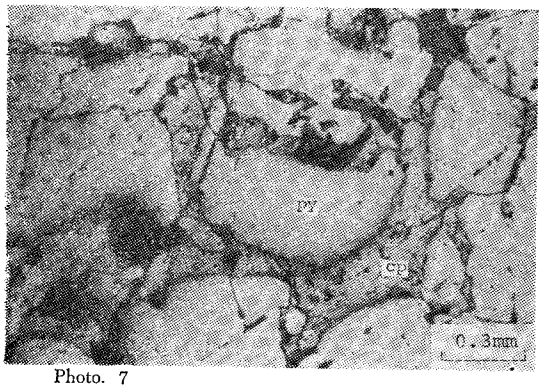

Photo. 7

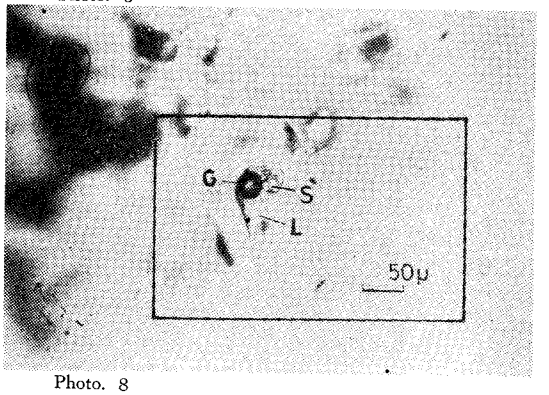

Photo. 8

Photo. 1. Epidote skarn. +nicols
E: epidote, Q: quartz

Photo. 2 epidote-Orthoclase skarn. +nicols
O: orthoclase, E: epidote,
P: plagioclase

Photo. 3 altered andesite. +nicols
O: orthoclase, P: plasioclase

Photo. 4. Early stage pyrites(py) replaced by magnetites(mt) along grain boundaries and fractures.

Photo. 5. Late stage pyrites(py) replace or cut magnetite(mt).

Photo. 6. Specular hematite(sc) replace magnetite(mt).

Photo. 7. Late stage pyrites are replaced by chalcopyrite.

Photo. 8. Type II iclusion in quartz.
G: gas phase, L: liguid phase
S: solid phase