

# 上東 重石鑛床의 主脈石 鑛物에 對한 地化學

文 建 柱\*

## Geochemistry of Main Gangue Minerals at the Sangdong Tungsten Deposit

Kun Joo Moon

**Abstract :** Microprobe analyses have disclosed geochemical compositions of the main components such as garnet, pyroxene, amphibole, chlorite, biotite, and muscovite in the Sangdong W skarn deposit and this study has identified several minerals which were previously unrecorded from this deposit; they are scapolite, zeolite, K-feldspar, rutile, illite and apophyllite. The  $Fe^{+3}/Fe^{+2}$  or  $Mg/(Mg+Fe)$  ratios of coexisting minerals represents that these minerals were partially in equilibrium.

### 序 言

上東鑛床은 많은 學者들의 연구대상이 되어왔기에 국내광산으로서는 가장 많은 연구논문이 발표된바 있다. 하지만 70년대 김상엽(1976)에 의한 XRF 분석결과가 발표되었을뿐 구체적인 광물분석은 이루어지지 않았다. 본 연구는 Tasmania 대학의 박사과정의 일환으로 이루어진 학위논문의 일부로 다루워진바 있다. Electron microprobe 를 이용한 주요 맥석광물의 분석은 종래 현미경관찰에 의존해 命名되어졌던 일부 광물들에 대한 화학조성이 밝혀짐으로써 현미경감정만의 광물명에 다소 수정을 加할 필요성이 들어났고 累帶分布를 이룬 本鑛體의 상호관계가 밝혀짐으로써 광체성인상의 문제점 해결의 실마리를 찾게 되었다. 본 연구를 가능케 해준 Tasmania 대학 당국에 감사하며 논문의 일부를 학계에 발표할수 있도록 기회를 주신 朴肯植소장과 김상엽실장께 감사드리고 싶다.

### 鑛床 · 地質概要

상동광산에 대한 지질은 문진주(1974)가 정창근(1964) 전용원(1967, 1970) · 김옥준 · 박희인(1970)의 조사자료를 기초로 누대분포를 종합한바 있다. 이 보고서에서는 채취된 연구대상 광물의 產出위치를 이해하는데 필요한 사항만을 요약키로 한다.

상동광산의 본광체(M1 이라 불리움)는 모봉층에 협재된 석회암의 최상위층(層厚=약 7 M)이 대보지각운동과 백악기의 중석광화작용(Farrar 등 [1978]의 연대측정결과)에 따라 광화된 Skarn 광체로써 수평연장 1.5

Km 경사연장 1.6Km 이상되는 대규모 회중석광체이다. 이 광체는 主脈石광물종류에 따라 累帶分布를 보여주는데 鑛體 中央部位에 石英—雲母帶가 주로 나타나며 이는 角閃石帶에 의해 둘러 쌓여져 있고, 이들은 다시 바깥부위의 輝石—柎榴石帶에 의해 둘러 쌓이고

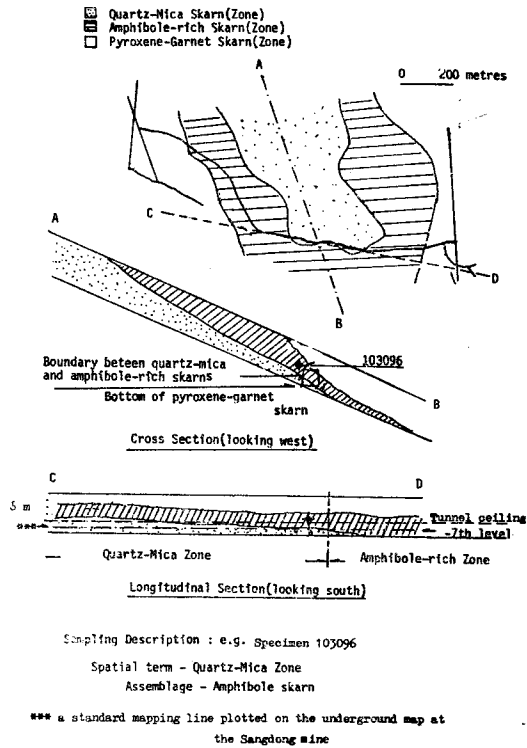


Fig. 1 Illustration of difference in usage between zone and skarn at the Sangdong mine.

\*한국동력자원연구소

있기 때문에 主脈石 鑛物에 依한 岩色의 차이로서도 累帶分布를 詳사리 구별할 수 있다.

이와 같이 上東鑛床에서 스카른 累帶分布를 이루고 있음은 뚜렷하나 各스카른帶內에도 後期交代作用에 依하여 角閃石의 優勢한 部分 또는 輝柘, 柘榴石이 優勢한 部分等이 形成되고 있어 이들은 角閃石스카른, 輝石, 柘榴石스카른 等으로 區分하고 鑛物共生關係를 밝히기 爲한 分析을 實施하였다(Fig. 1 참조). 輝石-柘榴石帶에 보이는 角閃石스카른은 대체로 脈狀을 이루며 石英-雲母帶에서 드물게 보이는 輝石-柘榴石스카른은 交代殘留 흔적을 보이는 塊狀으로 産出되고 있어 鑛體를 形成시킨 交代作用은 石灰石→柘榴石-輝石스카른→角閃石스카른→石英-雲母스카른의 過程을 거치었음을 뚜렷이 보이고 있다.

主脈石 鑛物의 化學成分

분석대상의 시료는 본광체중 세 累帶分布를 정연하게 관찰할 수 있고 접근할 수 있는 下7坑 水平坑道에서 많은 시료를 채취하였고, 開坑以來 一次 採鑛되었던 中央部位의 再採掘作業으로 새로이 나타난 下1~3坑의 石英-雲母帶에서도 시료를 보충하였다.

Microprobe 분석결과를 편의상 전성분을 正規化(normalize)하여 對比토록 하였고 개별광물은 최소한 5개 點(points)에 대한 분석결과와 平均值를 수표화하였다.

柘榴石 (Garnet)

柘榴石은 대체로 無水스카른(anhydrous skarn)에 局限되어 관찰되나 아주 드물게 石英-雲母스카른과 角閃石스카른에서 交代殘留鑛物로 感知된다. 各스카른別로 구분 분석된 柘榴石의 化學成分과 下7坑에서 일정 간격으로 채취된 輝石-柘榴石스카른內의 柘榴石의 化學成分은 柘榴石群의 복합적성분을 이루고 있어 그들의 端成分 andradite-grossularite-기타 (pyrope+spes-sartine+andradite+uvarovite)로 묶어 세 端成分比를 Fig. 2에 圖示하였다.

대체로 wollastonite와 garnet이 우세한 스카른에 산출되는 初期의 柘榴石은 andradite에 가까운 성분을 보이며 보다 후기에 생성된 輝石-柘榴石스카른중의 석류석은 grossularite에 가까운 성분을 보여주는 傾向이 있다. 그러나 Fig. 2에서 보여주는 것처럼 下7坑의 輝石-柘榴石스카른을 이루고있는 석류석은 두 端成分 andradite와 grossularite 사이의 廣範한 成分변화를 보여주고 있다. 즉 가장 andradite에 가까운 경우 87 mole %의 andradite와 10 mole %의 grossularite 성분을 보이며 grossularite에 가까운 석류석은 87 mole

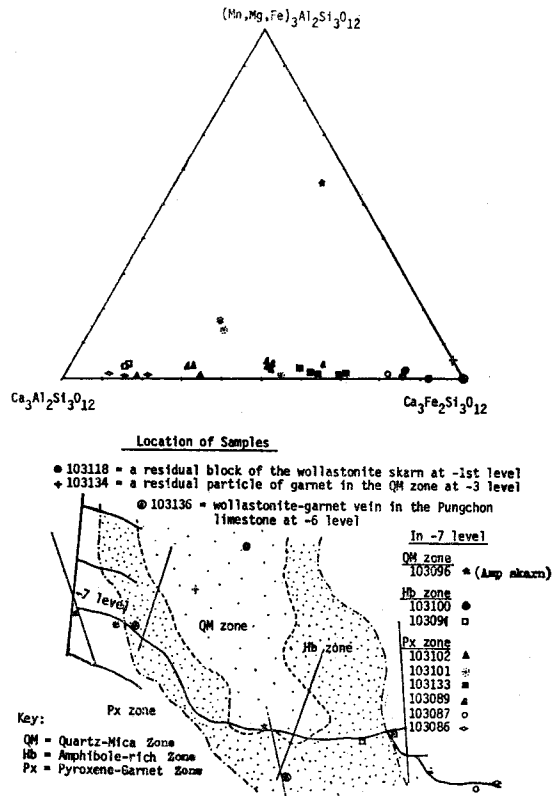


Fig. 2 Chemical compositions of garnets plotted in terms of mole% of grossularite, andradite and others.

%의 grossularite 성분을 나타내고 있다. 初期生成 柘榴石 (wollastonite 스카른과 garnet 스카른중의 garnet)은 MnO 성분을 거의 함유치 않음으로써 後期에 생성된 석류석과는 화학적으로 구분되는 특징을 보인다.

습수스카른(amphibole skarn과 mica skarn) 중의 柘榴石의 분석결과를 약간의 문제점이 있긴 하지만 아주 드물게 나타나는 異常柘榴石은 분명 질차 交代作用이 深化된 부위에 殘留되어짐으로써 성분의 變異를 가져왔을 것으로 믿어진다. 즉 pyrope-almandine-spessartine을 端成分으로 하는 석류석으로 無水스카른의 것과 분명 화학적으로 구분됨으로써 상당량의 Fe가 二價鐵로도 존재하고 있음을 보여주고 있다.

上東鑛山에 産出하는 柘榴石의 색은 진한 갈색으로부터 연갈색 또는 초록색을 띤다. 시료 103098의 갈색 andradite는 TiO<sub>2</sub>와 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 거의 갖지 않는 無色の garnet과 구별되어짐으로써 마치 색깔이 성분함량에 따른 영향을 받고 있는것 처럼 나타난다. grossularite(에 가까운) 柘榴石은 二價鐵함량의 증가에 따라 갈색을 띤다(예 : 103102) 초록색의 석류석은 상당량

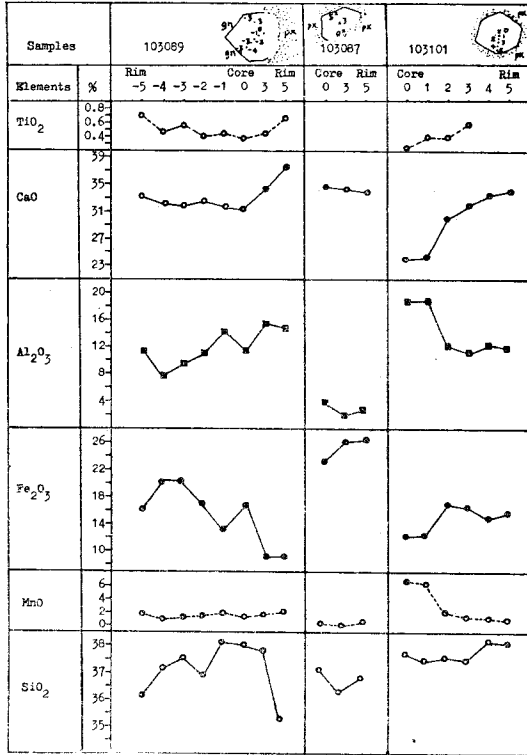


Fig. 3 Variation in chemical compositions of zoned garnets.

의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 함유하고 있어 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 함유치 않은 갈색의 것(103136 과 103054)과 화학적 성분의 相異點을 드러내 보인다. 그러나 이상 열거된 garnet의 성분과 색깔과의 관계는 확실성이 없으므로 이들 원소가 어느 특정한 색을 결정케하는 요소가 되고 있다고 단언할 수는 없다. 다만 이들 원소들이 서로 다른 색깔의 결정사이에서 또는 한 결정의 累帶組織에서 서로 相異한 함량의 변화를 보이고 있음이 분명하다.

單一結晶의 柎榴石이 갖는 化學成分變化의 범주는 서로 다른 스카른類의 柎榴石 또는 서로 다른 광체전반을 다른 柎榴石들이 보이는 변화와 거의 유사한 양상의 범위를 보인다. Fig. 3에서 보여주고 있듯이, grossularite에 가까운 성분의 柎榴石(103089와 103101)은 결정의 안쪽으로부터 바깥쪽으로 감에 따라 TiO<sub>2</sub>와 CaO 성분이 증가하고 SiO<sub>2</sub>는 감소하는 경향을 보이며, andradite에 가까운 성분의 柎榴石(103087)은 TiO<sub>2</sub>를 함유치 않고, CaO 성분은 안쪽으로부터 바깥쪽으로 감소하는 경향을 보인다. 두 端成分類의 柎榴石 결정이 內外殼에서 갖는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 거의 규칙성을 찾아볼수 없고 다만 이들 두성분의 함량은 서로 반비례하고 있을 뿐이다. MgO 성분은 상동의 석류

석에 거의 함유되지 않고 있으나 輝石과 共生하는 柎榴石의 가장자리에서는 이따금 檢出된다. 이는 柎榴石과 輝石이 부분적으로 평형상태를 이루었음을 暗示해 주고 있다. 柎榴石 결정의 帶狀構造는 일반적으로 색깔, 낮은 복굴절률(birefringence), 또는 소광각등의 변화를 보여주고 있으며 이들의 화학성분의 변화를 圖示하면 Fig. 3과 같다.

輝石 (Pyroxene)

스카른광체中에 가장 많은 量을 차지하고 있는 輝石의 화학성분은 hedenbergite-johannsenite-diopside 固溶體계열을 이루며 이들이 보이는 성분분포는 3~95 mole %의 hedenbergite, 0~13 mole %의 johannsenite 3~97 mole %의 diopside 성분을 보이고 있다. Fig. 4가 보여주고 있듯이 wollastonite 스카른과 상반맥(H<sub>1</sub>)에 產出하는 初期生成 輝石은 diopside에 가까운 성분을 갖으나 wollastonite 스카른(103118)과 本鑛體(M<sub>1</sub>)에 많이 產出하는 後期輝石은 거의 hedenbergite에 가까운 화학성분을 갖는다.

輝石-柎榴石스카른은 여러 곳에서 그 產狀과 組織

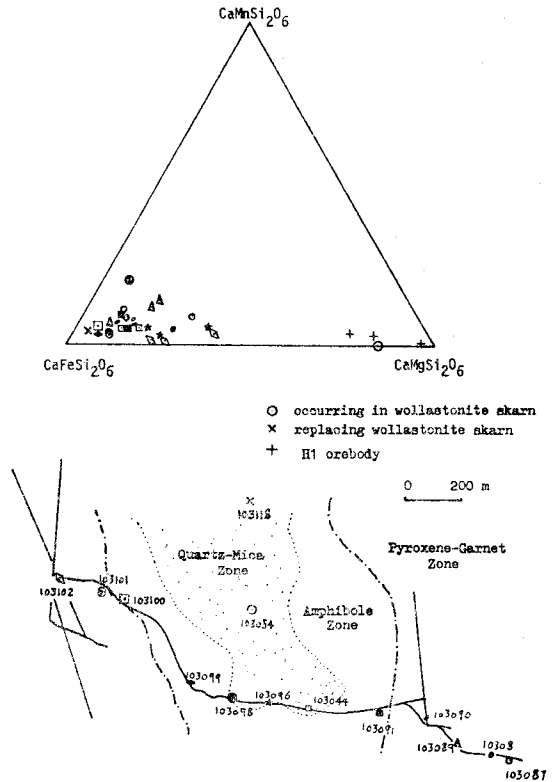


Fig. 4 Pyroxene compositions plotted in terms of mole % of hedenbergite, johannsenite and diopside.

Table 1 Comparison of chemical composition between early and late formed pyroxenes.

	Late Pyroxene			Early Pyroxene			Average	
	103118 b	103104 e1	103083 px4	103118 a	103104 a2	103083 c1	late	early
SiO <sub>2</sub>	47.65	49.20	49.55	48.56	48.90	49.29	48.80	48.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63	0.22	0.23	n. d	n. d	n. d	0.36	n. d
FeO	27.00	25.10	20.62	26.62	24.84	21.91	24.24	24.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
MnO	1.97	2.50	3.18	1.51	2.43	4.22	2.55	2.72
MgO	1.26	0.71	3.56	0.74	1.32	1.67	1.84	1.24
CaO	21.17	22.27	22.87	22.57	22.52	22.90	22.10	22.66
Na <sub>2</sub> O	0.32	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	0.11	n. d
*Total	100.00	100.00	100.01	100.01	99.99	99.99	100.0	100.0

Numbers of ions on the basis of 6 oxygens

Si	1.964	2.011	1.992	1.996	2.000	2.005
Al	0.031	0.010	0.011	0.000	0.000	0.000
Fe	0.931	0.858	0.693	0.915	0.850	0.745
Mn	0.069	0.087	0.108	0.053	0.084	0.146
Mg	0.078	0.043	0.213	0.046	0.080	0.101
Ca	0.935	0.975	0.985	0.994	0.987	0.998
Na	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.034	3.984	4.002	4.004	4.001	3.995
X <sub>hd</sub>	0.864	0.868	0.683	0.902	0.838	0.751
X <sub>jh</sub>	0.064	0.088	0.107	0.052	0.083	0.147
X <sub>dp</sub>	0.072	0.044	0.210	0.045	0.079	0.102

에 따라 初期와 後期生成의 輝石을 區分할 수 있는바 Table 1 은 이처럼 구분된 輝석결정에 대한 분석결과이다. 초기 輝石에는 Al 성분이 檢出되지 않는 점에서 後期の 것과 구분이 된다. 後期輝石은 주로 單一鑛物群의 輝石스카른을 이루며 보다진한 녹색을 띄고 Al 성분을 함유하는바 이는 분명 柘榴石을 交代하여 얻어진 것으로 추정된다.

한 시료(103104)에서 後期輝石이 初期輝石을 脈狀을 이루어 교대하며 石英을 수반하고 있어 이 두 결정들에 대한 분석 결과를 Fig. 5a 와 Fig. 5b 에 圖示하였다. 石英脈內에서 晶出된 後期輝石은 결정의 안쪽에서보다 모서리부위에서 hedenbergite 에 가까운 성분을 가지나, 初期輝石은 결정의 가장자리보다 중앙부위에서 hedenbergite 에 가까운 성분을 가지고 있다. 이와같은 성분상의 변화는 Mg/Fe 率을 달리하는 流體(fluid)와 平衡狀態에 이르는 성분상의 進化性을 불완전하게 나타내는 實例라 할 수 있다.

#### 柘榴石과 輝石 사이의 成分상의 關係

Zharikov(1970)는 輝石中の hedenbergite 함유물과 柘榴石中 andradite 함유비를 아래와 같은 식으로 규정할 바 있다.

$$K' = X_{hd}/1 - X_{hd} / X_{ad}/1 - X_{ad}$$

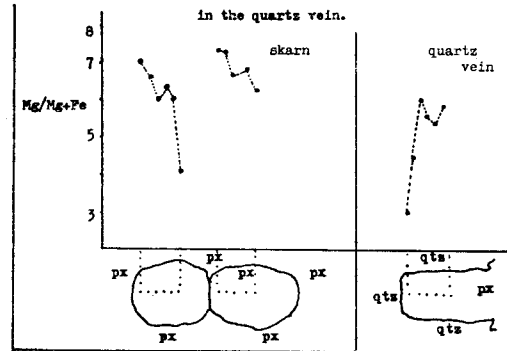
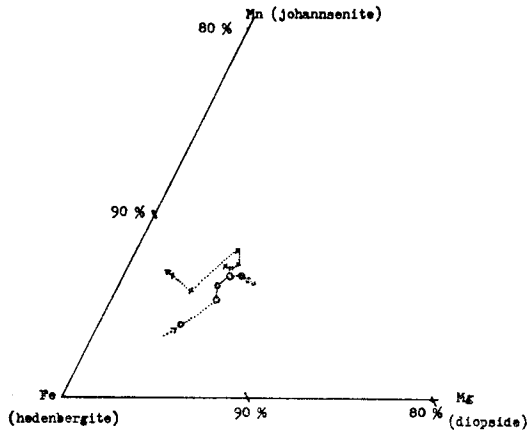


Fig. 5a Compositional zonation within the pyroxenes, and differences between the early and late pyroxenes in specimen 103104.

여기서 X<sub>hd</sub>와 X<sub>ad</sub>는 輝石과 柘榴石의 mole %이다. 그는 W-Mo 스카른은 높은 K' 값을 보이며 Cu-Pb-Zn-Fe 스카른은 낮은 K' 값을 갖는다고 기술한 바 있다. Burton(1987)이 시도한 鐵의 相互含量比는 Zharikov(1970)의 K' 값과 同一한 결과를 보였다. Einaudi(1977)와 Burton(1978)은 W-Mo 스카른이 갖는 K' 값은 1.0보다 크다는 것을 실증해 보이면서 이것은 산화 상태에 관계되고 있음을 밝힌 바 있다.

Fe 성분値를 柘榴石에서는 Fe<sup>+3</sup>, 輝石에서는 Fe<sup>+2</sup>로



\*Arrows indicate change in the composition from the interior of the grain to the edge.  
 core ○○○○○○●●●●●●▶ rim  
 pyroxene in the skarn (early)  
 core ××××××××××▶ rim  
 pyroxene in the quartz vein (late)

Fig. 5b Comparative variation in the ratio of Mg/(Mg+Fe) between the early pyroxene in the skarn and the late pyroxene.

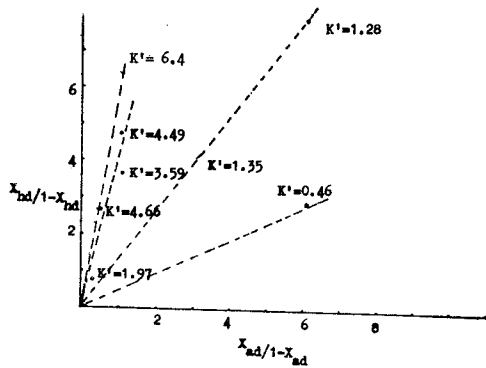


Fig. 6 Plotted K' values of average ratios of Xhd/Xad between garnet and pyroxene.

가정하고서 andradite 와 hedenbergite 결정들의 평균분석치를 이용해 K' 값을 산출하였다. 대체로 K' 값은 일정치 않으나 예상한바와 같이 주로 1.0보다 높게 계산되었다. 많은 분석자료중 輝石-柘榴石으로 共存하는 것들의 분석결과를 평균하여 K' 값을 구해본 것이 Fig. 6이다. 거의 일정치 않은 이들 값은 대부분의 主 輝石과 柘榴石 결정들이 晶出하는 동안 平衡을 이루지 않았음을 간접적으로 나타내고 있는듯 하다(즉 많은 柘榴石이 輝石으로 交代되어졌다). 하지만 Fig. 7에서 보여주듯이 일부 柘榴石결정의 가장자리의 Fe 값과 이에 接한 輝石의 Fe 값을 圖示한 結果는 최종적으로 柘榴石의 결정작용중 마지막 단계에서 두 광물은 平衡상

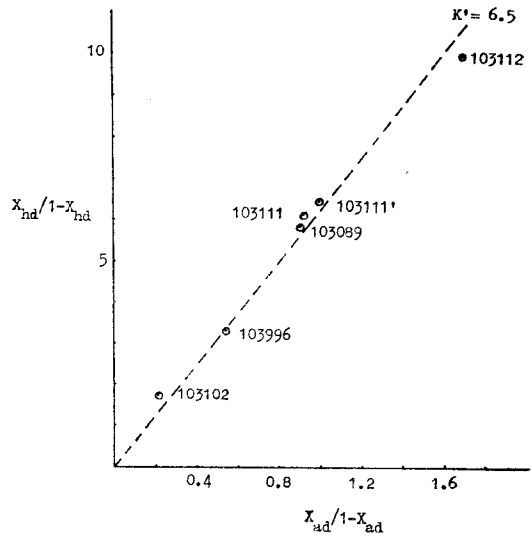


Fig. 7 Plotted K' values using analysed data from garnet and pyroxene pairs.

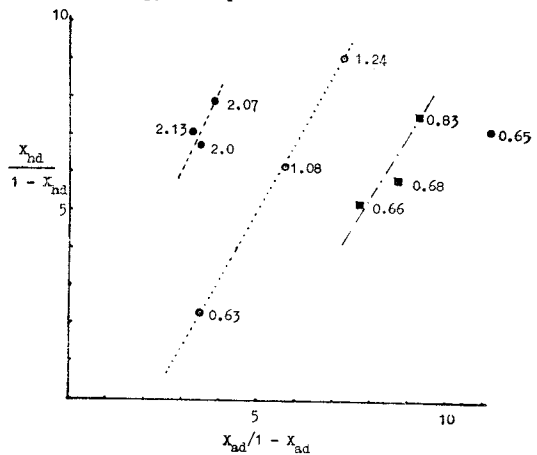


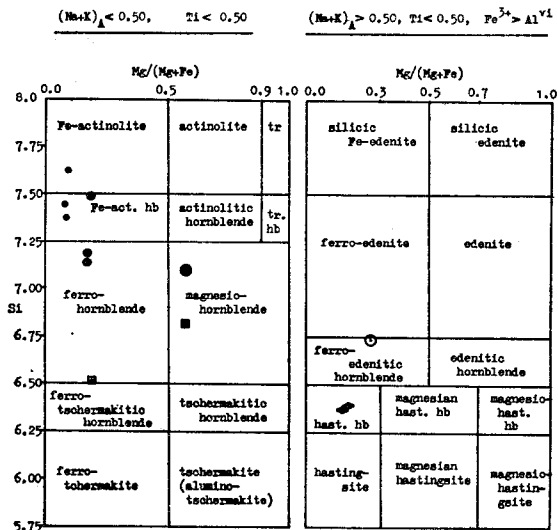
Fig. 8 Plotted K' values using analyzed data from co-existing garnet (rim) and pyroxene pairs.

태에 이르러수 있음을 나타내준다.

위와 같은 방법으로 분석된 결과를 그 결정들의 産源 skarn 別로 구분하여 圖表로 나타내 보면 Fig. 8과 같다. 여기서 含水스카른(hydrous skarn)에서 채취된 시료(103100)는 K' 값이 1보다 작은 값을 보인다. 이는 含水스카른의 형성과정중 결정경계부의 再成分交換作用이 일어났음을 암시하여주며 當時 熱水溶液中の f<sub>02</sub> 와 (또는) X<sub>CO2</sub>의 증가가 있었음을 추리할 수 있다.

角閃石(Amphibole)

종래 上東鑛山 角閃石은 hornblende, tremolite 또는



Average chemical composition of amphibole

- in the quartz-mica zone
- ◐ in the middle of the amphibole-rich zone
- ◑ in the pyroxene-garnet zone
- in slate
- in the cherty rock
- ◐ Amphibole replacing garnet
- ◑ Amphibole replacing pyroxene

Fe = ferro, tr = tremolite, tr. = tremolitic, hast. = hastingsitic, hb = hornblende.

Fig. 9 Amphiboles plotted in the diagram from Leake (1978). Calcic Amphibole:  $(Ca+Na)_B > 1.34$ ,  $Na_B < 0.67$

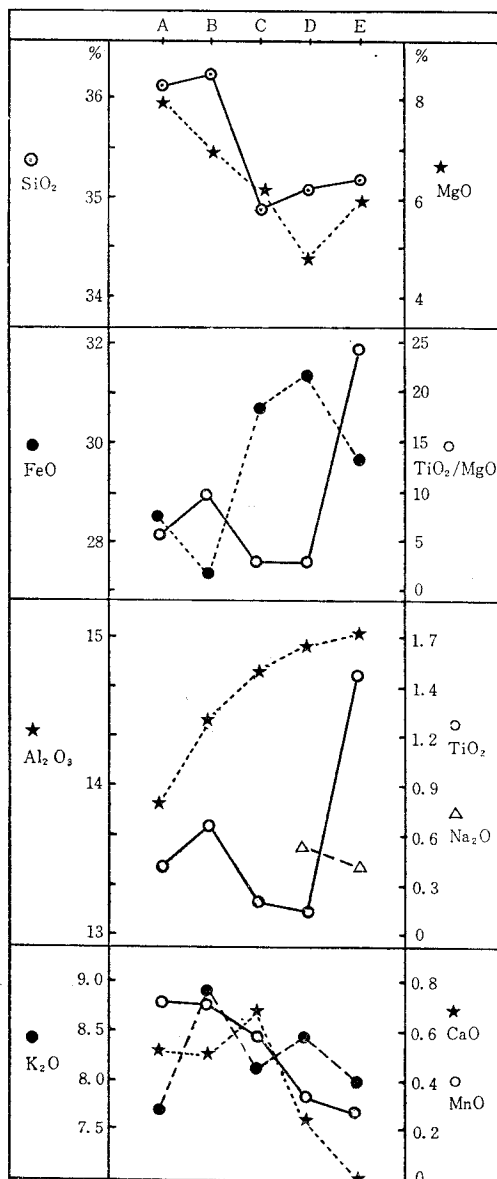
actinolite로 區分되어 왔으나 Microprobe 분석과 일부 FeO의 비색분석 결과를 Leake(1978)의 角閃石 標準公式에 대입시켜 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다.

Fig. 9에서 보여주는 것처럼 角閃石富化帶에 가까운 石英-雲母帶에서 나는 角閃石은 ferroedenitic hornblende의 성분을 갖는다. 角閃石帶의 主構成員인 角閃石은 他 skarn帶에서의 것보다 Fe(total),  $Al_2O_3$ 와  $K_2O$ 가 더 높고  $SiO_2$ 와 MgO가 적게 함유된다. 즉 이 角閃石은 hastingsitic hornblende이다.

Cherty rock과 slate내에 脈狀으로 나타나는 角閃石은 角閃石帶의 것보다  $Al_2O_3$ , Fe(total),  $Na_2O$ 와  $K_2O$ 가 낮고  $SiO_2$ 와 MgO를 높게 함유하는 magnesio-hornblende에 屬한다.

輝石-柎榴石帶에 산출하는 角閃石의  $SiO_2$  성분은 41~48%에 이르는 변화를 보이며 角閃石帶로 갈수록  $K_2O$ 는 감소된다. 柎榴石을 交代한 角閃石은 ferroactinolite 또는 ferroactinolitic hornblende에 屬하며 透輝石을 交代한 角閃石은 ferroactinolitic hornblende 또는 ferrohornblende에 該當된다.

이와같은 角閃石成分의 변화는 初期 輝石-柎榴石스



Quartz-Mica Skarn      Amphibole Skarn  
 A=sample 103092      D=Sample 103120  
 B= " 103097      Pyroxene-Garnet Skarn  
 C= " 103093      E=sample 103119

Fig. 10 Variation in chemical composition of biotites occurring in different zones.

카른의 변화과정을 반영하는 것으로 생각되며 角閃石을 晶出케한 溶液의 성분변화를 暗示하여 준다. 어떤 角閃石은 가장 자리에서 chlorite化되어 있다. 角閃石 결정의 중심부로부터 바깥쪽으로의 화학성분 변화는 대체로 불규칙하지만 한 시료(103140)에서는 특이한

규칙적 변화를 갖는바  $K_2O + Al_2O_3 / SiO_2 + FeO + MnO$ 의 비율이 중심으로부터 가장자리쪽으로 가면서 감소하고 있다.

**黑雲母 (Biotite)**

各 스키론 帶에 産出하는 黑雲母의 相異點을 比較하기 위하여 化學組成의 變化를 圖示하면 Fig. 10과 같다.

本脈 中央部の 雲母帶의 가장자리와 그 안쪽에서 산출되는 黑雲母(103092, 103093, 103097)의 성분은 角閃石과 輝石—柎榴石 스키론中의 黑雲母 (103120, 103119)보다 높은  $MgO$ ,  $MnO$  및  $CaO$  함량을 보여준다. 黑雲母 내의  $Al_2O_3$ 의 함량은 中央富化帶로부터 바깥쪽 富化帶로 가면서 증가하는 경향이며  $MnO$  함량은 감소하는 추세를 보이고 있다. 輝石—柎榴石 스키론中에 産出하는 黑雲母는 높은  $TiO_2$ 의 함량과  $CaO$ 를 함유하지 않고 있는 것으로 특징지워진다.

角閃石을 교대한 黑雲母와 輝石을 교대한 黑雲母를 비교하여 보면  $MgO$ 와  $TiO_2$  성분이 후자의 경우 더욱 높게 함유되고 있으나 殘存하고 있는 角閃石과 輝石中の  $MgO$ ,  $TiO_2$  성분은 角閃石에서 높은 함량을 보이고 있어 相反관계를 이룬다.

石英—雲母帶의 변두리에서 角閃石과 함께 산출되는 黑雲母(103093)는 內帶에서 綠泥石과 함께 산출되는 것(103097, 103092)과는 약간 다른 분석결과를 보인다. 後者는 250M 이상 떨어져 있는 것이긴 하지만 거의 유사한 성분을 갖는다(Fig. 10). 帶의 가장자리에서 채취된 黑雲母는 石英—雲母帶안쪽의 黑雲母보다  $FeO$  성분을 높게 함유하고  $MgO$  성분을 낮게 함유하고 있다.

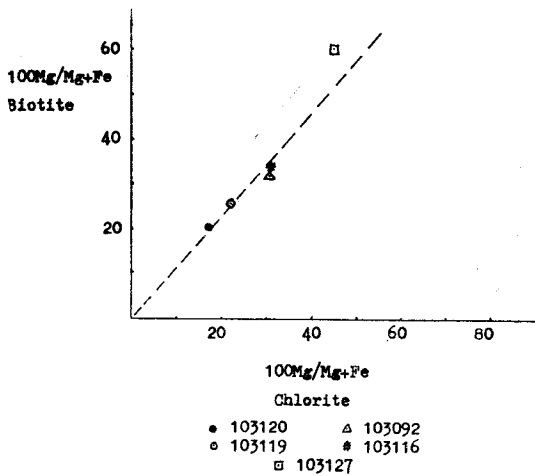


Fig. 11 Ratios of  $Mg/(Mg+Fe)$  in biotites and coexisting chlorites.

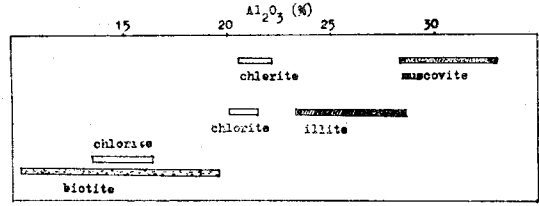


Fig. 12-1 Variation in  $Al_2O_3$  content of chlorites related to the  $Al_2O_3$  content of coexisting minerals.

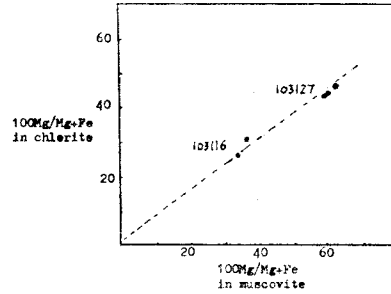


Fig. 12-2 Correlation of the ratios of  $Mg/(Mg+Fe)$  in coexisting chlorite and muscovite.

상동 黑雲母의 強한 多色性에 따른 色의 變化는 特정한 것으로 Deer 등(1963)이 밝힌바와 같이  $TiO_2 / MgO : Fe(total)$ 에 따라 색이 정연하게 변화하지는 아니하나 분명 갈색의 黑雲母는 綠色 黑雲母보다 높은  $TiO_2$  성분을 함유함으로써 화학적으로 상이점을 보이고 있다.

共生(存)하는 黑雲母와 綠泥石의  $Mg/(Mg+Fe)$ 의 평균 率을 대비하는 그림을 그려 보면(Fig. 11), 이들 사이는 서로 직선상의 상호관계를 보임으로써 이들은 晶出段階에서 化學的 平衡상태에 이르러 있을 수 있었음을 나타내 보이고 있다.

**白雲母(Muscovite)**

白雲母의 産出은 石英—雲母帶에 局限하며 黑雲母를 交代하여 生成된 것 같다.

예외적으로 輝石—柎榴石 스키론을 교대한 石英—雲母脈에서 채취된 白雲母(103127)는 石英—雲母 스키론帶의 白雲母(103116 과 103117)보다  $Al_2O_3$ 를 낮게 함유한다(Table 2).

대체로 白雲母내의  $MgO$ 와  $K_2O$  함량은 深度에 따라 증가하는 경향을 보인다.  $CaO$ 는 흔히 上部 體內的 것으로부터 검출되며 이들은 흔히  $Na_2O$ 를 함유치 않는다.

$Mo$ 를 많이 함유한 灰重石에 수반되는 白雲母(103116)와  $Mo$ 를 거의 함유치 않는 灰重石에 수반된 白雲母(103117)가 보이는  $Mg/(Mg+Fe)$ 율은 상당한 차이를

Table 2 Chemical compositions of muscovites.

	103116		103117			103127		
	a-1	b-1	a-3	c-1	e-1	b-1	c-1	d-2
SiO <sub>2</sub>	48.35	48.10	48.53	47.83	48.37	48.39	48.37	47.37
TiO <sub>2</sub>	n. d	n. d	n. d	0.42	n. d	n. d	n. d	n. d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.0	32.36	32.49	32.96	32.35	29.14	28.37	30.25
FeO	3.36	3.73	1.81	1.76	2.14	3.68	3.73	3.77
MnO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
MgO	0.99	1.18	1.7	1.57	1.68	3.39	4.06	3.00
CaO	0.63	0.61	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
Na <sub>2</sub> O	n. d	n. d	0.55	0.64	0.50	0.31	0.34	0.30
K <sub>2</sub> O	10.66	10.02	10.9	10.93	10.95	11.11	11.04	11.21
Total	95.99	96.0	95.98	96.11	95.99	96.02	95.91	96.0

Numbers of ions on the basis of 22 oxygens

Si	6.443	6.4	6.429	6.347	6.422	6.498	6.504	6.376
Al	1.557	1.6	1.571	1.653	1.578	1.502	1.496	1.624
Al	3.470	3.475	3.503	3.487	3.484	2.812	3.488	3.190
Ti	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.374	0.415	0.201	0.196	0.237	0.412	0.420	0.424
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.196	0.233	0.337	0.310	0.333	0.678	0.814	0.604
Ca	0.090	0.088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.142	0.165	0.130	0.082	0.088	0.078
K	1.813	1.702	1.843	1.849	1.855	1.904	1.894	1.924
Total	13.943	13.913	14.026	14.049	14.039	13.888	14.704	14.22
Mg/(Mg+Fe)	0.344	0.360	0.626	0.613	0.584	0.622	0.660	0.588

## \*Location of Samples

103116=Sangdong level (650m above sea level)

103117=-3rd level (about 90m below the Sangdong level)

103127=-15th level (about 450m below the Sangdong level)

보임으로써 두 灰重石의 生成條件의 相異性을 간접 설명해 준다. microprobe 分析結果에 依하면 黑雲母에 隨伴하는 白雲母는 극히 稀少하며 함께 종래 白雲母를 수반하는 黑雲母로 기재된 대부분의 것은 綠泥石이었음을 알 수 있다. 희소하게 白雲母를 隨伴하는 黑雲母의 分析結果는 다른 黑雲母보다 훨씬 많은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 훨씬 적은 FeO를 함유하고 있음이 알려졌다.

Wones (1981)가 이미 지적한 바와 같이 白雲母와 平衡을 이룬 黑雲母가 가장 높은 Al 함량을 갖는다는 사실에 일치되며 共存하는 白雲母와 綠泥石의 Mg/(Mg+Fe)율이 直線에 點示되어 이들은 平衡關係에 와 있음을 나타내주고 있다.

## 綠泥石(Chlorite)

綠泥石은 주로 含水스카른帶에 產出되며 이들의 화학성분은 Table 3과 같다.

이미 언급되었듯이 黑雲母 또는 白雲母를 수반하는 綠泥石은 Mg/(Mg+Fe)율의 관점에서 볼때 化學的 平衡을 이루었던 것 같고 (Fig. 11, Fig. 12-2) ore shoot의

中央頂上部에서 가장 높은 Mg/(Mg+Fe) 값을 나타낸다.

Mg/(Mg+Fe)율은 輝石-柘榴石스카른帶에서 가장 낮은 값(5)을 보이는 한편 角閃石帶의 변두리 부위에서 白雲母를 수반하고 특히 深部에서 나는 綠泥石은 가장 높은 Mg/(Mg+Fe)율 (44~47)을 보인다. 하 7항과 3항의 경우 Mg/(Mg+Fe)율은 M1 광체의 중앙부 위로부터 광체 바깥쪽으로 가며 감소하게 된다.

대부분의 綠泥石이 갖는 적은 함량의 칼슘 또는 알 카리이온은 Deer et al (1963)가 지적 했듯이 격자내 양이온으로 존재하거나 또는 불순물로 결정 표면에 흡착되어진 때문이라고 본다.

綠泥石內의 Al 성분은 共存礦物內 Al의 activity와 함수관계에 있다. 즉 白雲母를 수반하는 것이 가장 높은 Al을 함유하고 黑雲母를 수반하는 綠泥石이 가장 낮은 Al 함량을 보인다(Fig. 12-1 참조).

## 새로이 기재된 구성광물

Electron Microprobe 분석에 의해 이제까지 上東鑛床에서 기재되지 않았던 礦物들이 알려졌는데 이들의 화





**Table 4** Microprobe analyses of K-feldspar, rutile, scapolite(dipyre), illite and apophyllite.

	K-feldspar (103088)			Rutile (103127)	Scapolite (103113)	Illite (103124)		
	SiO <sub>2</sub>	65.07	65.27	65.23	0.25	52.78	55.73	54.47
TiO <sub>2</sub>	n. d	n. d	n. d	98.43	n. d	n. d	n. d	n. d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.70	17.83	18.18	n. d	23.34	28.78	27.47	27.01
FeO	0.88	0.63	0.54	1.00	0.22	3.27	2.91	3.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. d	n. d	n. d	0.33	0.20	n. d	n. d	n. d
MnO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
MgO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	1.74	1.95	1.89
CaO	0.92	0.50	0.35	n. d	10.73	0.62	0.50	0.50
Na <sub>2</sub> O	n. d	n. d	n. d	n. d	1.83	0.21	0.44	0.31
K <sub>2</sub> O	15.44	15.76	15.71	n. d	n. d	3.53	4.22	4.62
Total	98.75	99.12	98.76	100.01	89.10	93.88	91.96	93.01

Numbers of ions								
Si	3.009	3.0152	3.009	0.003	7.89	7.178	7.197	7.281
Al	0.965	0.970	0.988	0.000	4.113	4.302	4.279	4.164
Ti	0.000	0.000	0.000	0.989	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.034	0.0248	0.021	0.011	0.027	0.352	0.321	0.329
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.334	0.384	0.370
Ca	0.045	0.0248	0.017	0.000	1.719	0.086	0.071	0.069
Na	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.531	0.052	0.112	0.079
K	0.911	0.9288	0.924	0.000	0.000	0.581	0.712	0.771
Cr	0.000	0.0000	0.000	0.011	0.024	0.000	0.000	0.000
Total	4.964	4.9636	4.959	1.014	14.304	12.885	13.076	13.063

**Table 5** Chemical compositions of zeolite minerals in the pyroxene-plagioclase skarn.

	Specimen 103113							
	Thomsonite	Scolecite				Stilbite		
SiO <sub>2</sub>	39.26	46.86	46.04	46.66	46.62	52.67	55.46	54.12
TiO <sub>2</sub>	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.46	25.80	25.89	25.86	26.03	15.22	16.9	18.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. d	n. d	n. d	n. d	0.21	n. d	n. d	n. d
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. d	n. d	0.2	0.22	n. d	0.19	n. d	n. d
MnO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
MgO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
CaO	12.87	13.60	14.32	13.59	13.09	8.49	8.67	11.42
Na <sub>2</sub> O	2.81	n. d	n. d	0.26	0.73	n. d	0.45	0.29
K <sub>2</sub> O	n. d	n. d	0.19	n. d	0.18	0.36	0.19	0.21
Total	84.39	86.25	86.63	86.6	86.87	79.94	81.68	84.44

Numbers of ions on the basis of 80 (thomsonite, scolecite) and 72 (stilbite) oxygens.								
Si	21.35	24.36	23.99	24.22	24.17	26.73	26.51	25.43
Al	18.88	15.81	15.9	15.82	15.91	9.108	9.52	10.05
Cr	—	—	0.08	0.09	—	0.081	—	—
Ca	7.5	7.57	7.99	7.56	7.27	4.617	4.44	5.75
Na	2.96	—	—	0.26	0.73	—	0.42	0.26
K	—	—	0.13	—	0.12	0.234	0.12	0.13
Fe	—	—	—	—	0.09	—	—	—
Total	50.69	47.74	48.09	47.95	48.29	40.77	41.01	41.62

학성분과 産狀은 다음과 같다.

#### Scapolite

Scapolite 는 zeolite 와 거의 함께 産出하며 amphibole

또는 plagioclase 의 변종산물로 흔히 동일류의 scapolite 나 zeolite 의 작은 細脈에 제교대되어 나타나기도 한다(Table 5 참조).

**Table 6** Chemical compositions of apophyllite

	103055	103055	103136	103136	103139	103139
SiO <sub>2</sub>	61.79	51.49	53.48	52.76	51.66	52.48
K <sub>2</sub> O	3.67	4.60	5.05	4.99	4.63	4.35
CaO	20.37	24.12	24.94	24.68	24.50	24.86
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.33	0.24	0.26	n. d	n. d
FeO	0.22	0.18	0.21	n. d	n. d	n. d
Total	86.28	80.72	83.92	82.69	80.79	81.69

Numbers of ions on the basis of 20(O)						
Si	8.340	7.787	7.787	7.787	7.795	7.810
K	0.633	0.887	0.940	0.940	0.890	0.825
Ca	2.947	3.907	3.893	3.907	3.960	3.963
Cr	0.027	0.040	0.027	0.027	0.000	0.000
Fe	0.027	0.020	0.027	0.000	0.000	0.000
Total	11.974	12.621	12.674	12.661	12.645	12.598

**Table 7** Microprobe analyses of epidote, plagioclase, vesuvianite, sphene and wollastonite.

	Plagioclase			Vesuvianite		Sphene		Wollastonite
	103088	103113	103137	103137	103139	103141	103090	103142
SiO <sub>2</sub>	47.78	44.23	44.13	44.34	37.86	31.90	31.45	51.75
TiO <sub>2</sub>	n. d	n. d	n. d	n. d	1.05	30.33	31.24	n. d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.34	34.67	35.86	36.0	14.46	6.58	6.10	n. d
FeO	0.35	0.77	n. d	n. d	10.34	n. d	n. d	0.63
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. d	n. d	n. d	n. d	0.22	n. d	n. d	0.32
MnO	n. d	n. d	n. d	n. d	4.18	n. d	n. d	n. d
MgO	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
CaO	17.58	19.96	19.57	19.65	31.89	30.19	29.69	47.31
Na <sub>2</sub> O	0.95	n. d	0.45	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
K <sub>2</sub> O	n. d	0.37	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
Total	97.77	100.0	99.55	99.4	93.85	99.1	98.2	100.43

	Epidote				
	103141(a)	103141(b)	103141(c)	103090(a)	103090(b)
SiO <sub>2</sub>	39.72	40.49	39.66	39.34	39.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.59	28.65	25.79	24.47	24.47
FeO	6.23	5.58	10.54	11.44	11.86
MnO	n. d	n. d	n. d	0.27	0.75
CaO	25.47	25.28	24.01	24.47	24.47
Total	(94.2)	(91.7)	(93.7)	(97.5)	(97.5)

Numbers of ions on the basis of 13 oxygens

Si	3.056	3.098	3.109	3.113	3.102
Al	2.592	2.583	2.383	2.273	2.288
Fe	0.401	0.357	0.691	0.757	0.787
Mn	0.000	0.000	0.000	0.018	0.050
Ca	2.099	2.073	2.017	2.075	2.024
Total	8.148	8.111	8.200	8.236	8.251

**Zeolite.**

Zeolite 는 輝石—斜長石 스텐에 산출되며 이들은 Table 5 에서 보여주듯이 scolecite, thomsonite 또는 stilbite 등으로 나타난다.

scolecite 와 thomsonite 는 서로 밀접히 수반되며 둘 다 輝石을 交代하고 있다. thomsonite 는 대체로 褐色으로 흔히 scolecite 에 의해 交代된다. stilbite 와 scolecite 는 대체로 輝石과 斜長石을 交代하였으며 이들 zeolite 는 곳에 따라 灰重石을 수반하기도 한다.

Thomsonite 는 輝水鉛石 (MoS<sub>2</sub>), 灰重石 (Mo-free scheelite) 및 角閃石을 수반하는 한편 stilbite 는 Mo 가 많은 灰重石만을 수반하는 實例(시료 103113')는 後期 鐵化溶液의 變異를 추정케 한다. Scolecite 는 灰重石의 Mo-함량에 관계없이 산출되고 있다.

**K-feldspar**

현미경 관찰에서는 불분명한 광학적 특성으로 감정에 어려움이 있었으며 상동광산 중석부유선광에서 가장 애로가 있었던 광물종의 하나이었으나 Microprobe 분석결과 calcite, plagioclase 와 함께 微晶質로 産出하고 있음이 알려졌다. 輝石—斜長石 스텐에서 가장 많이 산출되며 곳에 따라서는 輝石(hedenbergite)을 交代하기도 하는데 분석결과는 Table 4 와 같다.

**Rutile**

石英—雲母 스텐이 脈狀을 이루어 輝石—柘榴石 스텐을 交代하고 있는 부위에서 sphene 과 함께 관찰된다 (Table 4).

**Apophyllite**

上東鑛床의 最末期生成 鑛物로 믿어지는 본 광물은 주로 輝石—柘榴石 스텐에서 스텐광물을 자르는 脈狀광물로 또는 wollastonite 스텐에서 wollastonite 의 交代광물로 産出된다. 光學的으로 石英과 흡사하나 낮은 복굴절률과 干涉像으로 식별이 가능하다. 간섭색이 石英이 연푸른색을 띄울때 이는 묽은 검정 잉크색을 띄며 二軸性 간섭상을 보인다. 이들의 분석결과는 Table 6 과 같다.

**Illite**

Illite 는 石英—白雲母 스텐에 局限하여 산출되고 白雲母의 變質物로 간주된다. 현미경적 葉片狀의 集合體로 産出하는 특징이 있으며 이들의 분석결과는 Table 4 에서 찾아 볼수 있다.

**其 他**

이미 上東鑛床에서 産出됨이 알려진 鑛物中에서 化學成分 분석이 이루어지지 않았던 plagioclase, epidote, vesuvianite, wollastonite, sphene 등이 이번 연구에서 분석되어졌는 바 그 결과는 Table 7 과 같다.

**參 考 文 獻**

- Burton, J. C. (1978) Experimental and mineralogical studies of skarn silicates. Unpub. PhD. thesis, University of Tennessee, Knoxville, 155p.
- Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J. (1963, 1972) Rock Forming Minerals. v. 1—5. Longmans.
- Einaudi, M. T. (1977) Petrogenesis of the copper-bearing skarn at the Mason Valley Mine, Yerington District, Nevada. Econ. Geol. v. 72, p.795—769.
- Farrar, E., Clark, A. H., and Kim, O. J. (1978) Age of the Sangdong tungsten deposit, Republic of Korea, and its bearing on metallogeny of the southern Korean peninsula. Econ. Geol. v. 73, p. 547—556.
- Jeong, C. K. (1963) Study on zonal distribution in the main orebody of the Sangdong ore deposits. Unpub. mine report.
- John, Y. W. (1963) Geology and Origin of Sangdong Tungsten mine, Republic of Korea. Econ. Geol. v. 58, p. 1285—1300.
- John, Y. W. (1978) Sangdong Mine, Korea. In: Imai H.(ed.) Geological Studies of the Mineral Deposits in Japan and East Asia. University of Tokyo Press.
- Kim, O. J. and Park, H. I. (1970) Preliminary report on the geology of Sangdong scheelite mine. Korean Inst. Mining Geol. v. 3, p. 25—34
- Kim, S. Y. (1976) Geology, mineralogy and geochemistry of tungsten deposits of the Sangdong—Ogbang area. Unpub. PhD. thesis, University of Leeds, U. K. 346p
- Leake, B. E. (1978) Nomenclature of amphiboles. Am. mineral. v. 63, p. 1023—1052
- Moon, K. J. (1974) Study on mineral paragenesis in the Sangdong scheelite deposits. Unpub. Msc. thesis, University of Yonsei, Korea.
- Wones, D. (1981) Mafic silicates as indicators of intrusive variables in granitic magmas. Jour. Soc. Mining Geol. Japan, v. 31, No. 4 p. 191—212
- Zharikov, V. A. (1970) Skarns. Int. Geol. Rev. v. 12, p. 541—559, p. 619—647, p. 760—775.