

# 上東鑛床의 큰 규모와 작은 규모의 地化學的 對比研究

文 建 柱\*

## Comparative Study of Geochemistry of the Sangdong Skarn Orebody in a Large Scale and Small Scales

Kun Joo Moon

**Abstract:** A characteristic mineralogical zonal distribuion is observed in a large scale(whole orebody) small scales(handly specimens). They show similar chemical variations: most of elements except CaO were supplied by hydrothermal fluids to form skarns.

Garnets occurring in the pyroxene-garnet skarn have a wide range of chemical composition ranging from andradite to grossularite, while individual grains of the garnets also show a similar zonation of chemical composition varied between grossularite and andradite.

Highly contained Mo-bearing scheelites are generally concentrated in the central part of the Sangdong skarn orebody. Similarly, some large grains of scheelite show a nice zonation due to different contents of Mo, highly enriched in the core of the scheelite crystal.

This geochemical similarity in the large scale and small scales suggests the Sangdong skarn formation was achieved under a certain chemical environment, and detailed studies on a small scale texture could be a clue to understand a whole ore deposit.

### 序 言

地質學의 事實의 관찰 연구에 있어서 작은 것은 廣大하게 확대시켜보고 廣大한 규모의 것은 소규모의 것으로 축소시켜보는 방법을 택함으로써 과거의 長大한 시간적 공간을 짧은 현대의 시간적 공간속에 묶어 야의 실습장에서 얻은 자료를 종합해보는 연구를 시도해 보았다. 上東 重石 鑛床은 既存 석회암을 교대시켜 형성된 큰 스카른 광체인 만큼 광화작용의 과정이 소규모의 것으로부터 시작되어 큰 규모의 것으로 확대되었고 최종적으로는 소규모의 것으로 마무리지어졌을 것이라 믿는다. 上東鑛體 전반에 걸친 지화학적 분석결과를 이 가정을 충분히 뒷받침해 줄만큼 큰 규모의 전체적인 광체와 소규모의 것이 상호 잘 일치되고 있음을 보여줌으로써 지질학적 현상의 축소와 확대의 긴밀한 聯關性을 誇示하고 이같은 연구방법의 效率性과 必要性을 강조코져 이 보문을 작성코져 한다.

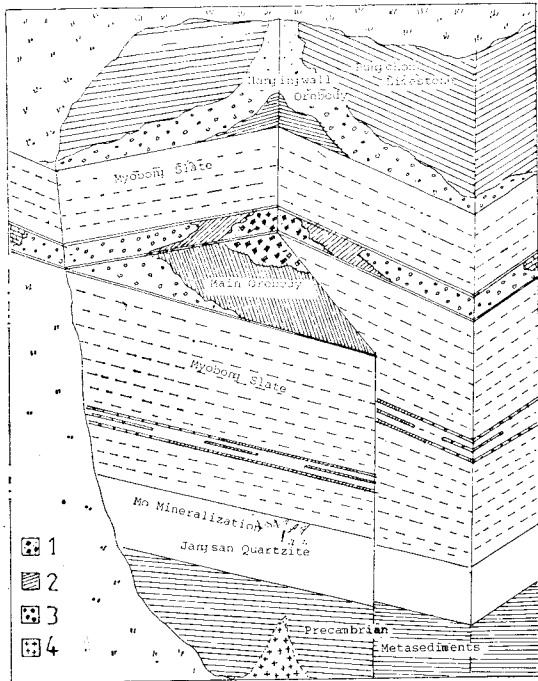
### 上東鑛床의 地質·鑛床 概要

上東鑛床은 太白盆地的 威白向斜의 南翼部에 위치한

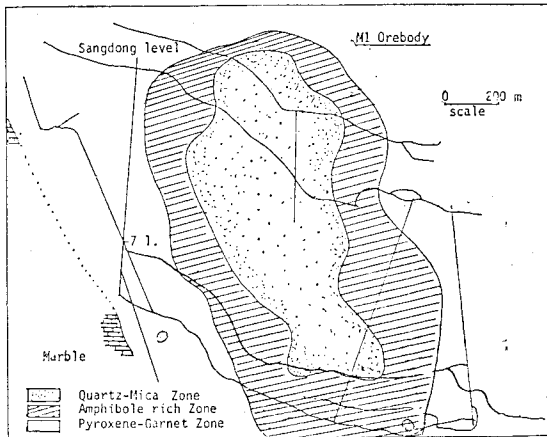
\* 韓國動力資源研究所

朝鮮系의 猫峰層과 壯山硅岩 그리고 豊村石灰岩層에 胚胎된 鑛體이다.

스카른은 鑛體 묘봉층내에 협제된 石灰岩과 湧출석회암 하위부를 교대한 것으로 湧출석회암을 교대한 광체를 H<sub>1</sub>(상반맥), 묘봉층 最上位 석회암(6~7m 폭)을 교대한 스카른광체를 M<sub>1</sub>(본광체), 그하위부에 발달된 數條의 石灰岩薄層을 F<sub>(1,2,...n)</sub>(하반맥)이라고 구분해 부른다. 石英脈은 주로 H<sub>1</sub>광체의 下位部位와 M<sub>1</sub>광체 및 하반맥의 주향과 거의 평행하게 발달하며 묘봉층내의 광화대 중심부에는 아주 무질서하게 裂隙을 따라 다양하게 집약발달되어 있다. 스카른광체는 광물학적 累帶分布에 따라 중앙은 石英—雲母帶가 발달하고 이를 角閃石帶가 둘러싸고 있으며, 나머지 외곽부위는 柘榴石—透輝石帶를 이루고 있다. 灰重石(scheelite)은 중앙에 가장 많이 배태하며 점차적으로 쇠퇴하여 스카른이 石灰岩으로 變하는 부위에서는 전혀 그 발달을 관찰할 수 없다. 묘봉층내의 석영맥은 灰重石뿐만 아니라 輝水鉛石을 많이 배태한다. 그러나 輝水鉛石은 -7坑 이하 深部에서는 石英脈이 있어도 관찰되지 않는다. 한편 흑중석은 회중석이나 휘수연석처럼 다량 산출되지는 않지만, 深部에 구애됨이 없이 왕왕이 石英脈 전



**Fig. 1** A Schematic view of the zonation in the Sangdong skarn orebodies.  
 1. Quartz-Mica Skarn, 2. Amphibole Skarn, 3. Pyroxene-Garnet Skarn, 4. Granitoid



**Fig. 2** Horizontal projection showing zonal distribution of skarn zones in the Sangdong main orebody.

반에 걸쳐 나타난다.

장산규암에 산출되는 휘수연석 광체는 上東鑛床의 鑛化根源岩으로 믿어지는 上東花崗岩의 存在가 試錐에 의해 발견된 때 함께 밝혀진 것으로 輝水鉛石은 強하게 硅化된 부위에 발달된 石英 細脈 中에 胚胎되어 있다. 이 舍輝水鉛-石英細脈은 모봉층까지 上昇치 못하고

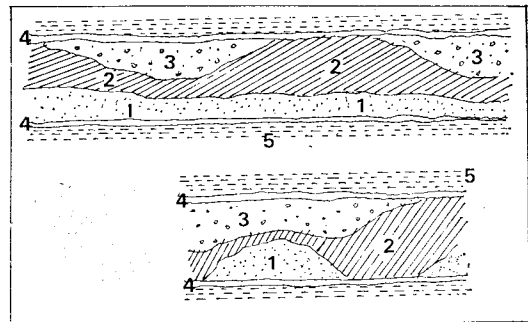
장산규암에 국한되어 발달되어 있으며, 회중석이나 흑중석을 거의 보이지 않고 단지 휘수연석을 배태하고 있다는 사실이 前述된 모봉층의 石英脈과는 다른 점이다.

上東鑛體의 生成時期는 스카른광체의 角閃石과 黑雲母 그리고 상동화강암의 白雲母(sericite)가 거의 一致하는 K-Ar年齡(Clark, 1985) 85MA를 보여 백악기에 형성된 것으로 판명되고 있다.

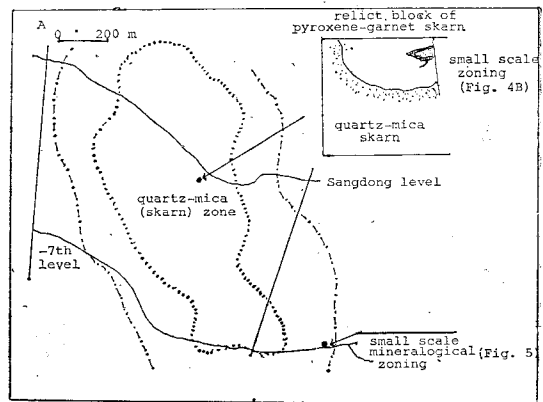
작은 規模와 큰 規模

鑛物 累帶分布

상동 스카른 광체는 대략 1,500m×1,200m×6m되는 큰 규모의 광체로 鑛物의 特徵의 分布에 따라 累帶構造를 보인다(Fig. 1, 2). 鑛體를 形成한 鑛物의 生成이 既存 石灰岩의 交代作用을 거쳐 後續되어진 熱水交代作用에 의해 이루어져 처음 형성된 透輝石-柎榴石 스카른은 角閃石-石英으로 交代되며 이는 다시 黑雲母-石英으로 되어짐에 따라 累帶구조를 이루었으므로 순



**Fig. 3** Longitudinal sections showing three different zones of skarn in marginal parts of the Sangdong main orebody.  
 1. Quartz-Mica Skarn, 2. Amphibole Skarn, 3. Pyroxene-Garnet Skarn, 4. Cherty Rock, 5. Myobong Slate



**Fig. 4A** Location of small scale zoning.

鑛體의 큰규모와 같은 累帶分布를 보이는 작은 규모, 즉 손바닥 만한 試料에서도 生成順序 즉 交代作用에 따른 鑛物의 累帶分布를 관찰 할 수 있다. 큰 규모의 累帶構造가 鑛體를 3大分하고 있으나 엄밀한 공간적 분포로 보아서는 세 帶가 곳에 따라서는 共存한다고 할 수 있다. 바로 이 共存하는 부위는 後續된 熱水溶液의 交代作用이 강력하게 미치지 못한 外廓部位에 해당한다 (Fig. 3). 작은 규모의 累帶構造는 鑛體 中央의 石英~雲母帶에서 透輝石-柎榴石 스카른이 미처 교대되지 못한 殘餘部에서 관찰된다. 즉 透輝石-柎榴石 스카른의 裂隙을 따라 침입한 熱水용액에 의해 작은 규모의 石英-雲母帶와 角閃石帶를 形成한 것이다 (Fig. 4-A,B).

이와같은 소규모의 鑛物累帶分布構造는 透輝石-柎

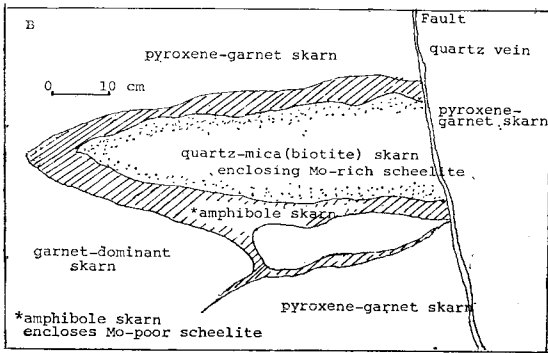


Fig. 4B A small scale zones.

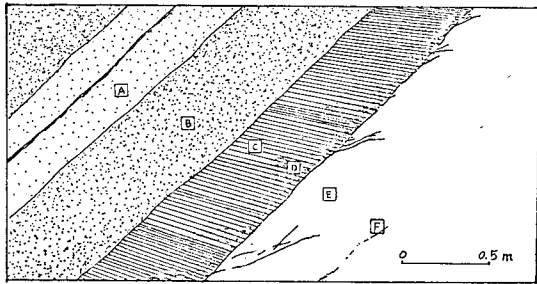


Fig. 5 A sketch showing small-scale mineralogical zoning in the pyroxene-garnet skarn zone at the 7th level.

Square indicates approximate size and location of samples.

- A=103107 (quartz-muscovite skarn): pale grey with brown tint
- B=103108 (quartz-biotite skarn): brownish grey colour
- C=103109 (quartz-amphibole-biotite skarn): brownish black
- D=103110 (amphibole-quartz skarn): dark black
- E=103111 (pyroxene-garnet skarn): dark green
- F=103112 (pyroxene-garnet skarn): pale green and brown

榴石帶에 해당하는 하7坑 莫場附近에서도 관찰되었다 (Fig. 5). 이 작은 규모의 鑛物累帶構造는 큰 규모를 形成케한 원리를 잘 설명해 주는 귀중한 情報로, 稀貴한 存在로 관찰되고 있음은 鑛化作用이 時間的으로 長期間에 걸쳤음은 물론 廣大한 量의 熱水용액의 공급에 의해 큰 규모의 것으로 一元化시켰기 때문이다.

큰규모의 상동 본광체와 소규모의 누대구조가 갖는 鑛物의 共生관계는 Table 1, 2와 같고, 3大分한 累帶別 化學成分의 變化는 Fig. 6와 7에서 대비해 볼 수 있는 바, 그들의 類似性을 歴歷히 보여준다. Fig. 6는 各累帶別로 分析된 자료를 종합平均한 결과이며, Fig. 7은 소규모의 경우 6개의 시료에 의한 분석결과를 鑛物群에 따라 큰 규모의 것과 같이 3개의 帶로 구별하여 그 분석결과를 圖示한 것이다 (Moon, 1983).

이미 流體包有物의 均質化溫度로 推定할 수 있듯이 鑛物生成溫度는 透輝石-柎榴石 > 角閃石-石英 > 石英-雲母帶로 下降하고 있는 만큼 溫度의 高下관계는 鑛物生成順序關係를 나타내 주고 있는 셈이어서 地化學成分의 累帶別 變化는 交代作用에 따른 元素의 移動관계

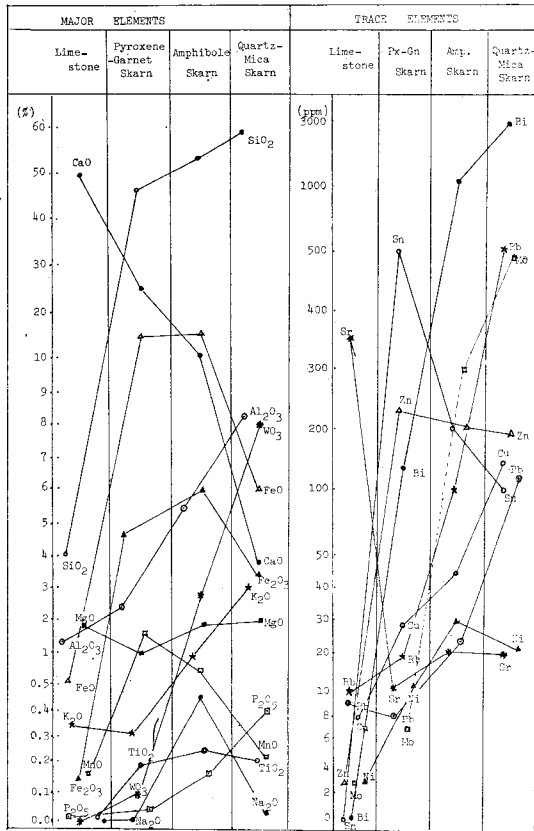


Fig. 6 Variation of chemical compositions in the main orebody.

**Table 1** Outline of mineralogical compositions of different zones in the M<sub>1</sub> orebody.

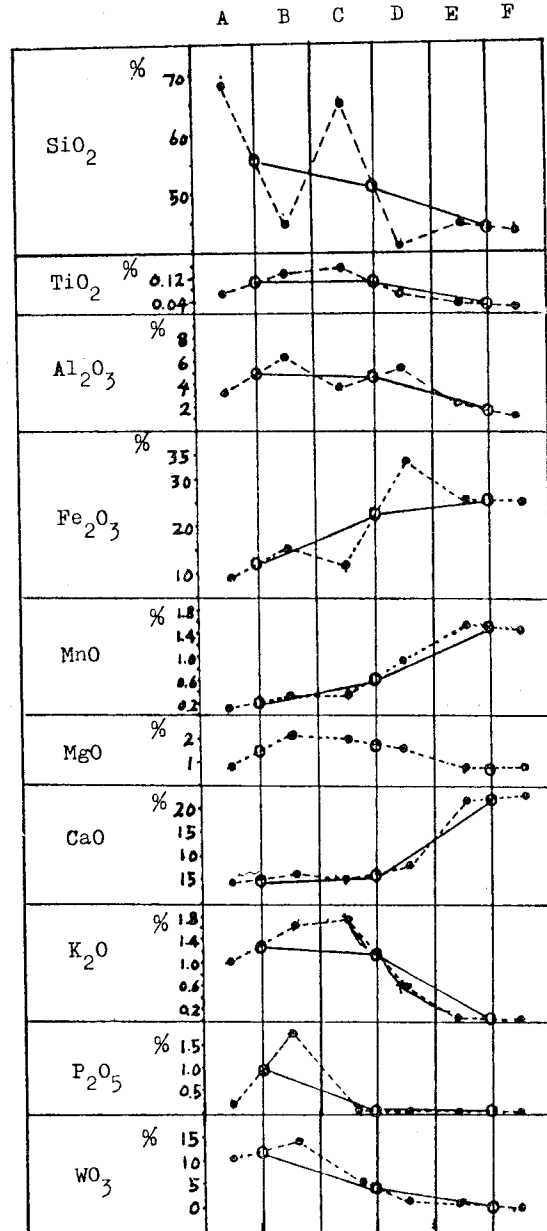
	Pyroxene Zone		Amphibole Zone	Mica Zone	Cherty Rock	Quartz Veins
	White skarn	green skarn				
Andradite	*****	*****	*			
Grossularite		**			**	
Diopside	***	**			**	
Hedenbergite	*	*****	*			
Wollastonite	*****					
Calcite	***	*	*	*		*
Plagioclase		**			*****	
Fluorite		**	**	**		*
Epidote	*	*	*		*	
Quartz		*	*****	*****	*****	*****
Amphibole		*	*****	*	*	
Mica				*****		
Chlorite		*	***	*****		
Apatite			*****	*****		
Scheelite		*	*****	*****	*	***
Sphene		*	*		**	
Magnetite		*	***	*		
Wollastonite				*		** **
Molybdenite				*		** **
Pyrite		*	**	**		**
Pyrrhotite		** **	**	*		*
Bismuthinite		**	**	***		*
Native Bismuth		*	*	*		**
Sphalerite	*	*		*		**
Chalcopyrite			**	**		**
Argentiferite				*		**

Key: \*\*\*\*\* major components \*\*\* minor components  
 \*\*\*\*\* second major component \*\*\* > \*\* > \*

**Table 2** Summary of mineralogical variation in different zones of the small scale zoning on the 7th level.

	F	E	D	C	B	A
Pyroxene	*****	*****				
Garnet	*****	***				
Amphibole			*****	***		
Biotite				*****	*****	
Muscovite					*****	*****
Chlorite					*****	*****
Fluorite	*	***	***	***	*****	*****
Calcite		**	***	***	***	***
Scheelite	*	*	***	*****	*****	*****
Apatite			***	***	*****	*****
Quartz			*****	*****	*****	*****
Epidote						***
Magnetite			****			
Pyrrhotite	*	*	*****	***	***	***
Pyrite			****			
Bismuthinite	**	**	*****	*		*****
Sphalerite			***			
Galena			*			
Native Bismuth			**			

Major component: \*\*\*\*\* > \*\*\*\* > \*\*\* > \*\* > \*  
 Minor component: \*\*\*\*\* > \*\*\* > \*\* > \*



**Fig. 7A** Variations of major elements across the 6 zones. Solid circle represents chemical compositions in the 6 zones. Open circle represents average composition in terms of major 3 mineralogical zones, i.e. A+B=quartz-mica zone, C+D=amphibole-rich zone, E+F=pyroxene-garnet zone.

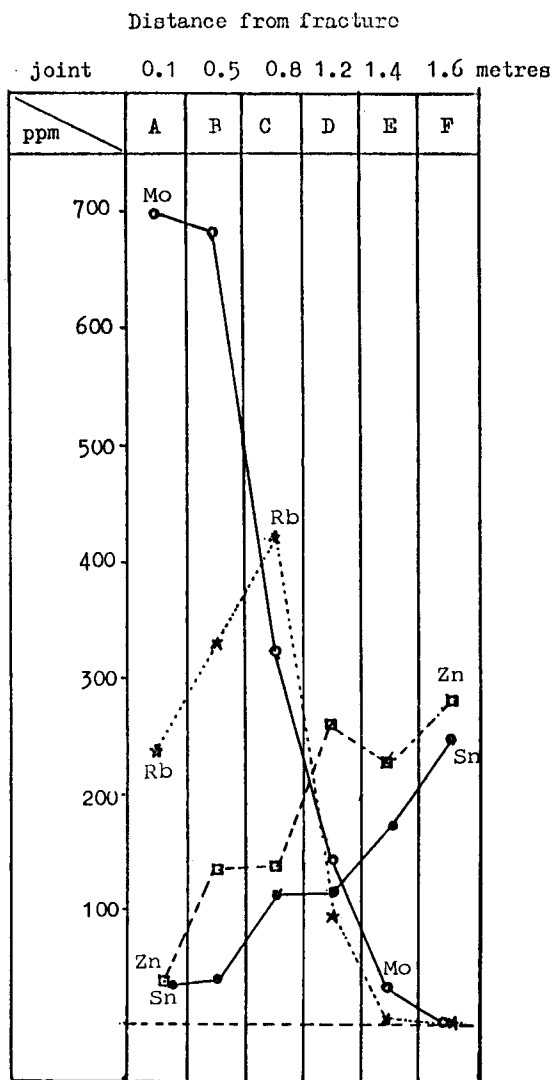


Fig. 7B Element changes from part A to part F.

● Tin ○ Molybdenum  
★ Rubidium □ Zinc

를 잘 보여주고 있다. Fig. 6, 7A, 7B에서 보여주듯이 Ca과 Mg을 제외한 主構成元素의 대부분은 供給되어지고, 微量元素 역시 Sr을 제외하고는 거의 모두가 供給되어져 石灰岩을 스카른화하는 데 참여하였음을 잘 보여주고 있다. Fig. 7A, 7B에서 보여주는 성분 변화는 Fig. 6보다 명확하게 無水스카른(anhydrous skarn)으로부터 含水스카른(hydrous skarn)으로 變成되는 과정의 元素의 增減現象을 잘 보여주고 있어 초기 스카른이 형성된 후 후속된 열수교대작용에 따라 供給되어지고 逸出되어 상실한 元素를 區分해 주고 있다. 큰 규모와 작은 규모의 累帶別 成分變化가 거의 一致하고 있어

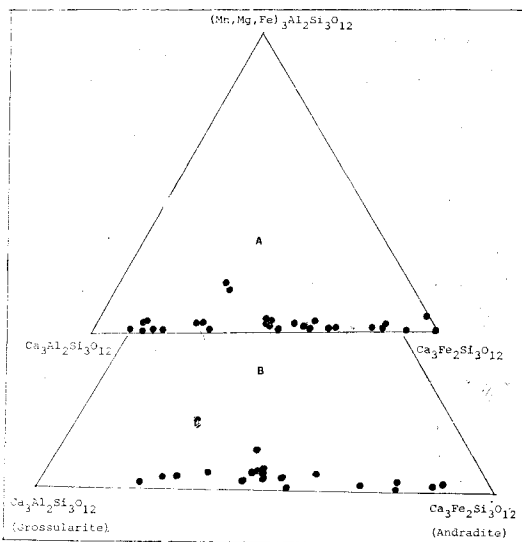


Fig. 8 Chemical compositions of garnets in terms of mole % of grossularite, andradite and others. (A)—Various garnets' mean compositions (B)—Variation in chemical compositions in a grain

交代變成作用이 進行함에 따라 (1) 계속 공급되어진 성분, (2) 계속 逸出되어 상실된 성분, 그리고 (3) 일부 增減이 停滯된 成分을 아래와 같이 識別 區分해 볼 수 있다.

- (1) 공급되어진 성분—SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub>, Bi, Mo, Bi, Rb, Pb, Cu
- (2) 상실되어진 성분—Fe<sup>++</sup>(total Fe), MnO, CaO, Sn, Zn
- (3) 停滯된 성분—TiO<sub>2</sub>, MgO, (Fe<sup>+++</sup>) Ni, Sr

가장 현저하게 減退되어진 Ca, Fe, Mn 中 Fe성분의 감소는 初期스카른의 색이 초록색으로부터 暗綠色으로 되었다가 灰白色으로 변케 하는데 결정적인 역할을 한 것 같다. 이 색은 물론 主構成礦物에 依한 것으로 마그마로부터 逸出된 流體가 石灰岩과 反應하여 無水스카른을 만들고 後續된 鎳化溶液이 含水스카른을 형성한 결과는 Bowen series의 礦物처럼 輝石→角閃石→黑雲母의 生成順序를 잘 보여 주고 있다. 이러한 현상은 마그마의 분화에서 分별결정작용에 의해 결정이 정출되듯이 溫度에 따른 安定度의 변화로 열수교대작용에 의한 礦物의 生成도 지배되고 있음을 잘 示唆해 보이고 있다. 微量元素中 錫(Sn)은 큰 규모와 작은 규모의 累帶分布中에서 가장 큰 變化를 보이고 있는만큼 熱水溶液中에서 低溫礦物이 形成되는 동안 Fe, Mn과 함께 안정한 광물을 이루지 못하고 이동되어지는 특징

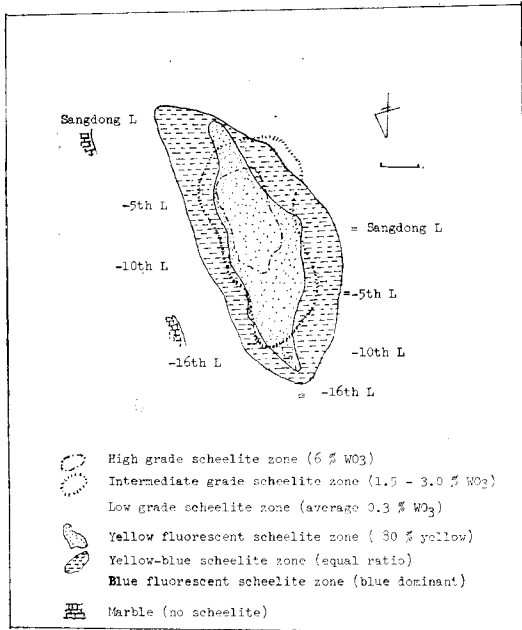


Fig. 9 Zonal distribution of molybdenum-bearing scheelite in the Sangdong M<sub>1</sub> orebody (from Moon and Lee, 1980).

적 미량원소임을 알 수 있다.

**柘榴石의 地化學**

스카른 鑛體의 일부 主構成鑛物이 되고 있는 柘榴石은 물론 다른 색깔을 띄어 구분되지만 이들 개개의 석류석이 가지는 화학성분은 grossularite로부터 andradite에 이르는 固溶體의 多様な 化學成分을 보인다(Fig. 8-A). 분석대상시료는 累帶分布의 各帶를 다 망라하였는바 예를들면 石英-雲母 富化帶에서도 잔여물로 남은 柘榴石-輝石 스카른을 대상으로 하였기 때문에 帶마다 성분분포의 큰 차이는 찾아보기 어렵다. 한편 單一 結晶內의 중심으로부터 가장자리에 이르는 화학성분 역시 결정마다 다른 성분을 보이듯이 grossularite와 andradite 사이의 성분변화를 하나의 결정내에서도 잘 보여주고 있다(Fig. 8-B). 여기에 이용된 시료는 역시 전광체를 대상으로 하는 광물지화학으로 거의 동일시료가 분석대상이 되었다. 석류석이 晶出되는 物理化學的 條件이 하나의 결정이 자라는 환경에서 가졌던 변화는 時間的 差에 따른 변화이고, 개별 결정들이 갖는 화학성분의 변화는 시간과 공간의 차에 따른 변화에 기인된 것으로 볼 수 있다. 그렇지만 서로가 갖는 변화에 따른 결과가 類似한 上東鑛床의 경우, 석류석 晶出과정의 조건이 처음부터 끝까지 일정하지 않고 andradite와 grossularite가 생성되는 조건사이에서 維持되었음을 示唆해 주고 있다. 바로 이같은 사실은 鑛床研究에서 다

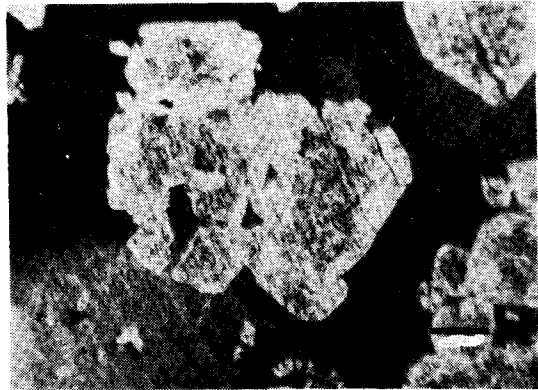


Fig. 10 Scheelite crystals often show zonal structure, with higher content of molybdenum in the core of crystals. A black band represents 3mm.

루는 鑛物의 地化學이 小數의 試料에 의해 代表되는 것이 얼마나 위험스러운 것인가를 잘 보여주고 있다.

灰重石內 Mo 含量變化에 따른 큰 規模와 작은 規模 文建柱와 李恒載(1980)는 上東 스카른 鑛體내에 산출되는 灰重石의 Mo 含量變化와 그의 分布관계를 조사보고 하였던 바 Fig. 9은 그 내용을 요약해 보인다. 즉 스카른 鑛體에 산출되는 灰重石의 分布는 中央部位에 가장 밀집되어 있고, 점차 그 산출 頻度는 外廓쪽으로 가면서 감소하면서, Mo을 많이 함유한 회중석(ultraviolet lamp하에서 黃色螢光을 보임)의 수로 감퇴한다. 다시말해, 鑛體의 텅스텐 品位(WO<sub>3</sub>%)와 회중석내 Mo의 함량비(Mo/W)는 거의 정비례하는 셈이다. 한편 개개의 회중석을 관찰할 경우 貧, 中, 富의 3種 Mo-회중석이 구분되는 가운데 이따금 하나의 결정이 貧-富를 함께 가져 累帶구조를 보이기도 한다. 바로 이같은 작은 구조는 Fig. 10처럼 회중석 결정의 안쪽에 Mo을 많이 함유하고 바깥쪽으로 Mo을 거의 함유치 않거나 미약하게 함유하고 있음을 잘 보이고 있다. 바로 이러한 灰重石 결정은 큰 규모의 스카른 광체가 가지는 텅스텐/몰리브덴의 분포를 暗示해 주고 있는 셈이다.

**結 言**

上東鑛床이 보이고 있는 큰 규모와 작은 규모의 地化學的 特徵이 一致하고 있음은 오랜동안의 조사와 관찰을 통한 발견이었으나 단편적인 小數의 研究만으로도 큰 규모의 광체를 추정해 볼 수도 있다는 가능성을 提示해 준다. 그러면서도 일부 규칙적인 시료채취에 의한 분석결과가 아닐 경우에는 부분적인 情報만을 주기 때문에 흔히 이용되는 광상별 비교연구에 있어서는 조

사태상의 시료채취가 동일한 조건이 아닌한 별 意義가 없음을 알 수 있다.

Micro-scale의 지화학적 특성을 분석할 수 있게된 최근의 광상학 연구실은 既 研究된 鑛床일지라도 새로운 각도로 다시금 연구해 봄으로써 작은 규모에서 가지는 특징비교는 前述된 誤謬를 찾아낼 것이며 鑛床成因 糾明에 이바지하리라 믿는다.

參 考 文 獻

- Clark, A.H. (1985) Personal communication. (Econ. Geol. 투고)
- 文建柱·李恒載(1980) 上東鑛床물리브덴의 產出狀態에 대한 研究. 광산지질, 제13권, 2호, p.117-127
- Moon, K.J. (1983) The Genesis of the Sangdong tungsten deposit, the Republic of Korea. Unpub. PhD thesis. Tasmania University.

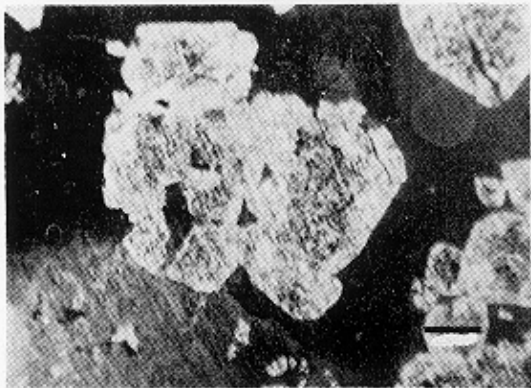


Fig. 19. Cell-like structure after chemical treatment.