

화절층내 석회질 團塊의 스카른화와 深部潛頭 광체와의 관계

문 건 주*

Relation of the Skarnized Calcareous Nodules in the Hwajeol Formation and the Deep Concealed Orebody

Kun-Joo Moon*

ABSTRACT: It is observed that calcareous nodules of the Hwajeol Formation are locally skarnized in the Sangdong district, in which the skarn mineralization extends 5 Km westward from the Sangdong mine area to the Hwajeolchi area. After a hidden granite beneath the Sangdong mine was discovered by exploration drillings, the exploration teams of the Sangdong mine and the Korean Mining Promotion Corporation have assumed that the skarn nodule of the Hwajeol Formation was derived from emplacement of a granite in deep place and the occurrence of hidden ore bodies below the skarn, and they have discovered high grades of tungsten orebody in the same horizon of the Sangdong ore body. Mutual genetic relationships between epidote and garnet may be explained by following chemical reactions $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH}) + \text{CaCO}_3 = \text{Ca}_3(\text{Fe, Al})_2\text{SiO}_{12} + 1/2\text{CO}_2 + 1/2\text{H}^+ + \text{Ca}_3\text{FeSi}_3\text{O}_{12} + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2 = 2\text{CaFeSi}_{12}\text{O}_6 + \text{CaCO}_3 + 1/2\text{O}_3$. It is concluded that epidote and garnet are useful as target minerals indicating a potential occurrence of deep seated hidden ore body. Since the epidote may inform the emplacement of the granite, while the garnet in the skarn nodule of the Hwajeol Formation may reflect a strong hydrothermal mineralization taking place from the depth.

서 론

單一 규모의 광상으로 세계적 광산인 上東 중석광산과 연화 연·아연광산이 위치하는 태백분지는 우리나라에서 규모면에서 뿐만 아니라 그 수에 있어서도 가장 큰 광상을 胚胎하고 있다. 그러나 대부분의 稼行對象이 되어온 광상이 본 분지에 발달된 함백향상의 남익부에 국한되고 있기때문에 북익부에서의 잠두광체 부존 가능성을 배제하지 못하고 새로운 潛頭鑛體의 발견을 위하여 다각적인 방법을 동원하여 북익부위 탐사를 모색하며 또한 직접 탐사를 실시하고 있는 중이다.

본 보고서는 86년부터 광업진흥공사에서 실시중인 향사 남익부의 화절치 심부 잠두광체 확인 탐사시추 결과가 노출 시키고 있는 심부 스카른 광체에 대한 제 정보를 분석하고 이 결과를 근거로 야외에서 이미 조사된 결과와 함께 확연한 광상 모델링을 완성시킴으로서 북익부 심부 잠두 스카른광체 탐사의 當爲性を 提高하기위해 작성된 연구논문이다.

화절층내 단괴상 석회질부위가 상동광산 부위에서 스카른화 되었음은 이미 70년대 상동광산 탐사팀에 의해 확인된 바 있으며, 이 화절층내 스카른이 상동광산을 중심으로 광산 서측으로 계속되고 있어 이를 근거로 실제 야외 탐사를 서부에서 집중적으로 실시한바 있다. 그러나, 팔목할 만한 광화대의 부존은 확인하지 못했던 반면에 당시 탐사팀이 착안하지 못한 전혀 생소한 지역인 화절치에서 금번 광업진흥공사 탐사팀에 의해 실시된 장공시추 결과는 意外的 성과를 거두고 있고 태백분지 북익부에도 잠두광체 부존 가능성이 높을 것임을 시사하고 있다.

본 논문에서는 과거 70년대 상동광산 탐사팀에 의한 탐사 방법에 있어서의 간과된 사실들을 지적하고, 현재 나타난 사실의 眞僞와 함께 화절층내 스카른화작용과 광화작용과의 관계를 밝히고 이를 기초로하여 북익부에서의 장공 시추탐사를 적극 추진할 수 있는 기틀을 마련하고자 한다.

화절층내 스카른화의 地質學的 背景

화절층은 조선누층군의 대석회암통내에서 풍촌석회

* 한국동력자원연구소 금속광상실 (Metallic Minerals Division, Korea Institute of Energy and Resources, P. O. Box 5, Daedeog Science Town, Daejeon 305-343, Korea).

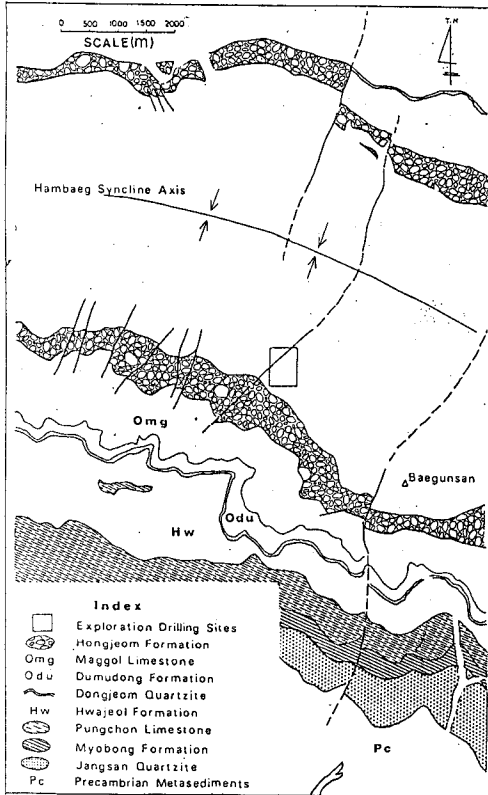


Fig. 1. Regional geological map of the Sangdong area.

암을 下位층으로, 동점규암을 上位층으로 갖는 두께 300여 메터의 Cambrian 기의 층으로 지표에서 보이는 특징적인 풍화 양상에 따라 通稱 蟲蝕석회암이라 불리기도 한다. 화절층에 대한 지질학적 기재에 의하면 (정창희, 1969. J. Y. Kim and Y. A. Park, 1981) 퇴적환경의 주기적 변화로 석회질물질이 세일이 퇴적되는 중에 간간히 퇴적되어져, 단괴상을 주로 이룬 석회질 부위(micrite)가 바탕을 이룬 세일부위보다 풍화에 더욱 예민하게 반응하여 용출되어짐으로서 마치 벌레먹은 것처럼 특이한 외형을 보이게 된 것으로 기술되고 있다.

화절층내의 스카른을 저자가 근무했던 상동광산 탐사팀에 의해 일차로 상동광체 상위부 노두에서 기재되었고, 부분적으로 보이는 회중석의 발달에 따라(최고 0.3% WO³) 하부 광체의 富化 여부를 확인키 위한 시추를 실시하여 하부에 연속된 스카른을 확인한 바 있다. 상동 광체 직 상부의 화절층의 스카른은 구조선을 따른 후차원적인 열수광화작용을 받아 회중석을 드물게 배대하고 있

으나, 상동광산을 벗어난 주변의 지표에서는 화절층의 스카른은 회중석을 보이지 않고 있다. 화절층내의 스카른은 단괴상의 석회질부위에 국한하여 방해석이 스카른 광물로 교대되어진 것으로 상동광산의 경우 동측의 턱골 단층을 경계로 큰 변화를 보여, 턱골 이동의 화절층에서는 거도광산에 접근하기까지 거의 스카른을 보이지 않는다. 한편 서측으로는 상동광화대를 벗어나 화절층에 이르기까지 그 발달의 강도를 달리 하면서도 5km 구간에 나타난 화절층은 스카른 광화작용이 현저(뚜렷)하다.

화절층내 스카른의 探査에의 利用

상동 광체를 중심으로 발달된 화절층내의 스카른은 동측에서의 급격한 광체의 斷切과는 달리 서측으로의 발달이 양호하기 때문에 심부에서 상당한 구간 서측으로 연장된 광화대를 확인해보는 탐사의 필요성이 강조되었다. 그러나, 바로 서측으로 연속되어진 화절층내의 스카른은 텅스텐 광화작용이 서측으로 계속되어질 것이라는 가정의외에 어떤 텅스텐 광화작용의 증거를 확보하지 못한채 상동광산 탐사팀에 의해 서부(본구래 중심, 백운국민학교 부근)광화대 탐사가 진행되었다. 70년대 당시의 서부광화대 탐사는 본구래 지역(Fig. 1, Fig. 2)에서 장산규암의 경계부위로부터 상동광산의 본광체 층준에 해당하는 석회암 협층 사이에 나타난 황화광물 세맥을 근거로 그 상위부의 석회암 협층(상동 본광체 해당)의 광화를 기대하고 수행된 탐사였으나 (Fig. 2, Site A drill exploration) 전혀 스카른화된 부위를 찾지 못한채 탐사가 중단되었다.

저자가 상동광산 탐사팀의 일원으로 주관한 상동광체 하위부 탐사에 대한 주장은 유체포유물 연구 결과를 근거로 수립한 모델(문건주, 1979)에 의한 광화 근원암의 탐색을 목적으로 하였다. 당시 서부 광화대 탐광시추의 결과 확인된 본 광체 층준 석회암의 非鐵化(Fig. 2, Site A)는 그 지점으로부터 북측에 위치한 화절층내의 스카른이 광화작용과는 전혀 무관한 광역변성작용의 산물일 것이라고 단정케 하는 결정적인 根據資料가 되었다.

상동광산의 성인 모델에 대한具體적인 證據 자료는 광업진흥공사 조사팀의 首肯으로 급진전하여 3차년에 걸친 상동광산 광체 하부 시추 결과 상동광체의 근원암

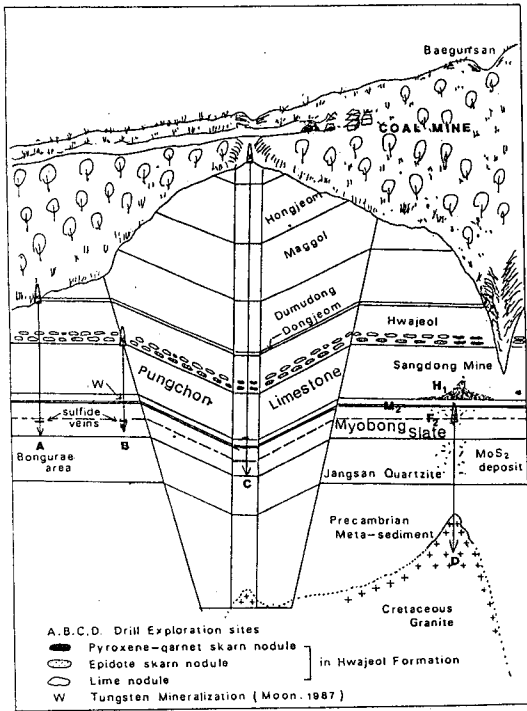


Fig. 2. Schematic review of the geological cross section of the Hwajeolchi-Bongurae-Sangdong areas.

으로 추정되는 광체와 동일 시기의 화강암체 (Fig. 2, Site D)를 발견하는데 크게 기여하였다. (문건주, 1987).

상동광산의 스키르 광체로부터 약 500m 하위부에 頂上部를 보인 화강암의 존재는 상동 광산 주변탐사에서 해석하지 못한 주변 지질에 관한 해석상의 결함을 해결하게 해주었다. 상동광산탐사팀은 화절층내의 스키르가 바로 심부에 定置된 잠두 화강암에 의해 형성되어진 것으로 일단 추정하고 새로운 관점에서 화절층에 대한 정밀한 야외 조사를 실시하였다. (김광호, 이항재, 1985). 상동광산에 대한 저자의 모델 (Moon, 1983)은 화절층의 스키르가 심부에 화강암체가 定置 되어 있음을 지시해주고 있고, 또한 하위부에 화강암이 잠두되어 있을 경우 상위부의 석회암은 스키르화 되어 있을 것이라는 가정을 설정하는데 크게 기여하였다. 상동광산 심부에서 잠두 화강암이 발견된 이후부터 상동광산 탐사팀은 새로운 관점에서 화절층내의 스키르를 해석하기에 이르러 서적으로 연속되어진 화절층내 스키르에 대한 再精

密調査를 실시하였다. 그 결과, 화절층내 석회질 團塊의 스키르화가 구조선과의 일련의 관계를 가지고 그 강도를 달리하고 있음을 확인하였고, 70년대에 실패한 서부광 화대 (Fig. 2, Site B)의 북측에 해당하는 화절치에서의 심부 잠두광체 가능성을 제시함에 따라 광업진흥공사 조사팀은 1 킬로미터 이상의 심부 장공 시추를 실시하게 되었다.

화절층내 스키르 團塊의 광물학적 특징과 그 意義

상동광산 북측에 해당하는 턱골의 계곡 서측 斜面에 나타난 화절층내의 스키르는 석회질의 단괴 또는 렌즈상 내에 암갈색의 garnet과 연초록의 clinopyroxene을 보이면서 세일과의 접부 가장자리는 담백색의 chert질 암석으로 변성되어 나타난다. 회중석을 드물게 관찰할 수 있는 상동 상반맥 광체 팽대부 상위부의 화절층에서는 스키르 광물의 발달이 더욱 현저하며, 많은 부위가 거의 유사한 chert질 암상을 이루어 강한 규질화 작용을 받고 있다.

한편, 화절치에 가까워서 화절층내 스키르는 거의 garnet을 보이지 않고 연푸른 epidote만으로 구성된다. 이들의 광물공생에 따른 성분상의 차이점 여부를 확인키위해 상동광산부근과 화절치에서 채취된 시료에 대하여 EPMA 분석을 다수 실시하였던 바 그 결과는 Table 1에서 보이고 있듯이 별 차이점을 보이지 않는다. 상동광산 일대에서의 화절층이 보이는 스키르는 상기한 바와 같이 크게 두가지로 분류되는 바, 이 것들이 의미하는 심부 지하의 정보는 바로 3년동안에 화절치의 탐광 시추 코아가 보여주는 결과를 근거로 단정해 말할 수 있다. 즉 epidote를 주로 하는 스키르는 화강암의 定置에 의해 형성된 일차적인 것으로 이는 화강암의 존재만을 예측케하는 정보를 제공할 수 있게된다. 화절의 시추 코아와 상동광산 북측 지표 노두에서 관찰할 수 있는 것처럼 암갈색의 garnet광물을 보이는 화절층내 스키르 단괴는 바로 직하의 심부로부터 광화용액이 화강 마그마로부터 상승하였음을 나타내보이며 심부 잠두 스키르광체의 존재를 예고해주는 정보를 주고 있다.

3차년에 걸친 1000미터 이상의 장공 시추 (Fig. 3)에 의해 밝혀진 잠두광체는 최초 시추공으로부터 함백향사의 축에 가까운 북측에 가까울수록 상동광체의 하반 2

Table 1, Chemical compositions of epidote from the skarn nodules of the Hwajeol Formation.

	west							East					
	G	M	H	I	I	J	J	I	I	J	K	K	A
SiO ₂	36.99	37.30	37.10	36.89	36.77	36.98	38.00	37.20	37.00	36.83	37.17	36.66	37.36
TiO ₂	0.05	0.46	0.08	0.08	0.26	0.22	0.11	0.03	0.11	0.06	0.07	0.02	0.15
Al ₂ O ₃	21.59	21.45	21.71	20.98	21.29	21.86	21.63	22.13	22.83	22.13	21.83	22.08	21.44
Fe ₂ O ₃	15.54	15.48	15.48	15.57	16.85	14.79	15.47	15.62	13.54	16.27	14.80	15.12	15.28
MgO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01
MnO	0.04	0.16	0.09	0.07	0.06	0.01	0.11	0.01	0.07	0.14	0.08	0.10	0.07
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	23.32	23.24	23.45	23.24	23.87	23.41	22.35	23.22	23.30	22.88	23.02	23.56	23.43
Total	97.55	98.10	97.93	96.84	99.11	97.28	97.68	98.24	97.87	98.35	97.00	97.55	97.74
Si	5.9737	5.9871	5.9682	6.0062	5.8832	5.9745	6.0927	5.9568	5.9050	5.9044	6.0135	5.9201	6.0145
Ti	0.0058	0.0559	0.0097	0.0098	0.0317	0.0272	0.0135	0.0038	0.0134	0.0077	0.0087	0.0029	0.0184
Al	4.1086	4.0590	4.1161	4.0269	4.0151	4.1630	4.0869	4.1758	4.4827	4.1809	4.1626	4.2036	4.0690
Fe	1.8884	1.8694	1.8734	1.9078	2.0306	1.7980	1.8671	1.8820	1.6266	1.9633	1.8023	1.8378	1.8516
Mg	0.0049	0.0019	0.0048	0.0020	0.0019	0.0019	0.0019	0.0067	0.0048	0.0096	0.0068	0.0019	0.0019
Mn	0.0058	0.0222	0.0126	0.0098	0.0077	0.0010	0.0154	0.0010	0.0096	0.0193	0.0107	0.0136	0.0097
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	4.0348	3.9972	4.0426	4.0543	4.0920	4.0523	3.8393	3.9843	3.9849	3.9305	3.9906	4.0764	4.0419

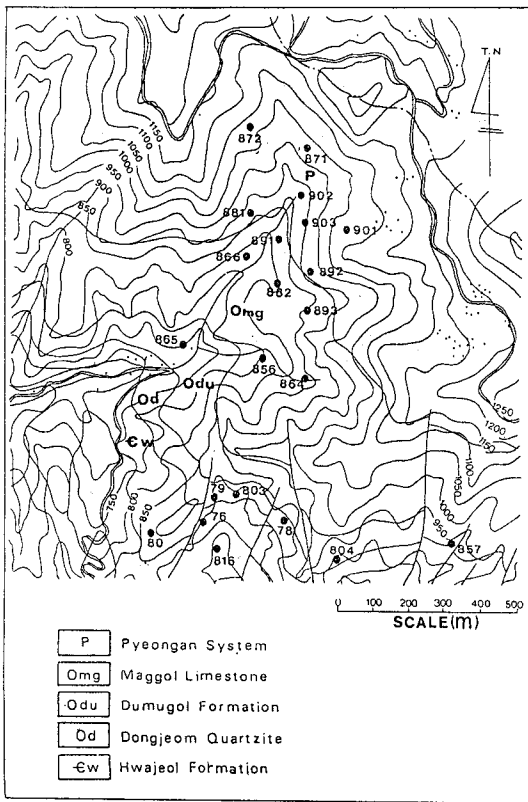


Fig. 3, Locality Map of Exploration Drillings at the Hwajeolchi area.

호맥에 해당되는 층준이 강하게 스카른화되고 비교적 높은 회중석을 함유하고 있음을 탐지케하는 정보를 제공하고 있다(Fig. 4.). 바로 이러한 심부의 정보는 각공의 시추코아중 화질층내 스카른의 강도가 북쪽으로 가면서 지표에서 관찰되지 않던 garnet이 증가하고 있어 지표에서 단정한 가정과 일치하고 있음이 확인되었다(광진 시추보고서 10, 11, 12, 13).

화질층내 스카른의 地化學的 考察

분석된 화질층의 지화학 성분은 Table 2와 같다 (정창희, 1969). 스카른화한 부위는 석회질부분으로 이들이 원래 가지는 지화학적 성분에 의하면 스카른을 형성하기 위해서는 Si, Al, Fe가 상당량 공급되어야 함을 알 수 있다. 따라서 대부분의 화질층내의 단괴(nodule)가 epidote를 주로하는 스카른이 되는 경우는 하부 화강암의 강한 열공급만으로도 가까운 주변 세일로 부터 필요한 원소의 이동이 가능하였을 것으로 추정된다. 따라서 garnet, epidote, clinopyroxene등으로 이루어진 화질층내 스카른 역시 바로 그 직하부에서 열수 용액이 상승 되는동안 석회질 단괴가 가진 화학조성만 가지고서도 만들어질 수 있다고 추정 할 수 있다. 이를 화학식으로 나타내 보면 다음과 같다.

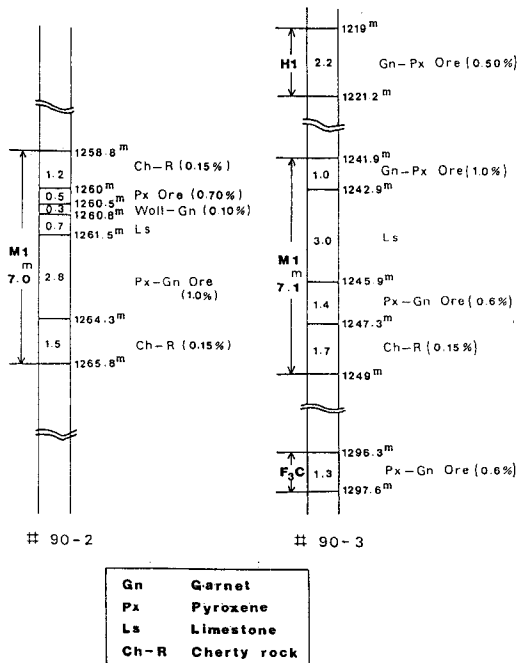
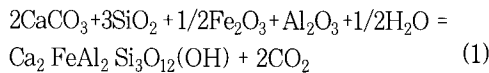
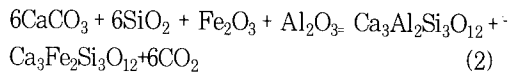


Fig. 4. Columnar sections of parts of mineralized zone in exploration drilling cores at the Hwajeolchi area (from the Sangdong mine).

1차 epidote skarn



2차 열수교대 skarn



상기 화학반응식은 화절층내 생긴 두 종류의 스카르

Table 2. Chemical compositions of the Hwajeol Formation (After Jeong 1969)

	3A	2B	3B
SiO ₂	8.86	48.48	4.73
CaCO ₃	86.98	37.22	84.22
MgCO ₃	1.18	5.17	1.44
Al ₂ O ₃	1.77	5.42	6.74
MnO	0.04	0.01	0.04
FeO	0.72	3.32	2.09
Total	99.55	99.62	98.96

이 형성되는 화학적 조건을 나타내 보이고 있다. 첫번째 반응식은 스카르의 형성에서 물(H₂O)이 관여하면서 비교적 초기 단계에서 화강암으로부터 충분한 열이 공급되기 전 낮은 온도에서 반응이 일어났을 것이라고 가정하고 세워본 화학반응식이다. 반면에 2차 광화작용과 직접 관련을 갖는 2차 스카르의 경우는 화강암으로부터 열이 최대로 전달되어 절정 온도(물 임계온도보다 높은 온도)에 이르른 환경에서 반응이 이루어져 anhydrous skarn을 형성한 것임을 나타내어 보이기 위해 두번째 화학반응식을 세워보았다. 그러나 위의 반응식을 이용한 자유에너지 차 (델타 G)를 계산한 결과는 Table 3이 보이고 있듯이 델타 G가 0보다 큰 값을 보이므로 위 반응식은 300-500 C°의 온도에서 역반응이 우세하게 일어날 수 있음을 암시해 보인다. 따라서 위의 화학반응식은 평형상태를 유지하기까지는 외부로부터 공급되어진 원소들이 반응에 참여하므로서 정반응이 한동안 일어날 수 있었으리라고 판단된다. 즉 화절층내 석회질 단괴가 가지고 있는 화학조성만으로는 화강암의 정체에 따른 지열 상승에 의해 epidote나 garnet, pyroxene의 정출이 불가했음을 위 화학반응식은 열역학적 관점에서

Table 3. Free energy values of elements for equation (1).

T(K°)	2CaCO ₃	3SiO ₂	Al ₂ O ₃	1/2H ₂ O	1/2Fe ₂ O ₃	epidote	2CO ₂
400	-2204.3	-2512.9	-1531.5	-111.9	-357.45	-1442.7	-789.3
500	-2152.6	-2458.2	-1500.9	-109.5	-344.06	-1412.7	-789.8
600	-2101.8	-2403.6	-1470.4	-106.9	-330.94	-1382.6	-790.3
700	-2050.8	-2349.8	-1440.1	-104.4	-318.08	-1353.0	-790.7

Table 4-1, Chemical compositions of garnet in the skarn nodule of the Hwajeol Formation.

	East-3 (Sangdong)							866(Hwajeol)			
	B	C	G	H	J	I	K	2	57	58	60
SiO ₂	34.64	36.75	34.96	34.69	34.67	36.40	34.28	39.12	39.03	39.44	39.14
TiO ₂	-	0.19	-	-	0.07	0.23	0.09	1.37	0.64	0.59	0.50
Al ₂ O ₃	0.10	9.45	0.09	-	7.81	8.71	3.14	16.25	16.52	16.26	18.15
FeO	30.79	18.64	30.93	31.84	20.08	19.35	28.67	7.00	7.66	8.73	6.39
MnO	0.11	0.31	0.16	0.23	0.38	0.35	0.21	0.35	1.00	0.75	1.07
MgO	0.02	0.08	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.08	-	0.04
CaO	33.48	34.91	33.45	33.77	34.52	33.83	33.53	34.65	35.62	34.93	25.61
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.04	0.02
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	0.07	0.02	-	-	0.03	-	-	-	-
Total	99.12	100.32	99.70	100.57	99.36	98.88	99.99	98.80	100.49	100.73	100.94

Number of ions on the basis of 12 Oxygens.

Si	2.964	2.954	2.973	2.937	2.981	2.973	2.881	3.081	3.048	3.075	3.018
Ti	0.000	0.012	0.000	0.000	0.005	0.015	0.006	0.081	0.038	0.035	0.027
Al	0.011	0.896	0.009	0.000	0.752	0.839	0.311	1.509	1.516	1.494	1.650
Fe	1.985	1.127	1.980	2.028	1.235	1.190	1.814	0.461	0.591	0.569	0.413
Mn	0.009	0.021	0.012	0.017	0.027	0.024	0.015	0.023	0.066	0.050	0.070
Mg	0.003	0.009	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.005	0.009	0.000	0.005
Ca	3.071	3.006	3.048	3.063	3.023	2.960	3.020	2.924	2.927	2.918	2.942
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.005
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
And	99.47	55.71	99.55	99.38	62.11	58.22	85.38	23.38	28.00	27.56	20.00
Gros	0.14	43.3	0.45	-	32.86	36.93	14.03	75.70	69.53	70.77	77.51
Other	0.39	0.99	-	0.62	5.03	0.85	0.59	0.92	1.47	1.67	2.49

잘 나타내준 샘플이다. 70년대 상동 조사팀이 서부탐사 활동을 전개할 당시 화절층 단괴의 스카른이 metamorphic skarn이라고 규정한 것은 잘못된 가정이었음이 드러난 샘플이다.

따라서 화절층의 石灰質 團塊의 스카른이 화강암으로부터 전달된 열 에너지의 영향에 의해 초기 비교적 低溫인 물이 존재하는 환경에서 團塊를 구성한 主元素 이외의 원소가 단괴에 공급되어지면서 주로 epidote를 형성하고, 점차 온도의 상승과 함께 물이 부재하는 환경에 이르러 garnet과 clinopyroxene을 형성하였다고 추

정되므로 열역학적 data가 암시해 주듯이 본 스카른의 형성은 교대작용에 의한 일방적(정반응) 반응에 의해 새로운 스카른 광물이 평형에 이르기까지 형성되어진 metasomatic skarn으로 판단된다.

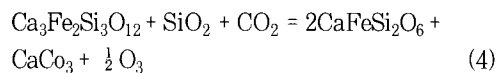
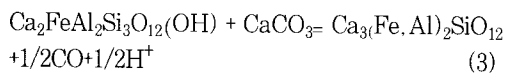
화절층 團塊內 스카른 광물의 化學的 平衡

지표 화절층내 단괴의 스카른 광물에 대한 EPMA 분석 결과인 Table 4-1 과 4-2 및 Fig. 5와 6에서 보이고 있듯이 garnet은 일부 grossular-andradite 성분

Table 4-2. Chemical composition of clinopyroxene from the skarn nodule of the Hwajeol Fromation.

	East-3	East-2	East-2	West 866				
	G	C	I	4	5	6	7	8
SiO ₂	51.50	51.76	49.70	52.58	52.48	52.34	52.01	52.78
TiO ₂	-	-	0.05	-	-	-	-	0.02
Al ₂ O ₃	0.61	0.26	1.03	0.25	0.13	0.22	0.16	0.01
FeO	12.03	10.70	13.85	11.87	12.69	13.09	14.92	12.86
MgO	10.56	11.46	9.65	10.52	9.32	8.72	7.99	9.18
MnO	0.22	0.11	0.22	0.51	1.15	1.26	1.06	0.85
CaO	24.22	24.80	24.54	23.98	23.71	24.13	23.75	24.03
Cr ₂ O ₃	-	0.03	0.04	-	-	-	-	-
Na ₂ O	-	-	-	0.08	0.07	0.002	0.07	0.10
TOTAL	98.94	99.12	99.09	98.79	99.55	99.80	99.95	100.03
Number of ions of the basis of 6 oxygens								
Si	1.981	1.982	1.939	2.004	2.167	2.013	2.012	2.018
Ti	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	0.028	0.119	0.047	0.011	0.006	0.011	0.008	0.010
Fe	0.387	0.343	0.467	0.379	0.408	0.422	0.483	0.411
Mg	0.605	0.654	0.564	0.599	0.534	0.650	0.461	0.524
Mn	0.072	0.004	0.008	0.017	0.038	0.041	0.036	0.028
Ca	0.998	1.017	1.026	0.980	0.976	0.995	0.985	0.900
Cr	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.002	0.006	0.008
Hf	36.4	34.3	45.0	38.1	41.7	37.9	49.3	42.7
Dio	56.9	65.4	54.3	60.2	54.5	58.4	47.0	54.4
Jo	6.7	0.3	0.7	1.7	3.8	3.7	3.7	2.9

을 보이고 있으며, clino pyroxene은 diopside-hedenbergite성분을 보이고 있다. garnet과 epidote 그리고 andradite와 hedenbergite의 공생은 다음과 같은 화학반응식에 의해 이들이 생성될 당시의 화학적 평형관계를 나타내 보일 수 있다.



위의 반응식(3)식은 델타 G값이 700° (K)에서 음

수가 되므로 정반응이 활발히 일어날 수 있음을 나타내 보인다. 따라서 화절층내 단괴의 대부분이 epidote로 구성되어 있고 부분적으로 열변질을 강하게 받은 부위에 garnet이 추가 발달하고 있는 부위에서 평형에 이르기까지 epidote는 garnet으로 교대되어지면서 평형에 이르러 epidote, garnet 및 calcite를 주로하는 skarn 체를 형성하였다고 추정된다. 이들 세공생광물의 평형에 중요한 역할은 탄산가스의 分壓과 수용액의 pH에 의해 크게 좌우 되어졌을 것으로 본다. 반응식(4)는 garnet 과 clinopyroxene과의 평형관계를 델타 G값이 0에 가까운 값을 보임으로서 열역학적으로 잘 설명되고 있다. 이들이 평형을 이루어 생성된 당시의 온도와 두 평형을 주도한 산소 분압은 Fig. 7에서 추정해볼 수 있듯이

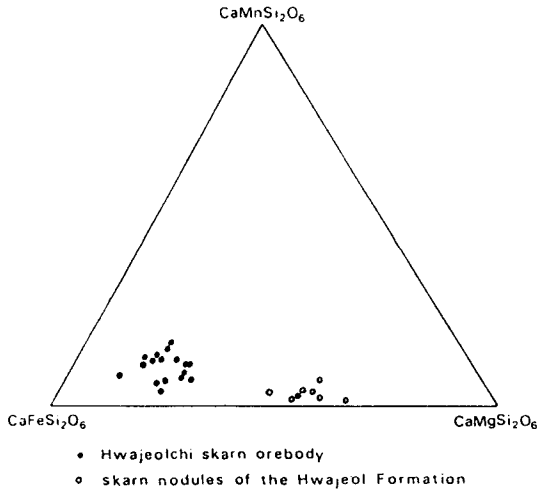


Fig. 5. Comparative chemical compositions of clinopyroxene in terms of hedenbergite, andradite and grossular in the skarn nodules of the Hwajeol formation and in the Hwajeolchi skarn orebody.

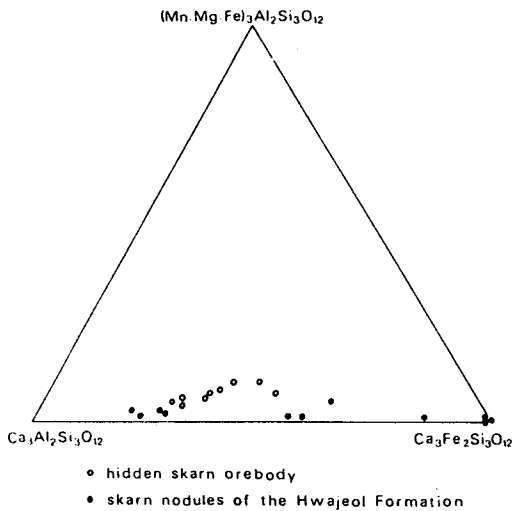


Fig. 6. Comparison of garnet compositions plotted in terms of mole % of grossular andradite and others in the skarn nodules of the Hwajeol Formation and in the Hwajeolchi skarn orebody.

700° (K)에서 -26에 이르렀을 것으로 추정된다.

化折峙 深部 蠶頭 스키른 鑛體

광업진흥공사 지원에 의해 실시된 화질치에서의 장공

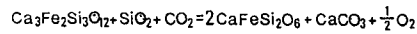
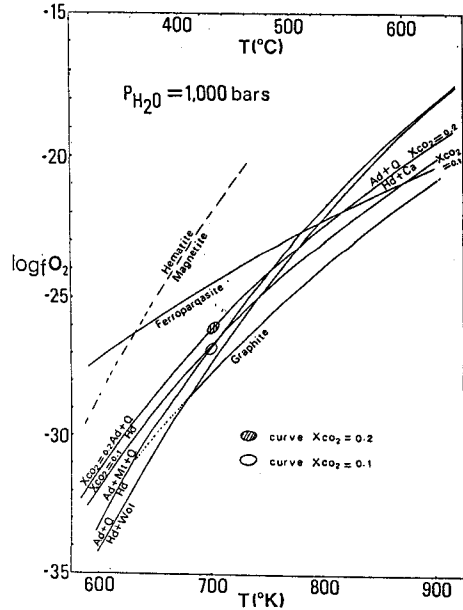


Fig. 7. Stability field of the skarn formation.

(1킬로 매터 이상 심도)시추는 지표에 전혀 광흔을 보이지 않는 원동탄전 직하부에서 표봉층내 석회암 협층(상동 본맥 층준)이 스카른화 되어 있고, 최고 3% WO₃ 정도의 고품위 광체가 발견된바 있다(광진 시추보고서 10, 11, 12, 13 ; 이창우 외, 1991).

화질치의 시추 결과 노출된 표봉층내 협층의 스카른 및 二鑛況(중석)은 상동광산의 본맥층준에 해당하는 석회암이 부분적인 규모로부터 전체 규모로 스카른화 되어져 다양한 맥폭의 광체를 이룸에 따라 구조적 규계를 심하게 받았음을 잘 나타내보인다.

금번 관찰대상이 된 시추공은 90년도에 실시된 3공 중 #90-2호공과 #90-3호공으로 화질층의 스카른 단괴는 앞의 공에서는 심도 933.5m, 뒷공에서는 866m 지점에서, 상동 본맥층준의 함 회중석 스카른 광체는 앞공에서는 심도 1262m, 뒷공에서는 심도 1220m, 1222m, 1236m에서 목측 품위 0.7-3%(WO₃)되는 부위를 선택 채취 하였다.

Ultraviolet lamp하에서 황색 또는 청색의 형광색을 보이는 회중석(scheelite)은 상동광산 하 12항에서 異常鑛物群(Moon, 1983)으로 기재된 것과 유사한

Table 4-3. Chemical compositions of garnet from the hidden skarn orebody in the Hwajeolchi area.

SiO ₂	38.45	38.07	38.00	37.83	36.66	37.83	37.71	38.28	38.80	37.63
TiO ₂	0.02	0.04	0.08	0.04	0.00	0.05	0.14	0.24	0.21	0.18
Al ₂ O ₃	14.32	13.12	14.34	15.74	12.78	11.78	12.81	18.28	15.38	15.26
FeO	11.37	12.84	10.97	8.54	13.60	15.47	13.88	8.51	9.88	11.26
MnO	3.86	4.33	3.16	2.69	3.06	5.62	4.31	2.70	1.70	2.64
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01
CaO	30.96	29.92	32.21	31.74	33.35	22.09	31.33	33.54	33.78	33.03
Na ₂ O	0	0.05	0.02	0.00	0.03	0.0	0.00	0.00	0.04	0.00
K ₂ O	0	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.00	98.17	98.77	96.39	99.53	100.07	100.18	100.57	99.60	100.02
Number of ions on the basis of 12 oxygens										
Si	3.113	3.135	3.084	3.081	3.020	3.117	3.077	3.026	3.075	3.020
Ti	0.002	0.003	0.005	0.403	0.000	0.003	0.009	0.014	0.012	0.011
Al	1.367	1.274	1.371	1.520	1.241	1.145	1.232	1.515	1.443	1.443
Fe	0.770	0.870	0.746	0.585	1.236	1.067	1.022	0.628	0.659	0.756
Mn	0.266	0.303	0.218	0.186	0.213	0.407	0.299	0.182	0.114	0.180
Mg	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.000	0.000	0.003	0.002
Ca	2.685	2.640	2.802	2.784	2.973	2.568	2.739	2.840	2.883	2.840
Na	0.000	0.008	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
And	36.00	40.6	35.2	27.8	49.9	48.5	45.3	29.3	31.3	34.4
gros	54.9	49.1	57.6	65.9	43.3	33.8	44.8	62.7	64.9	59.6
other	9.1	10.3	7.2	6.3	6.8	17.7	9.9	6.0	3.8	6.0

vesuvianite, clinopyroxene, garnet과 함께 산출되고 있다. 엷은 적자색을 띠는 vesuvianite는 화학성분 (Table 4-5) 만으로는 garnet과 구별이 어려우나 현미경하에서 뚜렷한 異邦性 消光을 보임으로 garnet과 쉽게 구별된다. 회중석은 0.1-0.25mm의 반자형을 주로 이루며, 비교적 巨晶의 반자형의 clinopyroxene 또는 vesuvianite중에 포획되어 산출된다. fluorite는 부분적으로 넓게 분포하면서 주로 clinopyroxene과 garnet을 교대하고있다.

Skarn 광물을 자르면서 세맥상을 이루는 apophyllite는 특징적인 광물로 부분적으로는 calcite를 수반하고 있는바, 화학분자식은 $KFCa_4(Si_8O_{20})8H_2O$ 인 이 광물의 EPMA분석 결과는 Table 4-6과 같다. 드물게 epidote가 관찰되며, 본 스키르노 광체의 특

색은 회중석을 함유하면서도 quartz의 발달을 전혀 보이지 않고 있는 점이다. 관찰된 스키르노 광체의 주구성광물에 대한 EPMA분석결과는 Table 4-3 및 4-4와 같다. garnet과 pyroxene이 보이는 화학성분을 화질층내 스키르노 단괴의 것들과 비교될수 있도록 표시해 보이면 Fig. 5, 6과 같다.

화질층내 스키르노 광물과 모봉층내의 스키르노 광물 지화학의 대비

#90-2와 #90-3 두 시추코아에서 관찰되는 화질층내 석회질단괴의 스키르노는 대체로 동부상동 본광체 상위부와 주변 가까이에서 관찰되는 스키르노와 동일한 양상으로 나타난다. 특히 #90-3 호공의 심도 866m에서 보이는

Table 4-4. Chemical compositions of clinopyroxene from the hidden skarn orebody in the Hwajeolchi area.

SiO ₂	50.61	50.59	48.79	50.49	49.85	49.83	49.48	50.27	50.53	50.26	49.90	50.54	49.05	50.25
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04	0.00	0.04	0.06
Al ₂ O ₃	0.17	0.12	0.12	0.00	0.11	0.09	0.08	0.20	0.24	0.24	0.71	0.13	0.60	0.32
FeO	18.89	20.48	20.37	18.99	20.16	21.26	22.12	20.33	20.24	19.73	21.74	19.04	21.49	18.71
MnO	3.31	2.82	3.68	4.82	3.53	3.76	3.13	2.25	1.85	2.34	1.29	2.80	1.76	2.23
MgO	4.04	2.78	2.97	3.08	2.75	2.30	2.50	4.09	4.31	4.22	3.69	4.44	3.62	4.59
CaO	22.33	22.82	22.58	21.41	23.45	22.96	23.24	23.66	23.43	23.75	23.08	22.95	23.22	23.36
Na ₂ O	0.03	0.02	0.05	0.01	0.00	0.04	0.09	0.10	0.02	0.08	0.21	0.15	0.07	0.13
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02
Total	99.51	100.84	99.56	98.79	99.88	100.31	100.69	100.97	100.88	100.87	100.70	100.07	99.85	99.68
N.O.A.														
Si	2.022	2.015	2.010	2.040	2.007	2.008	1.992	1.992	2.000	1.993	1.985	2.159	1.975	2.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	0.002
Al	0.008	0.005	0.006	0.000	0.005	0.005	0.004	0.009	0.010	0.001	0.034	0.006	0.029	0.015
Fe	0.635	0.683	0.688	0.642	0.679	0.716	0.745	0.749	0.670	0.654	0.723	0.633	0.724	0.623
Mn	0.111	0.132	0.126	0.165	0.121	0.128	0.107	0.076	0.062	0.079	0.044	0.094	0.060	0.075
Mg	0.241	0.166	0.179	0.185	0.165	0.138	0.150	0.242	0.254	0.250	0.219	0.263	0.217	0.272
Ca	0.956	0.979	0.977	0.927	1.012	0.992	1.003	1.004	0.994	1.010	0.983	0.977	1.002	0.996
Na	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.004	0.007	0.008	0.002	0.006	0.017	0.011	0.005	0.011
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001
Hd%	64.3	69.6	69.3	64.7	70.4	72.9	74.3	70.2	67.6	66.6	73.4	63.9	72.3	64.2
dip	24.4	16.9	18.1	18.7	17.1	14.0	15.0	22.7	25.7	25.4	22.2	24.3	21.7	28.1
Jo	11.3	13.5	12.6	16.6	12.5	13.1	10.7	7.1	6.7	8.0	4.4	11.8	6.0	7.7

Table 4-5. Chemical compositions of vesuvianite from the skarn nodule of the Hwajeol Formation.

	HW-(41)	HW-1(39)
SiO ₂	36.79	37.08
TiO ₂	0.52	0.56
Al ₂ O ₃	17.10	17.28
FeO	8.53	6.31
MnO	2.38	2.72
MgO	0.01	0.04
CaO	33.29	32.01
Na ₂ O	0.05	0

스카른에는 깨알 정도 크기의 molybdenite 결정이 산포되어 있고, pyroxene과 garnet은 아주 미립으로 큰 결정을 거의 보이지 않는다. 하부 본맥 층준 스카른에서는 관찰되지 않은 molybdenite 결정이 상위 화절층에 보이고 있음은 상동광상의 경우처럼 온도의 규제를 받아 어느 일정 수준 이상에서만 안정한 결정으로 생성되어졌을 것으로 추정된다. garnet과 pyroxene의 EPMA 분석결과를 三角 도표에 표기한 Fig. 5와 6으로부터 상동 동측 상동광산 상 위부의 화절층에서와 서부 화절층의 화절층에 나타난 garnet과 pyroxene의 지화학적 성분을 비교해 볼 수 있다. 상동광산 상위부에서 보이는 garnet은 grossular-andradite 성분을 다양하게 보이면서 일부는 거의 andradite의 성분을 갖지만, 화절층 본 잠두광체 상위부의 것은 대체로 잠두광체가 보이는 garnet과 큰 차이를 보이지 않는 grossular에 해당하

Table 4-6. Chemical compositions of apophyllite from the skarn ore discovered by drillings.

	HW-1(38)	HW-1(37)	1223(26)	1223(22)
SiO ₂	51.16	50.73	51.48	50.74
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.04	0.00	0.04	0.04
FeO	0.04	0.06	0.10	0.03
MnO	0.04	0.06	0.10	0.03
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	24.58	24.71	24.57	24.34
Na ₂ O	0.04	0.00	0.10	0.09
K ₂ O	4.64	4.83	5.02	4.88
Total	80.49	80.34	81.31	80.00
Number of ions on the basis of 8 Oxygens				
Si	3.107	3.096	3.103	3.102
Ti	0	0	0	0
Al	0.003	0	0.003	0.003
Fe	0.002	0.003	0.005	0.002
Mn	0	0	0	0
Mg	0	0	0	0
Ca	1.598	1.616	1.586	1.594
Na	0.005	0.001	0.012	0.010
K	0.360	0.376	0.386	0.381

는 garnet의 화학조성을 보이고 있다. 광화 강도가 화절층보다 상동광산 부근이 현저히 강하게 나타나고 있기 때문에 화절층내 스카른 단괴의 garnet성분이 상동광산 북측의 경우 화절층의 경우보다 더욱 andradite에 가까운 성분을 보이는 것은 심부 스카른의 강도를 예측하는 척도가 될 수 있을 것 같다. Clinopyroxene의 화학조성이 화절층내 스카른 단괴의 경우보다 잠두 스카른광체에서 좀더 hedenbergite에 가까운 성분을 보이고 있음도 특기할만 하다. 한 연장선상의 시추코어에서 상위의 화절층 스카른 단괴의 garnet이 이보다 심부의 표봉층내 스카른의 garnet보다 더 andradite에 가까운 점은 Fe³⁺ 활동도가 지표에 가까워짐에 따라 증가하는 환경을 암시해주며, 또한 pyroxene의 경우 하위부의 표봉층내 스카른에서 좀더 hedenbergite 한 성분을 보이고 있음은 심부로 가면서 Fe²⁺ 활동도가 증가하는 환경에 놓여 있었음을 잘 나타내 보이고 있는 것으로 해석된다. 즉 심도에 따른 상대적 산화환원 환경을 이들로부터 유추해볼 수 있음을 알 수 있다.

討論 및 綜合

花折層内の 石灰岩 團塊는 특징적 풍화에의해 우리의 관심을 끌고 있지만 이제 이들 단괴의 스카른화 현상은 하부의 화강암의 定置에 관한 정보와 더 나아가서는 심부 스카른광체의 賦存을 암시해 준다는 점에서 중요한 심부 蠶頭鑛體 발견의 端緒가 될수 있음을 알 수 있다. 이 소규모의 단괴들이 가지는 석회질 화학조성 만으로는 高溫 에 의해서 epidote를 생성시킬 수 없었으나, 근접한 모암 으로부터의 원소 이동이 가능한 작은 규모의 석회질부위가 새로운 결정을 형성케 하는 공간적 조건을 만족시킬 수 있었을 것으로 판단된다. 화절층 石灰岩 團塊보다 큰 규모의 石灰質部位는 스카른화 할수 없었음을 표봉층내 하반 石灰岩협층의 경우에서도 명확히 보여주고 있다.

본 화절층의 스카른화와 이에의한 蠶頭 深部鑛體의 발견은 향후 咸白向斜 北翼部 탐사에 중요한 광상학적 탐사 기법으로 이용되어야 할 것이다. 상동광체 부존위치보다 약 1 km 하위부 이하의 심도에 부존된 화절층의 잠두 스카른 광체는 상동과 동일한 시기의 광화작용이었다고 가정할 경우, 그 하위부 심부에 정치된 화강암에는 상동의 경우처럼 지하수의 注入이 充分히 가능하지 못한 환경에서 후기 열수용액의 활동이 진전되지 못했을 것으로 해석된다. 還元環境에서 Fe²⁺가 주로 참여한 diopside-hedenbergite가 우세한 스카른광물이 생성되면서도 scheelite가 정출될 수 있었음을 파악해준다. 상동의 경우 W(텅스텐)의 부화와 밀접한 관계를 가지는 K(포타슘)이 二次的으로 생성된 apophyllite(Table 4-6)에서 보여주고 있으나 상동광산의 경우처럼 밀접한 친화 관계를 보이지 않음은 silica(실리카)의 경우에서나 마찬가지이다. 많은 부위에서 보여주는 garnet-pyroxene의 fluorite에 의한 교대현상은 W이 일부 florides로 운반되어졌을 가능성을 암시해보이고 있다. 즉 화절층 광체는 현 상동광산 스카른광체보다 약 1킬로미터 더 깊은 곳에서 이루어진 광체로서, 상동의 경우는 anhydrous에서 hydrous skarn을 만들어지게 되기까지의 변성 교대작용이 장기간에 걸쳐 일어난 것과는 달리 초기 skarn단계에서 더 큰 진전이 없이 mica류의 수반이나 quartz의 수반이 없이도 scheelite는 정출되어짐을 새롭게 보여주고 있다. 석영맥의 발달도 관찰되

지 않는 대신, apophyllite의 세맥상 발달에 따라 그 연변의 회중석의 집중발달이 육안적으로는 마치 석영과 회중석의 발달관계처럼 보이고 있기때문에 anhydrous skarn광물이 형성 발달된 부위의 발견이 기대된다. 화절치에서의 심부 잠두 스카른 광체의 부존 가능성에 대한 확인은 현재 지형구조에서만만이 광상이 부존할 수 있었을 것이라는 막연한 가정을 부정케하는 실질적 증거를 보여줌으로서 향후 심부 탐사의 훌륭한 길잡이가 될것으로 믿는다.

結 論

1. 태백분지 함백향사 남익부에 발달되는 화절층내 스카른은 특정한 형태의 석회질부위가 심부 화강암의 정체에 의해 형성되어져 주로 epidote를 주구성광물로 갖는 부위로서 구조선에 따른 후속된 유체의 유입에 의해 교대반응이 일어난 곳에서는 garnet-pyroxene-epidote스카른을 형성한다.

2. 화절층내 스카른 단괴는 하위 층준인 묘봉층내 석회암 협층의 스카른화를 예고하는 단서로 이용될 수 있어, 함백향사 북익부의 탐사에 효과적으로 이용될 수 있다.

3. 심부 잠두광체의 부존은 현 지형에 의한 정암압(lithostatic pressure)에 규제되지 않고서 해수면 이하의 심도에서도 스카른 광체를 형성할 수 있음을 화절치의 심부 잠두광체는 증명해주고 있다.

4. 광업진흥공사와 상동조사팀에 의해 이루어진 함백향사측에 근접된 심부 장공시추에 의한 신잠두광체 발견은 높히 평가되어야 할 것이며, 이 결과를 근거로 북익부에서의 장공탐사시추도 과감히 수행되어져야 할 것임을 강조코져 한다.

謝 辭

본 연구는 특정과제(안정동위체 측정 및 이용기술 연구) 수행중 채취된 시료를 이용하였기에 함께 참여한 주승환, 지세정 두 박사님들의 협조에 감사하며, 특히 상동광업소 김복근 과장, 이창우 계장 두분의 협조로 잘 보관된 시추 코아를 이용할 수 있었기에 깊은 감사드리며, 심기석 주임이 그려준 최근 시추 결과 맥부위 정보는 본 연구 보고서를 작성하는데 크게 도움이되었기에 감사드립니다.

REFERENCES

- 광산 시추보고서 10, 11, 12, 13.
 김광호, 이항재 (1985) : Communication.
 이창우, 심기덕, 김복근(1991) 광업소측 안내 설명
 정창희(1969) 강원도 동점의 소위 층식 석회암에 대하여. 제1권 24호.
 Kim J.Y. and Park, Y.A., (1981) Sedimentological study on the Pungchon and the Hwajeol Formations Gangwondo. Korea. J. Korean Inst. Mining Geol. vol.17, No.4.
 Moon, K.J., (1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposit, the Republic of Korea. PhD Tesis. Unpub. Tasmania University.
 Moon, K. J.(1979) Fluid inclusion study of the Sangdong tungsten Mine. J. Korea Inst. Mining Geol. v. 12, p.197-206.
 Moon, K.J. (1979) (1987) Significance of the occurrence of the Sangdong granite and scheelite-bearing quartz veins in the Precambrian schist. J. Geol. Soc. Korea. v. 23(4), p. 306-316.

1991년 7월 15일 원고접수