

## 태백산광화대내의 원동 다금속광상의 성인

황덕환\* · 이재영\*\*

### Ore Genesis of the Wondong Polymetallic Mineral Deposits in the Taebaegsan Metallogenic Province

Duk Hwan Hwang\* and Jae Yeong Lee\*\*

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to investigate the ore genesis and occurrence of the Wondong polymetallic mineral deposits. The Pb-Zn, Fe and W-Mo mineralizations are found in skarn zones which formed mainly in or along the fault shear zones with the N25-40°W and N10-50°E directions, whereas the Cu-Mo mineralization is appeared hydrothermal replacement zone. The skarn minerals consist mainly of garnet and epidote, which were the last alteration phases between pneumatolytic and hydrothermal stages. The mineral paragenesis toward the late stage are as follows: arsenopyrite, scheelite, magnetite, pyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena, chalcopyrite and molybdenite. Average ore grades are 0.33 g/t Au, 46.29 g/t Ag, 0.06% Cu, 4.4% Pb, 2.61% Zn and 29.39% Fe in tunnels, and 0.31% Cu, 0.52% Pb, 6.29% Zn, 29.29% Fe, 0.03% Mo and 0.12% WO<sub>3</sub> in drill cores. Fluid inclusion data shows that Type I (liquid-rich), Type II (vapor-rich) and Type III (halite-bearing) inclusions are coexisted and their homogenization temperatures are quite similar. This indicates that boiling conditions have been reached during the mineralization. It is also likely that the ore solutions were evolved through the mixing between magmatic and meteoric waters. Rhyolite and quartz porphyry for the mineralization probably are not responsible of the Wondong polymetallic mineral deposits.

## 서 언

태백산광화대에 발달하는 대부분의 주요 광산들은 함백항사를 중심으로 남익부, 북익부 그리고 서익부에 위치하고 있다 (Fig. 1). 남익부에는 상동광산 (W-Mo), 거도광산 (Fe-Cu), 연화광산 (Pb-Zn) 및 이복광산 (Pb-Zn)이 위치하고, 북익부에는 원동광산 (Pb-Zn, Fe, W-Mo, Cu-Mo), 동남광산 (Fe-Cu) 및 삼원광산 (Au-Ag), 그리고 서익부에는 신예미광산 (Pb-Zn)이 각각 위치하고 있다.

남한의 9개 광역광화대지역 중 그 규모나 중요성에 있어 첫째로 꼽히는 태백산광화대에서 가장 중요한 광산들이 바로 이 함백항사를 중심으로 밀집되어 있기 때문에

그동안 이 지역에 대한 광상학적인 연구가 많이 이루어졌다 (김수영 외, 1983; 박노영 외, 1984; Kim *et al.*, 1988; 장호완 외, 1990, 1992; 김정환 외, 1991; 문건주, 1991; 김유동 외, 1993; 오민수 외, 1994, 1995; 서정률 외, 1996). 본 연구는 북익부에 위치하는 원동 다금속광상에 대한 광상성인 및 산출상태 연구를 통해 태백산광화대 지역에 대한 광화작용의 이해 및 차후의 좀 더 정밀한 연구를 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 원동광산 일대의 약 5 Km<sup>2</sup>에 발달하는 스킨대, 기존광체, 각 갱도 및 광석광물 등에 대한 광상학적 연구와 석영, 방해석 및 회중석에 대한 유체포유물 연구를 수행 하였다. 다금속광화작용, 즉 연-아연 광화작용, 자철석 광화작용, 중석-휘수연 광화작용 그리고 동-휘수연 광화작용 연구를 위해 정밀 항내조사, 광석광물연구, 스킨대 및 유체포유물 연구를 실시 하였다. 유체포유물 연구를 위한 시료는 풍전항도에서 채취된 석영과 방해석 그리고 DH94-1호공 시추코아에서 채취된 회중석, 방해석 및 석영을 대상으로 하였다.

\* 한국자원연구소 광상연구부 (Korea Institute of Geology, Mining and Materials (KIGAM), P.O. Box. 111 Yusung, Science Town, Taejeon, Korea), E-mail: dhhwang@kingam.re.kr.

\*\* 경북대학교 자연과학대학 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

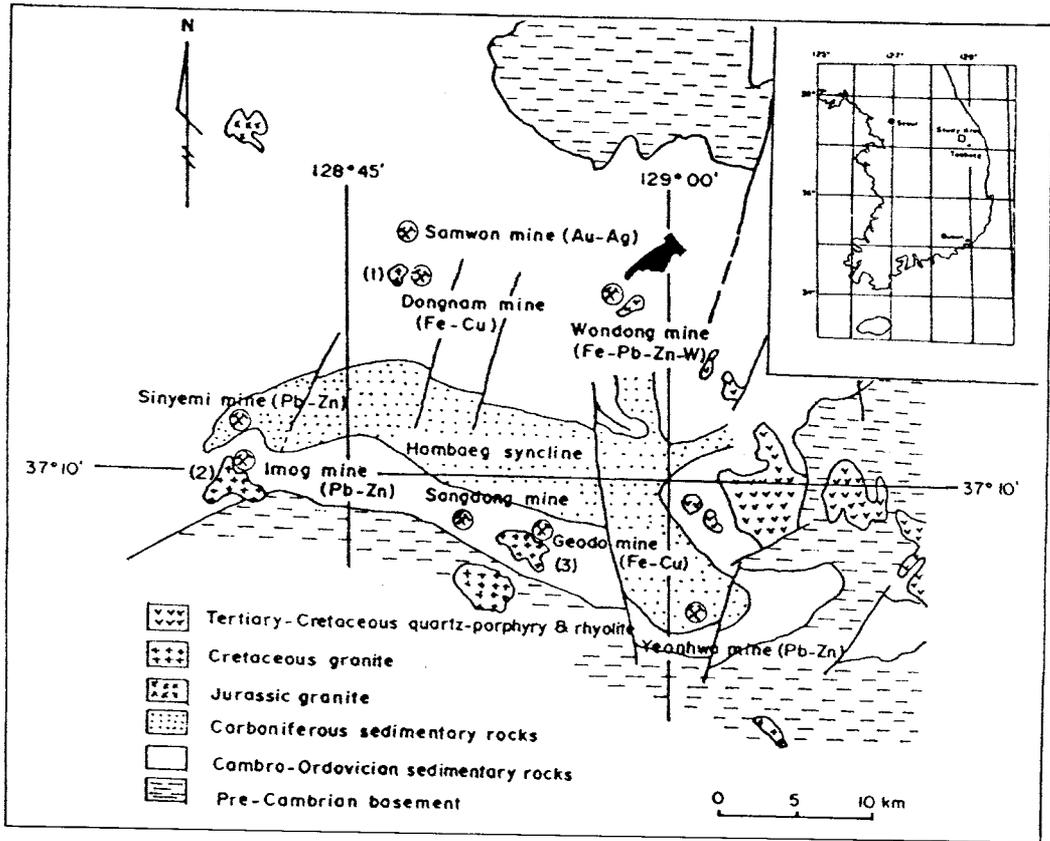


Fig. 1. The general geologic map of the Hambaeg syncline area in the Taebaegsan mineralized province, showing the location of the Wondong mine. (1) Hanchi granite, (2) Imog granite and (3) Eopyeong granite.

지질개요

본 연구지역의 지질은 캄브로-오도비스기의 조선누층군에 속하는 묘봉슬레이트, 풍촌석회암층, 화절층, 동점규암층, 두무동세일층, 막골석회암층 및 이들 층을 부정합으로 피복하는 석탄기 중기-트라이아스기 초의 평안누층군인 만항층 그리고 이들을 관입하는 백악기의 유문암, 석영반암 그리고 산성 및 염기성 암맥으로 구성되어 있다 (Fig. 2).

캄브로-오도비스기 조선누층군

묘봉슬레이트는 연구지역내의 지표에는 노출되어 있지 않지만 DH 94-1호 시추공에서 그 두께가 216 m (시추심도 784~1000 m) 확인되었고, DH95-1호 시추공에서 185 m (시추심도 815~1000 m) 확인된다. 시추코어상에서 관찰한 바에 의하면 대체로 10° 내외의 완경사를 이루며, 암

색은 담회색-암회색을 띤다.

풍촌석회암층은 주로 괴상의 담회색-회색, 우백색, 홍백색의 석회암으로 이루어졌으며, 평지골과 연작골 입구에서 북측으로 분포된다. 남측은 막골석회암층과 원동 층상단층과 접촉하며 북측은 화절층과 정합적인 관계로 접하고 있다 (김정환, 김영석 1991). 본층은 야외에서 N60~65°E 방향으로 발달하는 원동 층상단층면 북측에 발달하며 대체적으로 N40~50°E 주향과 10~40°NW의 경사를 보이고 있다.

화절층은 하부의 세송슬레이트층과 상부의 화절층으로 구분하여 기재하기도 하며, Cheong (1969)은 화절층을 3개 멤버로 구분하였는데, 그 하부는 석회암과 이회암의 호층이며, 중부는 박층의 녹회색 및 홍회색 규암과 회색 석회암의 호층대이고, 상부는 층식구조가 발달된 회색 석회암과 석회질 역암의 호층대이다.

원동광산 일대에서 본층은 평지골 및 연작골에 분포하고 있으며 하부에서는 풍촌석회암층과 정합적으로 접하고

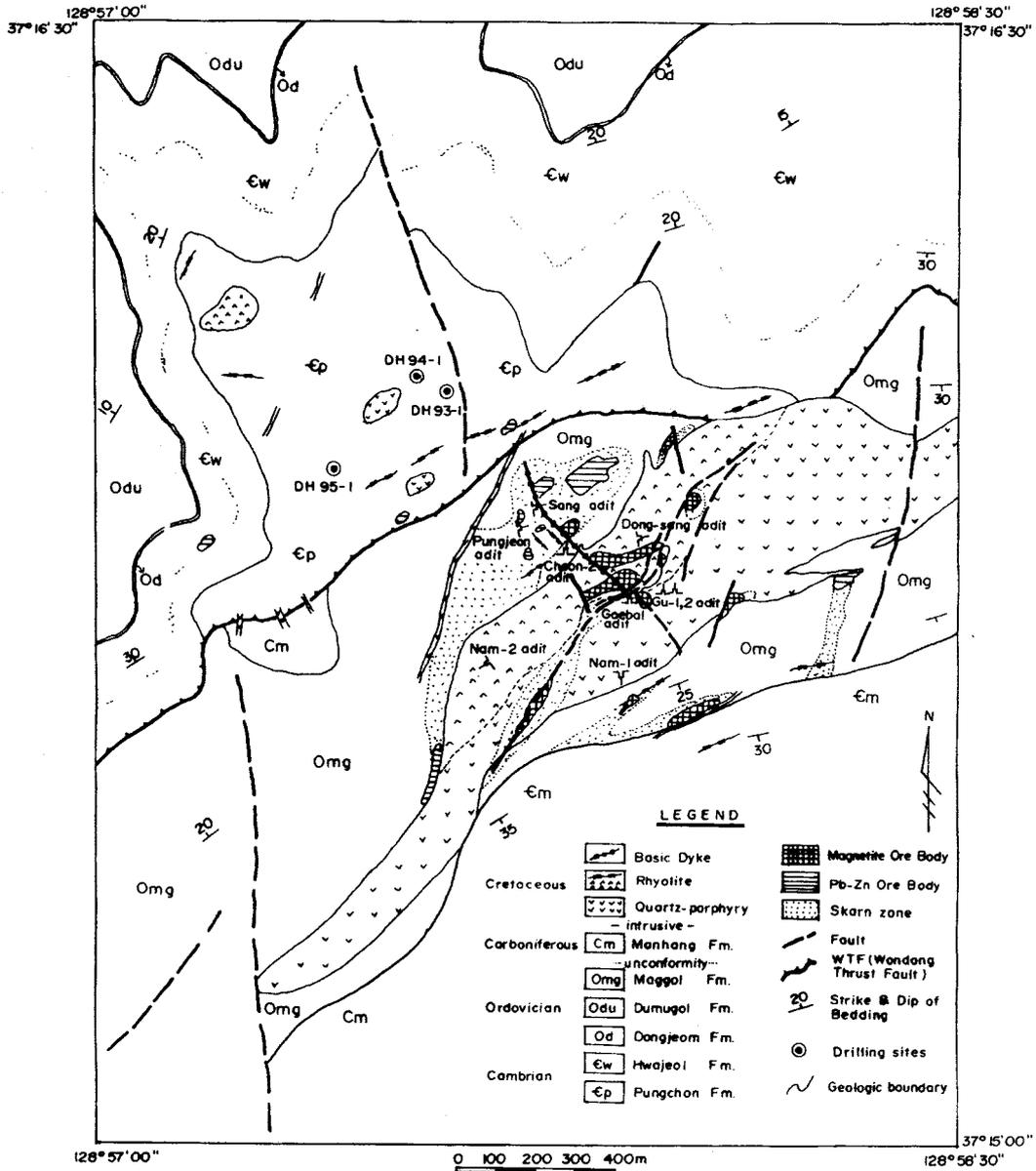


Fig. 2. Geologic map of the Wondong Pb-Zn-Fe-W mine area.

상부에서는 동점규암층이 피복하고 있다. 층리는 N30~60°E의 주향과 10~35°NW의 경사를 보여주고 있다.

동점규암은 지표상에서 그 연속성이 좋아 조선누층군 중부의 건층 (key bed)으로 흔히 이용되고 있다. 손치무와 정창희 (1965), Cheong (1969), Kweon (1970) 등은 사암의 입도와 원마도, 분급도를 근거로 동점규암을 해변의 사구 퇴적물이 천해로 이동되어 퇴적된 층으로 해석하였다. 박용안·최용석 (1989)과 최용석 (1990)은 동점규

암이 두번 반복되는 상향 조립성 층서를 갖는다고 하였으며, 이를 바탕으로 동점규암을 하부 동점멤버와 상부 동점멤버로 구분하였다. 본 암층은 원동광산 북측에 주향 N40~50°E, 경사 15~20°NW로 연속성있게 분포하며 (지표에서의 층후 5~15 m), 시추결과에 의하면 원동 층상단층 하반 화절층 상위에 정합적으로 그 두께가 45 m나 확인되었다 (Fig. 2).

두무골세일은 두무골층 (태백산지구지하자원조사단,

1962) 또는 두무골석회암 (Cheong, 1969), 두무골층, 두무동석회암 및 두무골세일 등의 유사한 명칭들이 혼용되고 있다. 원동광산 지역에는 회색-녹회색의 세일과 회색 석회암의 호층상을 이루고 있다. 본층의 주향은 N20~50°E, 경사는 10~20°NW의 완경사를 보이며, 층후는 130~160 m이다.

막골석회암은 막동석회암층 (태백산지구지하자원조사단, 1962), 막골층 (Cheong, 1969), 또는 막골석회암층 (이하영과 이종덕, 1971)등으로도 불리운다. 막골석회암은 주로 석회암으로 구성되며, 박층의 세일-점판암이 협재된다. 대체적인 주향, 경사는 북동-남서 방향으로 관입하고 있는 유문암 및 석영반암 북서측에서는 N15~30°E, 10~20°NW이고, 동남측에서는 N45~75°E, 20~50°SE이다. 회색-담회색의 석회암으로서 층리의 발달이 비교적 양호하며 두께 30~40 cm 정도의 이암 및 실트암이 협재되어 있고 층후는 약 400 m 정도이다.

**석탄기 중기 평안누층군**

본층은 담회색-우백색, 담록색 조립사암, 담록색-록색, 회색의 중립-세립사암, 적자색, 녹회색, 암회색의 세일 및 실트암 그리고 담회색-회색의 석회암 등으로 구성된다. 대체적인 주향과 경사는 N45~80°W, 35~65°SW 및 N70~75°E, 30~80°SE이다. 만항층은 중서부에 원동 층상 단층과 접해 표면적 400 m×200 m 규모로 막골석회암 상부에 부정합으로 소규모 분포되기도 한다.

**백악기 관입암류**

본역의 백악기 관입암류로는 유문암, 석영반암 그리고 암맥류로 구성되어 있다. 유문암과 석영반암은 본역 중앙부에 북동-남서 방향의 길쭉한 렌즈 모양으로 대상 분포한다. 유문암과 석영반암은 동일기원의 마그마에서 분화된 암체이나 암석학적인 관점에서 석영반정을 갖지 않고 유사구조를 보이는 유문암과 석영반정을 갖는 석영반암으로 분류된다 (김수영 외, 1983).

유문암은 본역 중앙부에 북동-남서 방향의 렌즈상으로 석영반암과 함께 관입하는 것 외에 연작골 일대에도 소규모 (100 m×150 m) 암주상으로 분포한다. 유문암은 도석 광으로도 개발되었으며, 직경 1~5 mm 정도의 공동들이 발달되며 이들 공동을 형성 및 방해석이 충전되기도 한다.

석영반암은 본역 중앙부에 북동-남서 방향의 렌즈상으로 유문암과 관입하는 것 외에 여러곳에서 소규모 암주상 또는 암맥상으로 분포한다 (박노영 외, 1976). 석영반정은 1~6 mm로 다양하고, 장석류의 입자는 조립이며 지표 노출로 인하여 연홍색을 띤다. 절리는 북북동 방향이 우세한 편이다 (Table 1).

황반암맥은 본역 중앙부 주광체들의 집결지인 개발항, 풍전항, 천2항 그리고 상항 등이 위치한 곳에 N30~40°W의 방향과 폭 1~2 m, 연장 약 600 m를 가지면서 단층선을 따라 분포되고 있다. 암회색 내지 암록색을 띠며 조선누층군인 막골석회암층과 백악기의 유문암과 석영반암을 관입하고 있다.

**원동 다금속광상**

**광상개요**

원동 다금속광상은 원동리 앞 하천을 경계로 북측 940 m 고지와 남측 970.4 m 고지를 연결하는 남북측 약 700 m와 서측의 평지골 입구에서 풍전항을 연결하는 동서 폭 약 1000 m 일대에 밀집되어 분포한다. 즉, 지표에 노출된 광체와 변질대 규모는 약 0.7 km<sup>2</sup>에 달한다 (Fig. 2).

광화작용은 연-아연 광화작용, 자철석 광화작용, 중석-휘수연 광화작용 및 동-휘수연 광화작용 등으로 구분할 수 있다. 이들 광화작용이 관입암체인 유문암 및 석영반암과 직접적인 관련이 있는지에 대해서는 지금까지는 명확하게 입증되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 유문암과 석영반암이 광화작용과 관계가 있는지 여부와 광상의 성인을 규명하고자 하며, 이를 위해 각 향도에 대한 정밀조사와 기존광체부분 및 각 광화작용들 그리고 광상 생성연령에 대한 자료 등을 비교 연구하였다.

**Table 1.** Comparison between rhyolite and quartz porphyry in the Wondong mine area.

Rock name	Rhyolite	Quartz porphyry
Distribution	Center part of the mine area	Outer part of rhyolite
Form	Stock and dyke	Lenticular
Minerals	Orthoclase, plagioclase and quartz	Quartz, orthoclase and mafic minerals
Textures	Flow texture (fine and aphanitic quartz)	Porphyritic texture (coarse grained quartz)
Trace elements	Fluorine rich, zinc poor	Fluorine poor, zinc rich

**Table 2.** K-Ar ages of constituent minerals from some ore deposits in the Taebaegsan district (after Park *et al.*, 1988).

No.	Mine	Sample No.	Mineral	K (%)	Rad. <sup>40</sup> Ar (1E-9 mol/g)	Rad. <sup>40</sup> Ar (%)	K-Ar age (Ma)
1	Ogbang	SCM-2B	Biotite	6.88	3.178	92.70	248.47±3.68
2	SSangjeon	Sj-1	Muscovite	7.59	31.59	99.96	1,526.23±34
3	Samyulsobo	S-1	Muscovite	8.92	2.818	60.88	173.53±2.46
4	Yeonhwa No.1	Y-1	Sericite	7.71	1.004	66.79	73.60±11.4
5	Geodo	G-1	Phlogopite	5.07	0.888	82.60	98.39±2.2
6	Wondong	WE-1	Phlogopite	7.64	0.698	77.67	51.97±1.8
7	Dongnam	DN-1	Phlogopite	8.07	1.085	85.87	75.86±1.7
8	Shinyemi	SM-1	Phlogopite	7.50	1.032	85.87	77.68±1.96
9	Eunchi	U-1	Sericite	7.08	1.114	85.90	88.52±2.0
10	Dunjeon	Dj-1	Sericite	9.08	1.217	94.36	75.68±1.71

태백산광화대 중 원동 다금속광상의 생성시기는 Table 2에서 보는 바와 같이, 개발항 버럭의 자철석 중에 배태되고 있는 금운모 (phlogopite)에 대한 K-Ar 연대측정을 통하여 51.97 Ma 즉, 고제삼기 (古第三紀)로 제시된 바 있다 (Park *et al.*, 1988). 태백산지역의 유문암 및 석영반암의 K-Ar 연대는 56-67 Ma (Kang *et al.*, 1995)으로서 금운모의 시기가 차이를 보여주고 있다. 이는 관입암체인 유문암과 석영반암이 광화작용과는 직접적인 관련이 회박함을 보여주는 한가지 증거이기도 하다. 특히 유문암 및 석영반암과 접하고 있는 석회암접촉대에서는 광화작용이 미약하며, 다만 관입암체와 석회암 접촉대가 열수용액의 통로역할을 하여 관입암체와 석회암 양측에 광화작용이 있었음을 보여준다 (Table 3A, B, C, D). 즉, 관입암체인 유문암과 석영반암은 불모성 관입암체 (barren intrusive rocks)로서 광화작용과 직접적인 관계는 없는 것으로 사료된다.

**스카른 광화작용**

**연-아연 광화작용**

연-아연광체는 주로 본역 중앙부 북동-남서 방향의 유문암 및 석영반암체의 북서측 석회암 근원 스카른대에 분포되는데, 특히 평지골 풍전향을 중심으로 북측 및 북동측에 3개지역, 동측과 남측에 2개지역, 서측 연작골에 2개지역 그리고 일정골에 1개지역 등에 분포된다 (Fig. 2).

연-아연광체는 막골석회암층의 사질 및 점토질 부분을 선택 교대하여 층상광체를 형성하며, 부광대에서는 층상광체와 스카른대가 교호되어 파이프 (pipe)상 광체를 이룬다. 층상광체의 폭은 10~30 cm이며, 부광대광체 모양은 직경이 2~10 m인 타원체이다. 본 광체는 풍전향과 상향에 발달하며, 시추탐사결과 지표하부 약 100 m 지점에서

서 1~2 m 폭을 갖는 연-아연 광체를 확인하였다. 시추하인 광체는 풍전향준에 비하여 Zn 함량은 다소 증가하나 Pb 함량은 감소하고 있다.

**자철석 광화작용**

자철광체는 유문암 및 석영반암이 막골석회암과 접하는 접촉부와 석회암 포획체 내에서 스카른광상으로 배태된다. 본 철광체는 N30~40°W 방향의 염기성 암맥 및 단층들과 N10~50°E의 단층들이 서로 교차하는 지점 그리고 N25°W 단층선상에서 6개소 배태하고, 천2항 북측 염기성 암맥과 접하는 석류석 스카른대, N10°W 단층대, N20°E 단층대, N50°E 방향의 유문암 스카른대 그리고 남측 평안계지층과 접하는 부정합면을 따라 각각 배태하고 있다. 광석은 괴상으로 산출되며, 간혹 방해석에 포획되어 산출되기도 하는데 이와같은 경우에는 방해석과 자철석 사이에 미세한 휘수연석이 원형으로 산출되기도 한다. 자철석과 공존하는 백운모는 그 색조가 회청색-회록색으로 착색되어 있는데, 이는 철 산화물의 침입이나 바나듐에 의한 현상으로 사료된다. 지표노두에서는 단사휘석류와 백회색의 침상 결정인 각섬석류가 거정질로 발달하며 자형의 석류석이 자철석과 공존하고 있다.

**중석-휘수연 광화작용**

중석-휘수연 광화작용은 연-아연 및 자철석 광화작용 이후에 생성된 것으로서 그 산출상태에 있어서도 차이가 있다. 즉, 연-아연 및 자철석 광화작용은 주로 석회암질암내에 배태되는데 반하여, 중석-휘수연석은 이들 광화작용 이후의 양상으로서 석회암질암내 뿐 아니라 유문암 및 석영반암내 또는 기존철광체내에서 석영, 방해석 및 형석과 공생하며 산출된다. 자철석 내에 배태되는 중석-휘수연석은 방해석과 밀접하게 공생하는데, 중석-휘수연석을 수반

**Table 3.** Analytical results (by wet analysis) of different types of skarn zone of the Wondong mine.

A. Contact with rhyolite							
Sample No.	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)		Sampling site
W-86	-	-	0.14	0.81	2.49		Pungjeon adit level
W-88	ND	7	0.17	2.15	0.21		"
W-90	ND	7	0.22	2.55	3.62		"
W-129	Tr	4	0.05	0.12	Tr		Sang adit level
Average	ND	4.5	0.14	1.41	1.58		
B. Contact with quartz porphyry							
Sample No.	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)		Sampling site
W-125	-	-	0.03	0.28	0.13		Sang adit level
W-134	-	-	0.03	0.52	2.85		"
W-135	-	-	0.04	0.29	Tr		"
Average	-	-	0.03	0.36	0.99		
C. Contact with lamprophyre dyke							
Sample No.	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)		Sampling site
W-62	-	-	-	0.18	0.04		Pungjeon adit level
W-63	-	-	0.08	1.59	0.48		"
W-64	ND	86	0.11	10.20	2.68		"
Average	ND	28.67	0.06	3.99	1.20		
D. Within fault shear zone							
Sample No.	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)	Sampling site
W-24	0.70	236	Tr	24.30	26.20	-	Pungjeon adit level
W-29	0.50	98	0.04	12.40	7.11	-	"
W-30	-	-	ND	17.70	7.11	-	"
Sub. Ave.	0.40	111	0.01	18.13	13.47	-	"
W-126	-	-	0.04	4.18	3.95	-	Sang adit level
W-128	0.50	82	0.08	9.07	0.14	-	"
Sub. Ave.	0.25	41	0.06	6.63	2.05	-	"
W-113	-	-	0.04	0.26	Tr	45.90	Nam 1 adit level
W-115	-	-	0.03	0.09	Tr	27.30	"
Sub. Ave.			0.04	0.18	Tr	36.60	"
W-124	-	-	0.03	0.11	Tr	-	Nam 2 adit level
W-53	-	-	0.09	0.09	0.12	41.20	Gu 1 adit level
W-26	-	-	0.08	-	-	47.10	Cheon 2 adit level
W-46	-	-	0.07	0.07	0.02	-	Dongsang adit level
W-97	-	-	0.03	0.14	Tr	39.90	"
W-98	-	-	0.04	0.10	Tr	26.60	"
Sub. Ave.			0.05	0.10	0.01	22.17	

\* ND; not determined, Tr; trace, -; not analyzed.

하는 방해석은 각력화된 자철석의 기질 (matrix)내 또는 자철석을 포획하여 그 가장자리에 분포된다. 이와같은 형태로 배태되는 중석-휘수연석은 그 입자가 미세하며, 중앙부에는 powellite ( $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$ )가 휘수연석에 둘러싸여 산출되기도 한다 (Fig. 3B, C).

석영반암이나 유문암내에 발달하는 휘수연석은 열극이나 단열 (fracture)면을 충진하거나 또는 석영이나 형석맥과 함께 산출되며 미립의 침상으로 발달된다. 각 맥의 외곽부는 사장석의 K-장석화 또는 백운모화, K-장석의 견운모화 등 칼리-부화작용을 받고 있으며 그 내측부

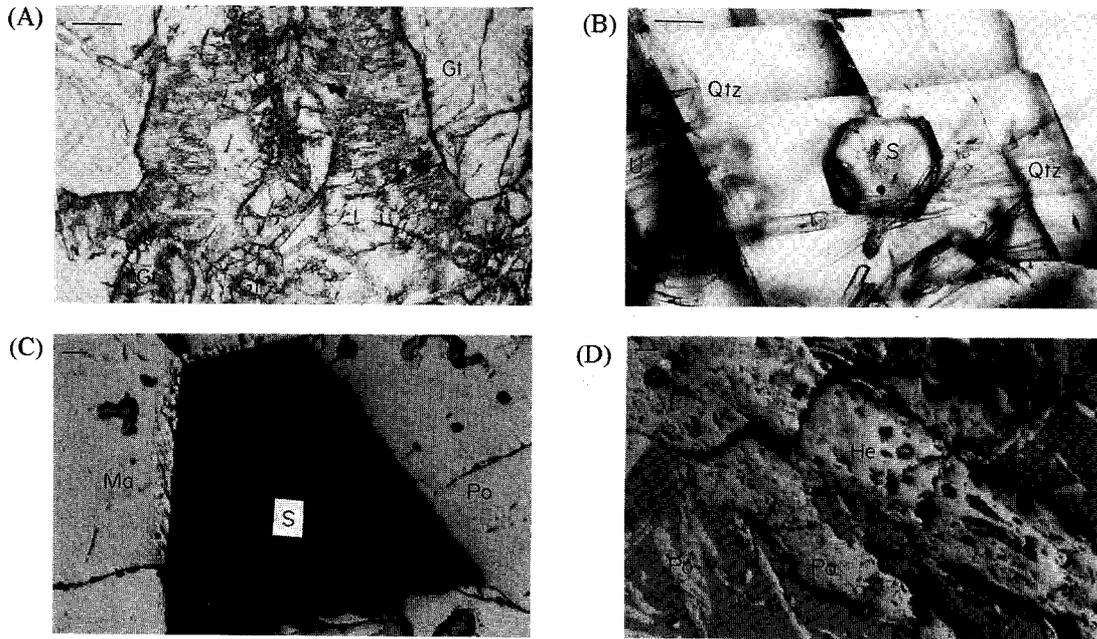


Fig. 3. Microphotographs of thin sections and polished sections. (A) garnet (Gt) showing the zoning texture. (B) Euhedral scheelite (S) in quartz matrix (Qtz). Unknown mineral (U) overgrowing to the scheelite. (C) Euhedral scheelite crystal filling the interstices of pyrrhotite. Marcasite (Ma) replaces the pyrrhotite. (D) Hematite (He) replacing the pyrrhotite (Po). Scale bar: 0.1 mm.

에는 장석류와 운모류가 부분적으로 점토질화 되어있다. 이러한 사실들은 모암인 유문암 및 석영반암이 강한 열수변질 작용을 받아 장석류가 수소 및 칼리온 교대작용을 받았음을 시사한다. 중석광체는 주로 자류철석, 휘석, 석류석과 밀접하게 관계되며, 입자의 크기는 최대 1 cm 이상의 것도 관찰되나 보통 2~3 mm 이다. 중석광물은 주로 회중석으로서 흑중석은 전혀 관찰되지 않으며, 간혹 자형의 회중석이 자류철석 내에서 관찰되고 있다 (Fig. 3C).

#### 스카른화작용

스카른대는 석회암 및 슬레이트 근원 스카른대, 유문암 및 석영반암 근원 스카른대, 그리고 염기성암맥 근원 스카른대로 구분 된다. 본역 중앙부의 N40~50°E 방향의 렌즈상 유문암 및 석영반암체를 중심으로 볼 때, 지질 경계선에서 서북측 200~300 m 범위의 석회암 스카른대에서는 주로 연-아연 광화작용이 우세하고, 반면에 동남측 약 400 m 범위의 유문암 및 석영반암 스카른대와 유문암과 석영반암내에 포획된 석회암 스카른대에서는 자철석 광화작용이 우세한 편이다. 중석-휘수연 광화작용은 모든 스카른대에 골고루 분포하나, 유문암 및 석영반암 근원 스카른대와 기존 철광체내에서 석영, 방해석 및 형석과

공생하며 산출되는 경우가 많다 (Fig. 2).

막골석회암내에 형성된 석회암 근원 스카른대의 경우, 석회질부와 니질부에 발달된 스카른 광물은 상이한 분포를 나타낸다. 즉, 니질부에서는 석류석대가 발달하는 반면, 석회질부에서는 규화되거나 혹은 혼펠스화 되어있다. 석류석은 대부분 암갈색으로 자형을 이루는데 큰 결정은 장경이 4~7 mm 정도이다. 광학적으로 등방성이며, 결정 사이에 불투명 광물이 성장된 것이 관찰되기도 한다 (Fig. 3A). 수반하는 스카른광물로는 녹염석, 녹니석 등이나 세맥의 방해석과 능방간석맥도 발달하고 있다. 스카른 광물로는 석류석, 녹니석, 녹염석, 단사휘석, 휘석, 방해석 및 약간의 각섬석 등이다.

석류석은 녹색, 자색, 적색 또는 암갈색을 보여주며 등방성과 이방성의 두 종류가 다 관찰된다. 이방성의 경우는 특징적인 부채꼴 쌍정 (sector twinning)을 보이며 산출된다. 석류석은 다결정 집합체 (polycrystalline aggregate)로 발달하는 경향이 있으며, 일반적으로 결정면에 평행하게 누대구조를 보여준다. 누대구조가 관찰되는 것으로 보아 석류석의 성장과정중 화학조성의 변화가 있었음을 알 수 있다. 거정질의 자형의 석류석 결정들 사이는 방해석, 석영 및 소량의 형석이 충전되었다. 석류석의 경우 안드라다이트 (andradite) 및 그로술라 (grossular)

영역에 해당되는 조성을 갖는데, 주로 안드라다이트 영역에 해당된다.

휘석은 석류석 및 각섬석 등과 공생하고 있다. 휘석은 파쇄된 틈을 충전하거나 때로는 이들 결정들을 세맥상으로 절단하며, 광석광물 및 방해석과 함께 산출되고 있다. 이 광물은 석회암을 모암으로 한 경우에는 거의 순수한 다이옵사이드로부터 사라이트에 해당되는 넓은 영역의 화학조성을 가지나 광화기 즉, 스카른 후기에는 전부 철과 망간이 풍부한 헤덴버자이트 영역에 해당되는 조성을 갖는 휘석으로 변화하였다.

이밖에 단사휘석, 녹염석, 녹니석, 각섬석, 베수비아나이트 및 금운모 등의 스카른광물이 산출되며 이외에 석영 및 방해석 등의 후기 광물들이 관찰된다. 단사휘석은 석류석과 방해석에 공생 또는 이들을 세맥으로 절단하며 산출된다. 녹염석은 녹니석과 방해석에 공생하며 석류석을 부분적으로 치환하기도 한다. 각섬석은 세립집합체(fine-grained aggregate)의 형태나 섬유상(양기석)의 고용체로 나타나며 석영, 녹니석 및 방해석과 공생관계를 보여준다. 또한 각섬석은 광석광물과 밀접히 관계를 갖고 산출되어 황철석, 황동석 및 자철석 등의 광석광물이 각섬석을 포획한 형태의 산출상태가 자주 관찰된다. 대부분의 회중석은 석류석-녹니석대에 발달한다.

유문암 및 석영반암내에 발달하는 스카른대는 대부분 철광체와 접하는 곳에 발달되는데 크게 두가지 형태로 분포된다. 그 하나는 석회암 근원 스카른대와 접한 유문암 및 석영반암이 스카른화된 녹염석 및 견운모대이고, 다른 하나는 유문암 및 석영반암 자체내에 발달된 구조선을 따라 구조선에서부터 외각으로 석류석, 녹염석 등의 순서로 형성되는 스카른대이다. 본 스카른광물의 특징은 장석류의 녹염석화작용과 석류석화작용이다. 이러한 현상은 비교적 저온성 스카른형성 용액내에 함유된 수소와 칼리 등에 의해 수소 및 칼리교대작용이 일어났고, 그 산물로서 먼저 외각에 녹염석 및 견운모를 형성시킨 후에 장석류의 석류석화작용이 있었음을 지시한다.

자철광체와 수반되는 스카른광물은 석류석, 단사휘석, 단사각섬석, 녹염석 및 방해석이다. 자철석과 수반되는 또 다른 변질광물은 각력화된 자철석내에 산출되는 회청석의 운모류이다. 이러한 산상은 특히 단층대나 압쇄대에 양호하게 발달하고 있어 후기 열수용액의 침입에 의한 것으로 사료된다. 석류석은 담홍색과 연록색의 것으로 구분이 되는데, 담홍색 석류석은 주로 개발향에서, 연록색의 석류석은 남향부근에서 자철석과 함께 산출되고 있다. 자철석과 밀접히 수반되는 단사각섬석은 간혹 단사휘석으로 교대되기도 하였다. 자철석과 스카른광물 및 유화광물

과의 공생관계를 보면 자철석은 여타 스카른광물을 절단 주입하고 있어 후기상의 스카른광물로 생성되었음을 나타낸다. 또 유문암 근원 내성 스카른(endoskarn)은 대부분 녹염석으로 구성되어 있는데, 이는 장석류가 열수변질로 인해 기인된 것이며 방해석은 조립상으로 배태되어 있다. 또한 녹염석의 내성 스카른대에는 석영 입자의 잔존 조직이 관찰된다(Fig. 4A).

광화작용은 막골석회암층에서 활발하게 진행되었는데 광화작용에 영향을 준 원인들을 규명하기 위해 막골석회암층 스카른대를 중심으로 다음 4가지 요인을 고려하였다. 즉 ① 유문암과 접하고 있는 막골석회암 스카른대, ② 석영반암과 접하고 있는 막골석회암 스카른대, ③ 염기성 암맥과 접하고 있는 막골석회암 스카른대, 그리고 ④ 단층 파쇄대에 발달한 막골석회암 스카른대 등이다.

풍전향도와 상향도를 기준으로 Cu, Pb 및 Zn 원소들의 평균품위를 상기 4가지 요인에 따라 살펴보면 다음과 같다(Fig. 2; Tables 3A, B, C, D).

(1) 유문암과 접하고 있는 막동석회암 스카른대

Cu: 0.2%, Pb: 2.02%, Zn: 2.41%

(2) 석영반암과 접하고 있는 막동석회암 스카른대

Cu: 0.03%, Pb: 0.29%, Zn: 0.6%

(3) 염기성 암맥과 접하고 있는 막동석회암 스카른대

Cu: 0.1%, Pb: 5.02%, Zn: 1.12%

(4) 단층 파쇄대에 발달한 막동석회암 스카른대

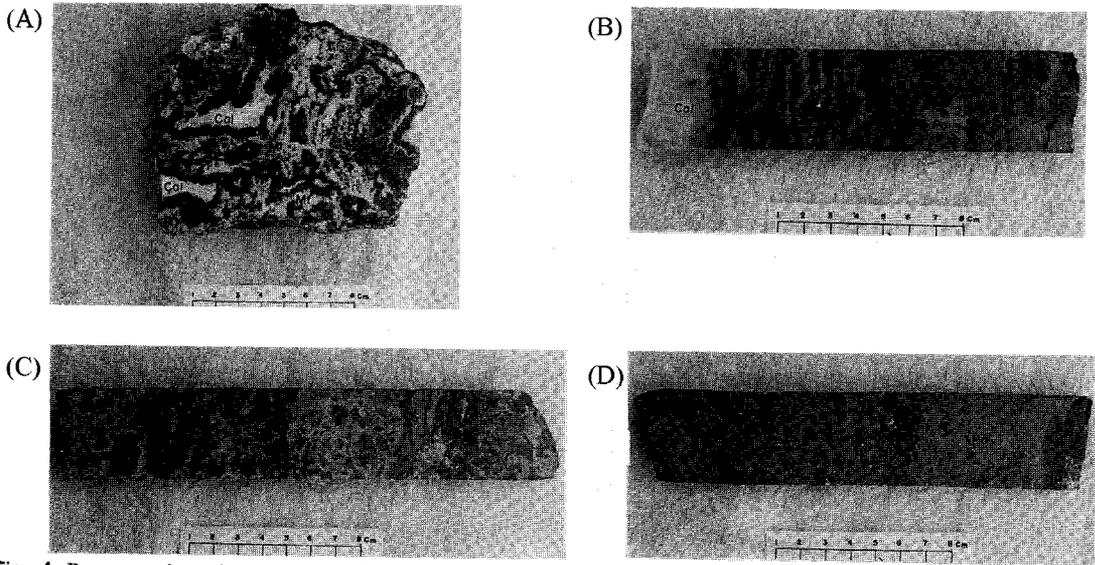
Cu: 0.12%, Pb: 5.44%, Zn: 3.39%

상기 광화작용을 볼 때 막골석회암층에서의 스카른화 작용 및 광화작용에 영향을 준 요인을 작은 것에서부터 큰 것으로 보면 석영반암 → 유문암 → 염기성 암맥 → 단층 파쇄대 순이다. 즉 단층구조가 열수용액의 통로가 되고 스카른작용과 광화작용을 주는데 가장 중요한 요인임이 밝혀진다. 그 다음 염기성 암맥(황반암맥)도 실제로 N30~40°W 방향의 단층구조선을 따라 관입되어 있으므로 염기성 암맥 접촉부의 약선대 역시 구조선 역할을 하여 열수광화용액의 통로가 되었을 것으로 사료된다(Fig. 2, Tables 3A, B, C, D).

단층파쇄대내에 발달한 막골석회암 스카른대중 자철광체를 살펴보면 다음과 같다. Fe 원소의 평균함량을 보면 천2향 47.1%, 구1향 41.2%, 남1향 26.55%, 동상향 22.17%이다. 천2향은 유문암 및 석영반암과 접하고 있는 막동석회암 스카른대이며 N30~40°W 단층선과 염기성 암맥인 황반암맥이 지나가는 곳이다. 구1향, 남1향, 동상향은 유문암과 석영반암내에 포획암으로 나오는 소규모 막골석회암 스카른대이다.

유문암과 석영반암내에 발달하는 단층파쇄대에 포획된





**Fig. 4.** Representative micrographs showing the occurrence of ores. (A) Epidote (Ep), calcite (Cal) skarn replaced by magnetite (Mt) showing ring structure (Dongsang adit). (B) Magnetite (Mt), pyrrhotite (Po) and arsenopyrite (Asp) ore from the DH93-1 drill core (491~491.20 m). (C) Scheelite (S), pyrrhotite (Po), magnetite (Mt), arsenopyrite (Asp) and pyrite (Py) ore from the DH94-1 drill core (724.70~724.94 m). (D) Pyrrhotite (Po), pyrite (Py), magnetite (Mt) and arsenopyrite (Asp) ore from the DH95-1 drill core (839.80~840 m).

막골석회암 스카른대에서 Cu, Pb, Zn 원소를 살펴보면 다음과 같다. 남1항 Cu: 0.05%, Pb: 0.14%, Zn: 0.06%이고, 남2항에서는 Cu: 0.03%, Pb: 0.11%, Zn: tr 이다. 구1항에서는 Cu: 0.09%, Pb: 0.09%, Zn: 0.12%이며, 동상(東上)항에서는 Cu: 0.05%, Pb: 0.1%, Zn: 0.01% 이다.

이러한 사실로 볼때, Cu, Pb, Zn 원소들의 함량은 유문암과 석영반암에 포획된 소규모 막골석회암 스카른대에서는 미약하고, 유문암과 석영반암체와 접하고 있는 막동석회암 스카른대에서는 우세하게 나타나고 있음을 보여 준다. 따라서, 막골석회암과 접하고 있는 유문암과 석영반암의 접촉대가 열수광화용액의 통로역할을 한 것으로 사료된다 (Fig. 2, Table 3A, B). 이러한 현상은 시추코아에서도 확인되며 대부분의 고품위대는 단층과쇄대 내의 스카른에서 확인된다 (Table 4A, B, C).

Zharikov (1970)는 스카른광물조합에 대한 5개 상(相)을 다음과 같이 제시하였다. (1) 규회석-사장석 (750~800°C), (2) 휘석-석류석-규회석 (550~750°C), (3) 휘석-석류석 (규회석 없음) (500~550°C), (4) (휘석) 석류석-녹염석 (400~500°C), (5) 휘석-녹염석 (350~400°C). 이로 미루어 본 역의 스카른대는 석류석-녹염석의 광물조합으로서 기성시기(氣性時期)에서 열수시기(熱水時期)의 전이대 (400~500°C)에 형성 되었음을 보여준다. 즉, 본 역의 스카른대의 발달은 스카른 최후기 변질상을 나타낸다.

### 열수고대 광화작용

#### 동-휘수연석 광화작용

동-휘수연석 광화작용은 연-아연, 자철석 광화작용 이후에 중석-휘수연석 광화작용과 비슷한 시기에 일어난 것으로 사료된다. 시추코아상에서 황동석은 넓게 분포되며 국부적으로 휘수연석이 수반되고 있다. 황동석은 섬아연석내 용리 상태로 산출되거나 또는 독립적인 상태로 산출되고 있다. 동-휘수연석은 석영, 방해석등과 공생되며 산출되기도 한다. 또한 중석-휘수연석 광화작용과 유사하게 자철석내에 배태되기도 하며 또는 자철석을 포함하여 그 가장자리에 분포되기도 한다. 독립적인 상태로 산출되는 황동석은 유문암내에 망상 또는 세맥상으로 산출된다.

#### 다금속광석광물

원동광산 지역중 풍전항, 천2항, 개발항 및 장공시추 DH 93-1호공 (수직시추심도 750 m), DH 94-1 호공 (수직시추심도 1000 m) 그리고 DH 95-1 호공 (수직시추심도 1000 m) 시추코아에서 채취한 스카른 및 광석광물 시료를 박편과 양면연마 박편 및 연마편을 제작하여 광석광물의 분포양상을 관찰하였다.

1) DH 93-1 호공 시추코아 (수직시추심도 750 m) 및 풍전항, 천2항, 개발항

**Table 4.** Analytical results (by INAA and ICP/AES) of core samples from DH93-1, DH94-1 and DH95-1 drill holes in the Wondong mine area.

A. DH93-1 drill hole							
Symbols	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	WO <sub>3</sub>	Sampling site
HSD	33.8	127	188	9.97%	3	27.44	Hwajeol skarns in contact with dyke
HSF	0.22%	83	555	7.04%	2	32.51	Hwajeol skarn in fault shear zone
PSF	10.3	40	111.30	0.88%	4	0.86	Pungchon skarn in fault shear zone
RSF	0	0	73.25	1.81%	0	-	Altered or skarnized rhyolite in fault shear zone
QSF	2	176	94	0.13%	5	-	Altered or skarnized quartz porphyry in fault shear zone
DSF	39.5	170	180	7.09%	3	-	Altered or skarnized dyke in fault shear zone
ORE	0.39%	1.54%	18.28%	40.54%	3.8	8.55	Sulfide and iron ore body
B. DH94-1 drill hole							
Symbols	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	WO <sub>3</sub>	Sampling site
HSF	520	77	210	14.80%	70	20	Hwajeol skarn in fault shear zone
PSR	257.78	145.98	395.20	11.75%	96.4	0.12%	Pungchon skarn in contact with rhyolite
PSF	186.50	27	128	7.08%	68	0.54%	Pungchon skarn in fault shear zone
MOSF	195.75	30.50	73	12.63%	90	0.11%	Myobong skarn in fault shear zone
MOSN	718	44	289	10.34%	70	227	Myobong skarn without associated fault shear zone
RSF	89.92	256	532	3.54%	54	0.39%	Altered or skarnized rhyolite in fault shear zone
ORE	0.22%	22.30	133	36.52%	12	0.32%	Sulfide and iron ore body
C. DH95-1 drill hole							
Symbols	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	WO <sub>3</sub>	Sampling site
DUSF	33	22	24	6.28%	229	14.90	Dumugol skarn in fault shear zone
PSR	0.11%	296	1.64%	15.83%	164	428	Pungchon skarn in contact with rhyolite
MOSR	846	34	611	12.35%	539	318	Myobong skarn in contact with rhyolite
RSF	0.79%	27	579	4.25%	0.16%	68	Altered or skarnized rhyolite in fault shear zone

\* Note: The unit of concentration is ppm, if not described.

관찰되는 광물들을 생성순서대로 나열해 보면 유비철석, 자철석, 황철석, 자류철석, 섬아연석, 방연석, 황동석 및 아젠타이트 등의 순이다. 이중 유비철석은 석류석 결정내 또는 방해석내에서 자형 및 반자형의 미립 결정으로 관찰된다.

자철석 및 황철석은 판상 내지 침상의 각섬석 결정들을 포획하는 형태로 산출된다. 섬아연석은 황철석 및 자류철석과 공생하며 산출되며, 방연석과 황동석은 이상의 광물들을 치환하며 발달한다. 또한 최후기의 은광물인 아젠타이트는 주로 황동석을 치환하는 형태로 혹은 독립된 입자로 산출된다 (Fig. 4B).

## 2) DH 94-1 호공 시추코아 (수직시추심도 1000 m)

관찰되는 광물들을 생성순서대로 나열해보면 유비철석, 회중석, 자철석, 황철석, 자류철석, 섬아연석, 방연석 및 황동석 등의 순이다.

회중석은 일반적으로 무색이며 자형 또는 반자형 결정으로 산출된다. 광물형광탐지기 (ultraviolet radiation)

하에서 담청색의 형광을 나타내어 거의 순수한 CaWO<sub>4</sub> 광물임을 알 수 있다. powellite (CaMoO<sub>4</sub>) 성분 치환은 산화환경에서 형성되는 것으로 미루어, 본 지역내의 회중석은 상대적으로 환원환경에서 또는 낮은 함량의 Mo성분을 갖는 유체로부터 형성되었음을 시사한다. 회중석은 석회암 근원의 스카르내에 넓게 분포하며 또한 석영반암의 열극을 충전한 석영맥 내에 분포한다. 일반적으로 회중석은 단사정계의 자류철석, 갈색의 석류석 및 석영과 밀접한 관계를 보여준다. 석영내 포유물 형태의 자형 회중석도 관찰된다 (Figs. 3C, 4C).

황화광물의 광화작용중 가장 풍부하게 정출한 황화광물은 자류철석으로서 이는 육방정계와 단사정계로 구분된다. 육방정계의 자류철석은 시추코아의 상부에서 관찰되며 단사정계의 자류철석은 스카르내에서 회중석, 석류석 및 석영과 밀접히 관련되어 산출된다. 이 자류철석은 후기에 백철석 (marcasite) 또는 적철석화 되었다.

섬아연석과 방연석은 시추코아상에서 폭 약 1.5 m 정도

Mineral	Skarn stage	Hydrothermal stage
Garnet	-----	
Clinopyroxene	-----	
Epidote	-----	
Chlorite	-----	
Quartz	-----	-----
Calcite	-----	---
Amphibole	-----	
Fluorite	-----	---
Scheelite	-----	
Pyrrhotite	-----	
Pyrite	-----	
Magnetite	-----	
Sphalerite	-----	-----
Galena	-----	
Chalcopyrite	-----	
Arsenopyrite	-----	---
Marcasite	-----	---
Hematite	-----	---

Fig. 5. Mineral paragenesis of the Wondong ore deposits area.

의 피상으로 산출된다.

유비철석은 자류철석을 치환하며 산출되고, 황동석도 함께 자류철석내에 포유물 형태로 산출되기도 한다. 유비철석이 산출되는 시료에서는 방해석이 다량 관찰되며 회중석은 산출되지 않는다. 이들 외에도 소량의 자철석이 관찰된다.

3) DH 95-1 호공 시추코아 (수직시추심도 1000 m)

관찰되는 광물들은 DH 94-1호공 시추코아와 비슷하다. 섬아연석과 방연석의 양은 DH 94-1호공에서 착맥된 폭 1.5m에 비하면 소량이다.

황동석은 시추코아상에 넓게 분포하는데, 섬아연석내에 용리 상태로 산출되거나 또는 독립적인 형태로 산출되고 있다. 독립적인 형태로 산출되는 황동석은 유문암내에 망상 또는 세맥상으로 산출된다.

유비철석은 자류철석을 치환하며 산출되고, 황동석과 함께 자류철석내에서 포유물 형태를 보여주기도 한다. 유비철석이 산출되는 시료에서는 방해석이 다량 관찰되며 회중석은 산출되지 않는다 (Fig. 4D).

자철석은 시추코아상에서 폭이 약 80 cm 정도의 피상으로 산출되는데 방해석과 밀접한 연관성을 갖는다.

각 향도 및 시추코아 등에서 관찰되는 광석광물의 공생

관계는 Fig. 5와 같다.

### 유체포유물

연구 대상 광물에서 관찰된 유체포유물은 Type I, Type II, Type III의 세가지 유형이다. Type I 포유물은 액상과 기상의 2상으로 구성된 것으로서 가열 실험시 액상으로 균일화된다. 액상의 충전도는 60~80% 정도이다. Type II 역시 액상과 기상의 2상 포유물이나 가열실험시 기상으로 균일화된다. 액상의 충전도는 0~40% 정도이다. Type III 포유물은 액상, 기상 및 고상으로 구성되는 것으로서 고상은 현미경 관찰에 의하여 halite로 판명되었다. 유체의 염농도는 Type I의 경우 Potter *et al.* (1978)의 freezing point depression에 의한 실험식을, Type III는 halite 용해온도를 이용한 Potter *et al.* (1977)의 실험식을 이용하여 계산하였다.

### 풍전향도에서 채취된 석영과 방해석

풍전향도에서 채취된 열수작용기의 석영과 스카른기의 방해석을 대상으로 유체포유물 실험 연구를 수행하였다.

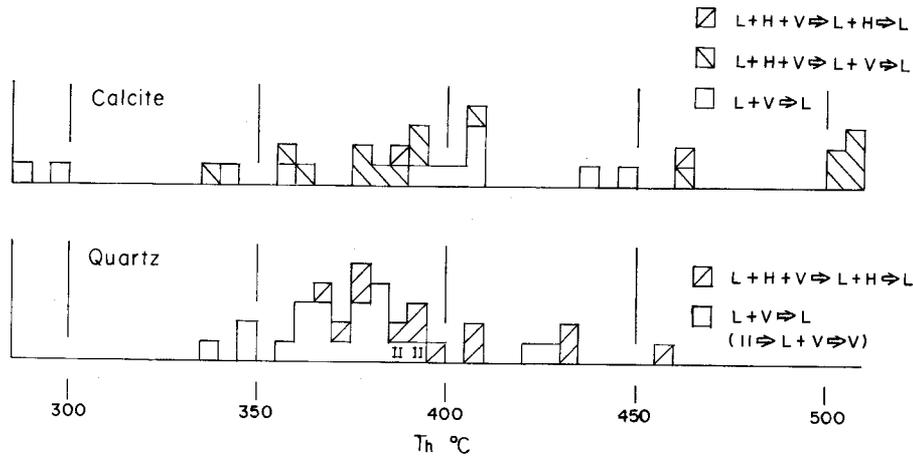


Fig. 6. Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz and calcite minerals from the Wondong mine area.

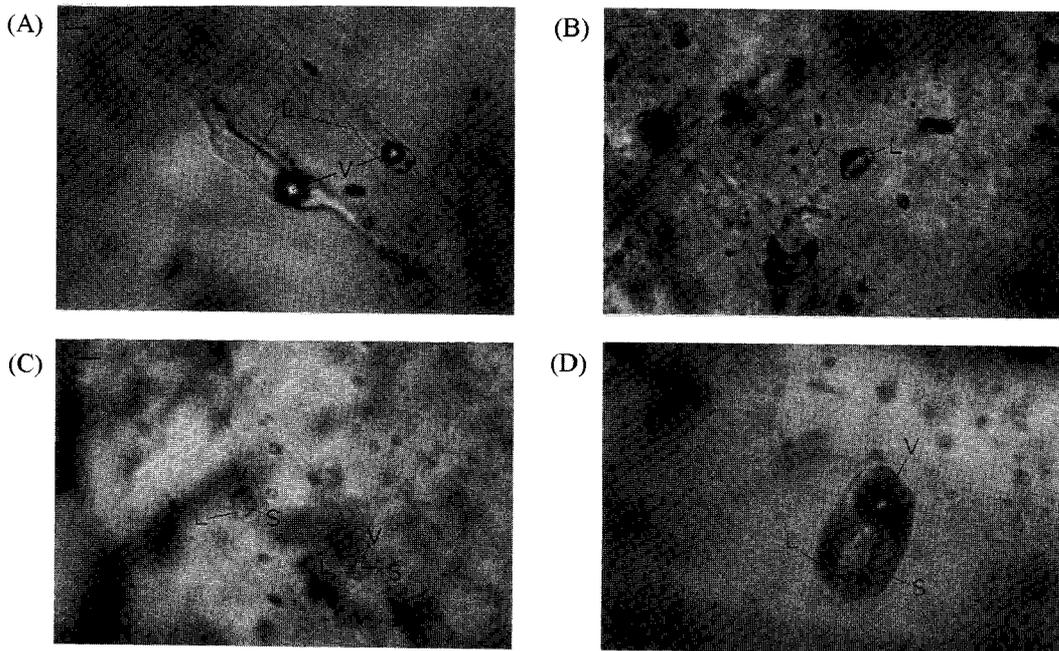


Fig. 7. Microphotographs of different types of fluid inclusions. (A) Liquid-rich inclusion (Type I). (B) Gas-rich inclusion (Type II). (C) and (D) Halite-bearing inclusion (Type III). L; Liquid phase, V; Vapor phase, S; Halite. Scale bar; 0.1 mm.

고염농도의 Type III 포유물은 기상의 소멸 (소멸온도: 271°~330°C) 이후 더 높은 온도에서 "halite homogenization" (Wilson *et al.*, 1980)으로 설명되는 halite의 용해 (용해온도: 369°~458°C)에 의하여 최종 균일화 된다. 반면, 방해석내 Type III 포유물은 halite의 용해 (214°~418°C)가 일어난 후, 기상의 소멸 (336~508°C)에 의해

균일화된다. 또한 방해석내에는 halite의 용해로 균일화되는 포유물이 관찰된다. 반면, 저염농도의 유체포유물인 Type I 및 II는 대개 280~450°C의 온도 범위에서 균일화된다 (석영: 338~426°C, 방해석: 289~447°C). 측정된 두 광물에 대한 평균 균일화 온도는 약 350~410°C에 해당된다 (Fig. 6).

냉각실험에서 석영내 7개의 포유물은 5.1~9.1 eqiv. wt.% NaCl, 방해석내 4개의 포유물은 8.5~12.9 eqiv. wt.% NaCl의 염농도에 해당된다. 가열 실험시 halite의 용해 온도로 부터 측정된 총 유체염농도는 석영의 경우 43.3~51.9 eqiv. wt.% NaCl, 방해석은 32.3~52.2 eqiv. wt.% NaCl에 해당된다.

Type III와 같은 고염농도의 유체의 성인은 크게 5가지 (John, 1989)로 대별되는데, 본 연구에서는 그 중 마그마기원 유체의 비등 현상에 의한 해석이 타당할 것 같다. 그 증거로서 가열 및 냉각실험시 vapor-rich Type II 포유물들이 Type I 및 Type III와 함께 공존하며 산출되고 균일화 온도 역시 비슷한 온도범위를 나타내는 것으로 보아 광화작용시 비등현상이 존재하였음을 지시하여 주기 때문이다 (Fig. 7A, B, C, D).

#### DH 94-1호공 시추코아에서 채취된 회중석, 방해석 및 석영

스카른기의 회중석과 방해석 및 열수기의 석영을 대상으로 수행하였다. 유체포유물의 크기는 대개 >6~30  $\mu\text{m}$  정도였다 (Fig. 7A, B). 스카른기 회중석에서 관찰되는 초기 포유물은 307~432°C의 온도 범위에서 균일화되며, 이들에 대한 냉각실험 결과는 염농도 0.9~5.1 eqiv. wt.% NaCl를 나타낸다. 스카른기 방해석내의 유체포유물은 234~352°C 사이에서 액상으로 균일화되고 염농도 2.2~5.7 eqiv. wt.% NaCl를 나타낸다. 열수기 석영맥내에는 Type I과 II, 두 종류의 유체포유물만이 관찰된다. Type I의 균일화 온도는 298°C, 322°C 및 324°C였으며, 염농도는 0.2~3.6 eqiv. wt.% NaCl로 측정되었다. Type II 포유물은 312~314°C 사이에서 기상으로 균일화 되었고 염농도는 1 eqiv. wt.% NaCl 이었다 (Fig. 7A, B).

종합적으로 볼 때, 스카른 시기의 광물에는 Type I, Type II 및 Type III의 유체포유물이 함께 공존하며 산출되고 균일화온도 역시 비슷한 온도 범위를 나타낸다. 이는 광화작용시 비등(沸騰) 현상이 존재 했음을 지시하여 주며, 광화가 진행됨에 따라 광화유체의 온도 및 염농도가 감소함은 광화유체가 주로 마그마기원 유체와 후기에 유입된 순환수와와의 혼합에 의해 진전되었음을 지시한다. 따라서, 원동광산 Pb-Zn, Fe, W-Mo 광상의 광화유체는 주로 고온-고염농도의 마그마기원 유체와 후기에 유입된 저온-저염농도의 순환수의 혼합으로부터 이루어졌을 것으로 추정된다.

## 결 론

원동 다금속광상은 연-아연광체, 자철석광체, 중석-취

수연광체 그리고 동-취수연광체로 구분된다. 연-아연, 철 및 중석-취수연광체는 단층파쇄대를 따라 분포하는 스카른 광화작용에 속하고, 동-취수연광상은 열수고대 광화작용에 속한다. 스카른광물로는 주로 석류석과 녹염석으로 구성되는데 이는 기성(氣成)시대와 열수(熱水)시대 사이의 전이대에 해당하는 후기변성상의 스카른대임을 보여준다.

원동 다금속광상의 생성시기는 자철석 중에 배태되고 있는 금운모 (phlogopite)의 K-Ar 연대 (51.97 Ma; Park *et al.*, 1988)로부터 고제삼기 (古第三紀)에 해당되며, 이는 태백산지역의 유문암 및 석영반암의 K-Ar 연대 (56~67 Ma; Kang *et al.*, 1995)와 차이를 보여준다. 이는 관입암체인 유문암과 석영반암이 광화작용과 직접 관계가 있는 광화관련 화성암체가 아님을 보여주는 증거이다. 특히, 이들 관입암체와 접하고 있는 석회암 접촉대에서는 광화작용이 미약하다. 따라서, 이들 관입암체와 석회암접촉대는 오직 열수용액의 통과역할을 하였음을 알 수 있다. 결국, 관입암체인 유문암과 석영반암은 불모성 관입암체 (barren intrusive rocks)로서 원동 다금속광상의 형성과 직접적인 관계가 없었음을 알 수 있다.

스카른 시기의 광물에는 Type I, Type II 및 Type III의 유체포유물이 함께 공존하며 산출되고, 균일화온도 역시 0~0°C로 비슷한 온도범위를 나타낸다. 이는 광화작용시 비등(沸騰) 현상이 존재했음을 지시하여 주며, 광화가 진행됨에 따라 광화유체의 온도 및 염농도가 감소함은 광화유체가 주로 마그마기원 유체와 후기에 유입된 순환수와와의 혼합에 의해 진전되었음을 지시한다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 후원 전략광물자원연구센터의 부분지원으로 수행되었으며, 광상 및 유체포유물 연구에 많은 도움을 준 한국자원연구소의 오민수 박사과 이재호 박사에게 감사를 표하고자 한다.

## 참고문헌

- 김수영, 김선익, 임무택, 조동행, 구성분, 최중호 (1983) 태백산지역 원동광화대 Pb-Zn-Fe-Mo 광화작용에 대한 지질광상조사 연구. 한국동력자원연구소, 82-광물자원-2-12, 금속광상조사연구, p. 213-233.
- 김유동, 오민수, 박노영, 김중구, 황덕환, 김문수, 박성원, 김상엽, 홍영국, 이상규, 임무택 (1992) 태백산 다중금속광상 탐사연구 (I). 한국자원연구소, KR-92-1C-1 연구보고서, p. 19-37.
- 김정환, 김영석 (1991) 삼척탄전 태백-하장지역의 지질구조. 광산지질, 24권, 1호, p. 35-41.

- 박노영, 서정률 (1976) '76 태백산광화대 원동지역 조사보고서. 자원개발연구소, 미발간.
- 박용안, 최용석 (1989) 강원도 태백-상동지역에 분포하는 동점층 (오도비스기)의 퇴적환경 연구. 지질학회지, 25권, 506p.
- 서정률, 오민수, 박중권, 황덕환, 이재호, 이상규, 최종호, 황세호, 박인화 (1996) 금속광물자원탐사연구. 한국자원연구소, KR-96(C)-9, 연구보고서 (KIGAM Research Report) p. 49-172.
- 손치무, 정창희 (1965). 태백산지구의 퇴적환경과 지질구조. 서울대학교 논문집 (이공계) 15권, p. 1-31.
- 오민수, 김유동, 황덕환, 이재호, 성기성 (1994) 태백산지역 다중금속광상 탐사연구 (III). 한국자원연구소, KR-94(C) 1-6 연구보고서, p. 40-89.
- 오민수, 이재호, 황덕환, 성기성 (1995) 태백산지역 다중금속광상 탐사연구 (IV)-원동광산의 시추 탐사를 중심으로-. 한국자원연구소, KR-95(C)-9 연구보고서, p. 40-70.
- 이하영, 이종덕 (1971) 강원도 삼척군 동점부근에 분포된 대석회암통의 Conodont 화석군과 그의 층서적 의의. 지질학회지, 7권, p. 89-101.
- 최용석 (1990) 강원도 태백-상동에 분포하는 동점층(오도비스기)의 퇴적환경연구. 서울대학교 대학원, 이학석사학위논문, 147p.
- 태백산지구 지하자원조사단 (1962) 호명, 하림계도폭 (1:50,000) 지질도. 대한지질학회, 국립지질조사소, 107p.
- Cheong, C.H. (1969) Stratigraphy and Paleontology of the Samcheog Coalfield, Gangweondo, Korea (I). Jour. Geol. Soc. Korea, v. 5, p. 13-56.
- John, D.A. (1989) Geologic Setting, Depths of Emplacement, and Regional Distribution of Fluid Inclusions of the Central Wasatch Mountains, Utah. Econ. Geol. v. 84, p. 386-409.
- Kang, P.C., Shin, S.C. and Jin, M.S. (1995) Isotope Age Map of Volcanic Rocks in Korea (1/1,000,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials.
- Kim, K.H., N. Nakai and H.J. Lee. (1998) Stable isotope studies of the Sangdong tungsten ore deposits, South Korea. Mining Geol. 38(6), p. 473-487.
- Kweon, S.Y. (1970) Sedimentary Petrology of the Dongjeom Sandstone (Ordovician), Kangweondo, Korea (unpubl.). M.S.Thesis, Seoul National Univ., 31p.
- Park, H.I., Chang, H.W. and Jin, M.S. (1988) K-Ar Ages of Mineral Deposits in the Taebaeg Mountain District. Jour. Korean Inst. Mining Geol. v. 21, (No. 1), p. 57-67.
- Potter, R.W. II. (1977) Pressure corrections for fluid-inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H<sub>2</sub>O. Jour. Research U.S. Geol. Survey, v. 5, No. 5, Sep-Oct. p. 603-607.
- Potter, R.W. II., Clynne, M.A., and Brown, D.L. (1978) Freezing point depression of aqueous sodium chloride Solutions. Econ. Geol., V. 73, p. 284-285.
- Wilson, J.W.J., Kesler, S.E., Cloke, P.L., and Kelly, W.C. (1980) Fluid inclusion geochemistry of the Granisle and Bell porphyry copper deposits, Brieish Colombia. Econ. Geol. v. 75, p. 45-61.
- Zharikov, V.A. (1970) Skarns. Internat. Geology Rev., v. 12, p. 541-559, 619-643 and 760-775.

1998년 5월 29일 원고접수, 1998년 8월 27일 게재승인.

