

동원광산의 금-은 광화작용

朴喜寅*·朴泳祿*

Gold and Silver Mineralization in the Dongweon Mine

Hee-In Park * and Young-Rok Park*

Abstract: Ore deposits of Dongwon mine are composed of numerous gold and silver veins emplaced in sedimentary rocks of Cambrian Choseon Supergroup and granitoids of Cretaceous age. Ore veins of the mine can be divided into gold and silver veins on the base of vein structure, mineral assemblage and vein trends. Mutual relationships between gold and silver veins are uncertain. Gold veins are simple veins which are composed of base-metal sulfides, and electrum with quartz and ankerite. On the other hand, silver veins are complex veins which reveal three distinct stages of mineral deposition based on vein structure; stage I, deposition of small amounts of oxides and pyrite with quartz; stage II, deposition of base-metal sulfides, small amounts of Ag-bearing minerals, calcite and quartz; stage III, deposition of base metal sulfides, electrum, Ag-sulfosalts, native silver, carbonates and quartz. Homogenization temperature and salinity of fluid inclusion from quartz of gold vein are as follows; 229° to 283°C, 4.7 to 6.4 wt.% equivalent NaCl. The ore mineralogy suggests that temperature(T) and sulfur fugacity(fs₂) of the formation of the gold vein and stage III of silver vein are estimated as T; 294° to 318°C, fs₂ 10^{-9.4} to 10^{-10.1} atm. and T; 240° to 279°C, fs₂; 10^{-11.1} to 10^{-17.3} atm. respectively. Pressure condition during gold vein formation estimated from data of ore mineralogy and fluid inclusion range 500 to 750 bar.

序 言

東原鑛山은 江原道 旌善郡 東面 沒雲里와 華標里에 있는 것으로 주식회사 東原鑛業이 1983년에 舊 江原鑛山, 華標鑛山, 泉浦鑛山을 買入, 통합한 것이다. 이 광산은 1916년에 개발되기 시작한 이래 해방전에는 활발하게 개발되었다. 그후 1983년에 통합된 이래로 재개발이 시작되어 1986년 4월에 일 40 톤 처리규모의 선광장을 설치하고 舊 江原鑛山과 華標鑛山의 일부를 개발중에 있다.

東原鑛山の 金銀鑛床은 旌善郡 東面 晝岩里 주변에 密集分布하는 금은광상중의 일부로서 旌善 金銀鑛床區(金玉準, 1970, Kim, W, J; 1986) 내의 금은광상의 특징을 밝히는 데 있어 중요한 위치를 차지하는 鑛床이다.

이 연구는 東原鑛山內의 각 광상 중 가행중에 있는 舊 江原鑛山과 舊 華標鑛山의 광맥을 대상으로 하여 광산 주변의 지질, 광상의 산출상태, 광석의 광물조성과 화학조성,

鑛物共生關係, 流體包有物 등을 검토하여 이 지역의 金銀鑛化作用의 특징을 고찰하여 본 것이다.

이 鑛山周邊의 지질에 대해서는 虎鳴地質圖幅(太白山地區地下資源調查團, 1962), 大韓鑛業振興公社(1983), 金相燁 등(1986)의 調查報告가 있으며 광상에 대해서는 大貫(1939), Gallagher(1963), 李英勳 등(1983), 大韓鑛業振興公社(1983, 1986-a, b)와 金相燁 등(1986)의 보고가 있으나 광상학적인 상세한 연구는 이루어지지 않았다.

이 연구는 1988년도 科學財團研究費로 이루어진 것이다.

一般地質

이 지역의 지질은 朝鮮累層群에 속하는 지층과 후기에 이들을 관입한 花崗岩類와 脈岩類로 되어있다(Fig. 1).

이 지역에 분포하는 조선누층군은 선캄브리아 시대의 變成堆積岩類를 不整合으로 덮고있는 壯山珪岩을 기저로 하여 描峯슬레이트, 豊村石灰岩, 花折層, 銅店珪岩, 斗務洞層 및 莫洞石灰岩 등으로 되어있다. 이들 층의 일반적인 주

* 서울대학교 지질과학과 (Department of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742 Korea)

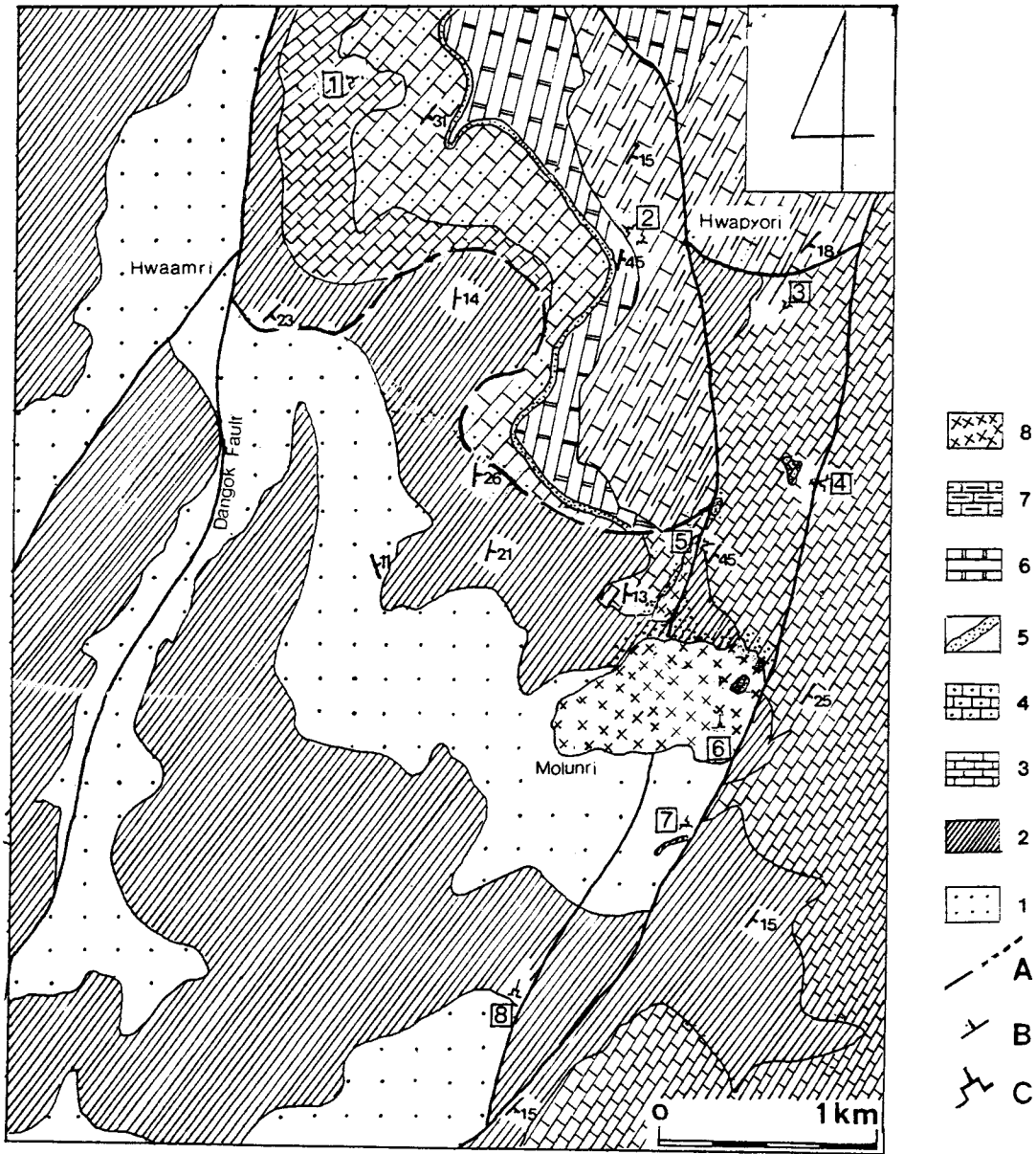


Fig. 1. Geologic map of the Dongweon gold-silver mine area.
 1 ; Jangsan Quartzite, 2 ; Myobong Slate, 3 ; Pungchon Limestone, 4 ; Hwajeol Formation, 5 ; Dong-
 jeom Quartzite, 6 ; Dumudong Formation, 7 ; Maggol Formation, 8 ; Molun Granitoids.
 Dotted areas in 2 and 3 represent hornfelsified and/or skarnized zone.
 A ; Fault, B ; Bedding, C ; Adit, 1 ; Cheonpo, 2 ; Hwapyo, 3 ; Kwanggok, 4 ; Janggok, 5 ; Dodong, 6
 ; Kasan, 7 ; Namchang, 8 ; Jedong.

향과 경사는 N10°W-N30°E, 10°-35°E이다. 묘봉슬레이트와 풍촌석회암을 구성하는 암석은 화강암류와 접촉부 부근에서 호온펠스화 또는 스카르화 되어있다.

화강암류는 東原鑛山 가산坑 부근인 沒雲里 한치 부락 일대에 독립암체로서 분포하며, 石英閃綠岩, 石英閃綠岩, 石英閃綠岩, 石英閃綠岩, 花崗閃綠岩 및 斑狀花崗岩등으로 되어 있다. 이 화강암체를 沒雲花崗岩體라 부르기로 한다.

화강섬록암 중의 黑雲母의 K-Ar 절대연령은 85.8±1.12Ma로서 白堊紀末에 생성된 것임을 알 수 있다. 이 지역에 분포하고 있는 화강암체는 NNE 주향의 단층에 의해 절단되기도 하고 또 NNE 方向의 단층이 화강암체내로 연장되지 않는 것으로 보아 화강암류의 관입은 NNE 方向의 단층 운동기간에 있었던 것으로 보인다. 암맥으로는 鹽基性岩脈, 中性岩脈과 酸性岩脈 및 中性岩脈과 酸性岩脈으로 된 重複岩脈등이 있고 조선누층군과 화강암류를 관입하고 있다. 이들 맥암류들도 NNE 방향의 주향을 갖고 있다.

이 지역에는 NNE 방향의 주향을 갖는 단층 3개와 E-W 방향의 주향을 갖는 단층이 발달한다. NNE 방향의 주향을 갖는 3개의 단층 중 서측에 있는 것은 단곡단층이라 한다 (金相燁 등, 1986).

花崗岩類

産出狀態와 모오드組成

産出狀態: 沒雲花崗岩體를 구성하는 화강암류의 분포상태와 시료를 채취한 위치를 자세하게 나타내면 Fig.2와 같다.

이 화강암류의 산출상태를 보면 석영몬조섬록암, 화강섬록암, 반상화강암 내에 대소의 석영섬록암편이 포획되어 있고, 화강섬록암과 반상화강암내에 석영섬록암과 석영몬조섬록암편이 포획되어 있다. 화강섬록암과 반상화강암의 관계는 확인되지 않았으나 위의 산출상태로 보아 이 암체는 석영섬록암, 석영몬조섬록암, 화강섬록암-반상화강암의 순으로 관입한 複合貫入體임을 알 수 있다(Fig.3).

Fig.2에서 보여지는 바와같이 이 沒雲花崗岩體는 연변부에 석영섬록암과 석영몬조섬록암이 분포하고 화강섬록암과 반상화강암은 암체 중심부에 분포함을 알 수 있다. 또한 이 암체의 중앙부를 이루고 있는 화강섬록암과 반상화강암중 화강섬록암은 반상화강암의 가장자리에 국부적으로 산출하

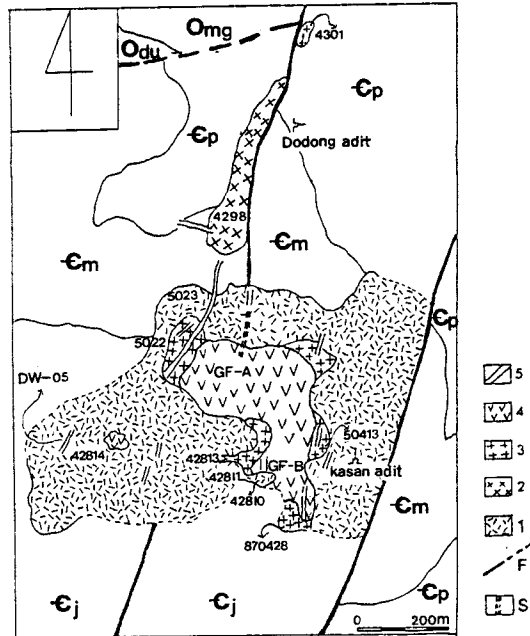


Fig. 2. Map showing distribution of Molun granitoids and sampling sites.

1 ; Quartzdiorite-Quartz monzodiorite, 2 ; Quartz monzonite porphyry, 3 ; Granodiorite, 4 ; Porphyritic Granite, 5 ; Dikes. F ; Fault, S ; Shear zone, Ej ; Jangsan Quartzite, Cm ; Myobong Slate, Cp ; Pungchon Limestone, Odu ; Dumudong Formation, Omg ; Maggol Limestone.

는 양상을 보여준다. 석영섬록암과 석영몬조섬록암은 서로 복잡하게 혼재하고 있어 Fig.2에서는 이를 구분하지 않고 하나로 표시하였다.

모오드組成: 沒雲花崗岩體를 이루고 있는 화강암류들의 모오드 조성은 Table 1과 같고, 이 모오드 조성을 Streck-eisen(1967)의 Q-A-P 도에 표시하면 Fig.4와 같다. 석영섬록암과 반상화강암내에 포함된 불투명광물은 대부분이 黃鐵石과 磁鐵石이다.

岩石化學

主成分元素: 沒雲花崗岩體를 구성하는 화강암류 중에서

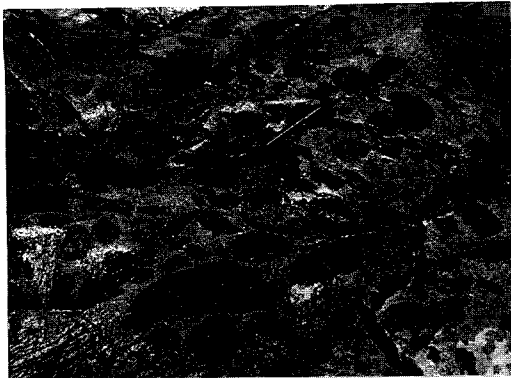


Fig. 3. Photographs showing sequence of intrusion in Molun granitoids in the Dongweon gold-silver mine area. Granodiorite includes abundant xenoliths of quartzdiorite and quartz monzodiorite.

대표적인 시료 7개의 화학조성과 CIPW 노름치는 Table 2와 같다. 이 중 시료번호 DW-05는 珉長岩이다. 이들 화강암류를 Irvine and Baragar(1971)의 분류법에 따라서 나타낸 것이 Fig.5와 Fig.6이다. Fig.5는 SiO₂ 성분에 대한 Na₂O + K₂O의 성분비를 도시한 것으로 이들 암석들이 Subalka-

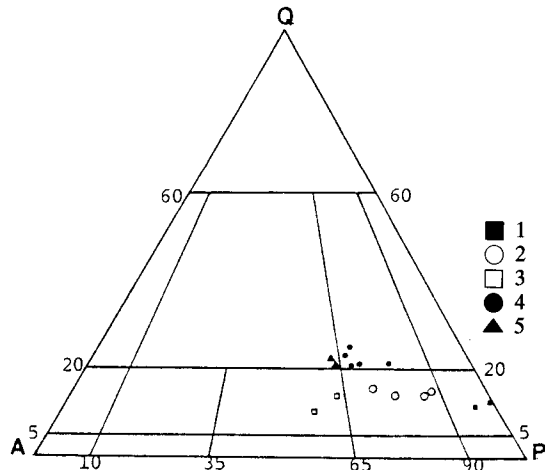


Fig. 4. Modal composition of Molun granitoids plotted on Streckeisen's Q-A-P diagram(1976). 1; Quartzdiorite, 2; Quartz monzodiorite, 3; Quartz monzonite porphyry, 4; Granodiorite, 5; Porphyritic granite.

line에 속함을 알 수 있고, Fig.6은 Al₂O₃ 성분에 대한 노름 사상석의 비를 나타낸 것으로 이들 암석이 칼크알카리암

Table 1. Modal composition of Molun granitoids, Dongweon gold-silver mine area.

Rock Name	Quartzdiorite		Quartz monzodiorite				Quartz monzonite Propyry	
Sample No.	42814	42813	42811	42810	5022	5023	4298-A	4298-B
Quartz	9.65	10.34	13.55	10.52	10.46	9.63	7.65	10.11
Plagioclase	55.47	64.16	60.59	50.32	48.34	42.74	40.54	42.22
K-feldspar	0.28	3.20	9.68	9.05	14.33	16.43	26.75	19.81
Biotite	13.73	15.69	9.82	4.76	14.08	9.10	9.38	10.45
Hornblende	16.23	3.53	0.73	17.76	10.33	19.50	12.83	13.68
Pyroxene	3.71	1.97	3.82	5.37	0.37	0.34	0.59	1.99
Sphene	-	-	0.09	0.87	-	-	-	-
Apatite	-	-	-	tr.	-	-	-	-
Opaque minerals	0.93	1.12	1.73	1.08	2.09	2.26	2.12	2.74
Rock Name	Grandiorite					Porphyritic Granite		
Sample No.	50413	870428-A	870428-B	4301-A	4301-B	GF-A	GF-B	
Quartz	16.74	19.01	19.78	18.42	21.30	18.04	19.86	
Plagioclase	44.93	46.64	48.85	40.92	43.36	37.22	44.50	
K-feldspar	13.31	20.29	22.65	24.82	20.03	21.58	25.68	
Biotite	8.41	4.59	3.33	7.36	8.84	16.23	4.77	
Hornblende	15.95	6.63	4.07	7.28	6.03	3.63	4.12	
Pyroxene	tr.	0.06	0.23	-	-	-	-	
Sphene	0.11	-	-	0.46	0.23	-	0.46	
Apatite	-	tr.	tr.	-	-	0.22	0.14	
Opaque minerals	0.54	2.65	1.09	0.73	0.23	2.97	0.46	

Table 2. Chemical composition and norm of Molun granitoids, Dongweon gold-silver mine area.

	5022	4298	42813	GF	870428	4301	DW-05
SiO ₂	61.09	61.22	62.03	67.93	68.53	68.91	75.22
TiO ₂	0.81	0.83	0.68	0.53	0.42	0.46	0.12
Al ₂ O ₃	15.79	15.45	17.35	14.96	15.75	15.10	13.67
Fe ₂ O ₃	1.96	1.92	1.81	1.13	0.96	1.05	0.46
FeO	3.54	3.46	3.26	2.04	1.74	1.89	0.84
MnO	0.09	0.09	0.09	0.05	0.05	0.05	0.08
MgO	4.07	3.93	2.71	2.13	1.61	1.69	0.19
CaO	5.33	5.38	5.22	3.45	2.96	2.50	1.26
Na ₂ O	3.45	3.38	3.60	3.58	4.18	3.27	2.34
K ₂ O	3.49	3.94	2.92	3.93	3.59	4.85	5.74
H ₂ O(+)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.34	0.35	0.27	0.21	0.15	0.17	0.03
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Q	10.89	10.38	14.14	21.67	21.29	23.01	36.20
Or	20.65	23.29	17.28	23.28	21.27	28.66	33.96
Ab	29.22	28.60	30.47	30.30	35.41	27.73	19.81
An	17.26	15.35	22.54	13.12	13.56	11.26	6.04
Lc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	1.39
Wo	0.01	3.79	0.65	1.08	0.06	0.00	0.00
Di	5.60	7.29	1.27	2.09	0.11	0.00	0.00
Hy	11.17	9.88	9.70	6.36	5.76	6.15	1.58
Ol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mt	2.85	2.79	2.63	1.64	1.40	1.52	0.68
Hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Il	1.54	1.57	1.29	1.01	0.80	0.88	0.23
Ap	0.78	0.81	0.64	0.49	0.34	0.41	0.07
En	10.14	9.81	6.76	5.32	4.01	4.22	0.47
Fs	3.71	3.57	3.55	2.04	1.80	1.93	1.11
Fo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C.I.	21.96	22.35	15.55	11.61	8.44	8.98	2.58
D.I.	60.77	62.28	61.90	75.26	77.98	79.75	91.37
Rock Name	Qmd	Qmp	Qd	Gr	Gd	Gd	Fel

Abbreviation : DI : Differentiation index, CI : Color index.

Qmd : Quartz monzodiorite, Qmp : Quartz monzonite porphyry, Gd : Quartzdiorite, Gr : Porphyritic granite, Fel : Felsite.

계열에 속함을 알 수 있다. 한편 이들 암석의 全岩化學組成을 ACF도에 도시하고 이에 Hine등(1978)의 I형과 S형 화강암류의 경계선을 표시하여 보면 모두 I형 화강암 영역에 분포함을 알 수 있다(Fig.7).

Fig.8은 TiO₂-FeO-Fe₂O₃(mole%) 삼각도포상에 이 암석들의 화학분석치를 나타낸 것이다. 이 그림은 沒雲花崗岩體가 모두 Ishihara(1974)의 磁鐵石系列에 해당함을 나타낸다. 이는 慶尙盆地內의 백악기 화강암류가 대체로 삼각도상의

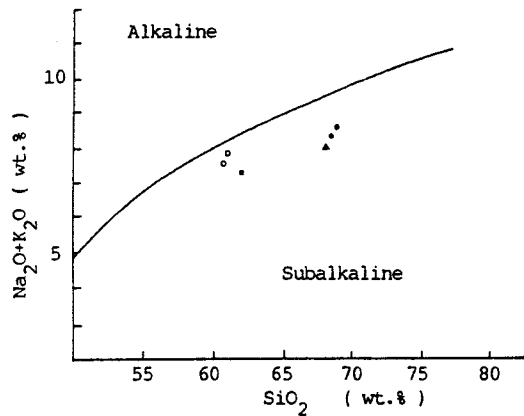


Fig. 5. Plots of Na₂O+K₂O vs SiO₂ in weight percent for Molun granitoids, Dongweon gold-silver mine area(after Irvine and Baragar, 1971). Symbols are the same as Fig. 4.

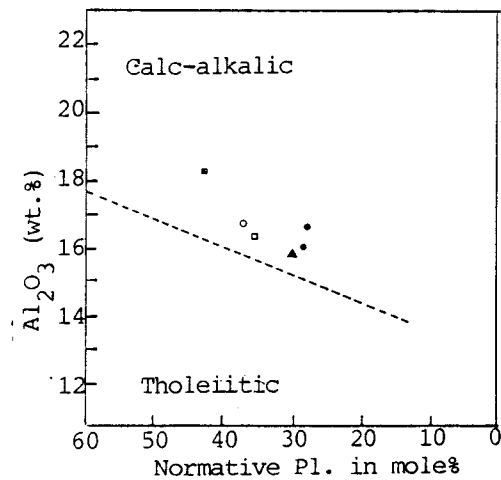


Fig. 6. Plot on Al₂O₃(wt. %) vs normative plagioclase of Molun granitoids, Dongweon gold-silver mine area(after Irvine & Baragar, 1971). Symbols are the same as Fig. 4.

Ulvöspinel-magnetite Series의 영역(FeO-FeTiO₄영역)내에 표시되는 것 (Jin, 1981)과 잘 일치한다.

微量元素; 모오드 組成分析과 全岩化學分析을 실시한 7개 시료에 대한 19종의 미량원소분석치는 Table3과 같다. 19개

성분 중 3개 성분은 0의 값을 갖는다. 分化指數가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이는 원소에는 Rb가 있으며 감소하는 경향을 보이는 원소에는 Sr, Y, V, Cr, Ni, Ga, Sc 등이 있다. 또한 분화지수가 증가하는 것에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는 원소는 Ba, Zn, Zr, Cu, Pb, Nb 등이다.

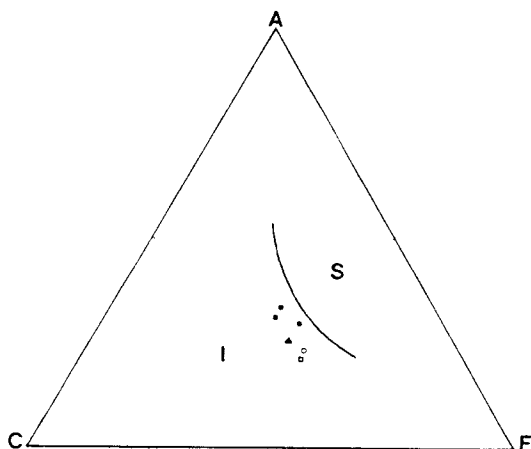


Fig. 7. ACF diagram(after Hine, et al., 1978). A ; $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$, C ; CaO, F ; $MgO+FeO$, I ; I-type granitoid, S ; S-type granitoid. Symbols are the same as Fig. 4.

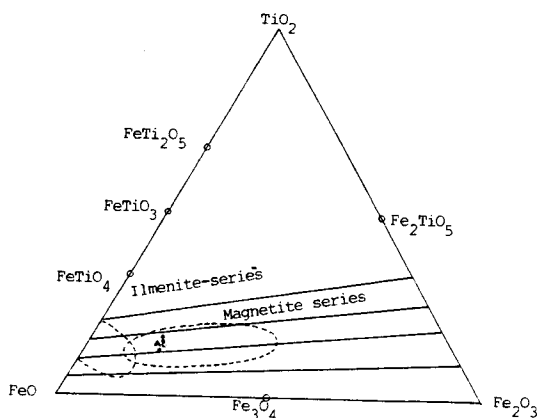


Fig. 8. $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ (mole %) diagram of Molun granitoids, Dongweon gold-silver mine area(after Tsusue and Ishihara, 1974). Symbols are the same as Fig. 4.

鑛床

東原鑛山의 금은광상은 조선누층군에 속하는 장산규암, 묘봉슬레이트와 풍촌석회암 및 이를 관입한 沒雲花崗岩體와 珪長岩脈內에 발달한 열극을 충전한 脈狀鑛床이다. 東

Table 3. Trace element analyses(in ppm)of Molun granitoids, Donweon gold-silver mine area.

	5022	42813	4298	GF	870428	4301	Dw-05
Rb	106.3	96.1	133.0	133.7	110.3	191.2	225.4
Sr	756.6	751.8	744.4	518.4	683.4	497.5	164.7
Ba	1268.7	1013.3	1230.7	908.1	1193.2	1170.3	640.1
Y	20.3	21.2	21.4	15.1	11.1	19.7	25.4
Zr	217.6	215.5	241.0	226.0	179.9	246.2	141.4
V	121.9	90.5	119.2	67.4	43.8	58.7	0.2
Cr	121.3	78.1	116.0	67.0	54.1	63.9	1.2
Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ni	35.9	16.0	33.3	21.0	19.3	21.6	1.2
Cu	26.4	15.6	24.5	94.9	9.5	14.3	7.0
Zn	80.4	80.0	87.0	40.3	59.1	72.5	42.3
Ga	19.0	20.9	20.9	17.9	19.9	19.8	12.5
Ce	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pb	24.9	41.6	39.7	20.9	28.9	61.6	19.1
Nb	12.6	10.9	16.0	12.5	8.8	17.5	12.8
La	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sc	14.4	7.8	14.2	8.4	4.7	5.8	2.4
Th	14.3	11.7	21.1	17.6	9.1	31.6	14.3
U	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DI	60.77	61.90	62.28	75.26	77.98	79.75	91.37

DI=Differentiation Index.

原鑛山에 개설된 경도에서 조사된 각 광맥들의 발달상황을 가산갱수준 (해발 530m)에다 표시하면 Fig.9와 같다.

Fig.9에서 보는 바와같이 東原鑛山의 광맥은 N25°W계, NS-N20°E계 및 N60°W계의 주향을 갖는 맥으로 나눌 수가 있다. 이들 맥은 산출하는 金銀鑛物은 量比에 따라 각각 金脈과 銀脈으로 불린다. NS-N20°E의 주향에 65°-75°SE의 경사를 갖는 맥과 N60°W의 주향에 80°NE의 경사를 갖는 맥이 은맥, N25°W 주향에 65°-75°NE의 경사를 갖는 맥이 금맥에 해당한다.

이 광맥들 중 근래에 東原鑛山에서 인수 후 개발된 광맥으로는 가산金脈, 가산銀脈, 장곡坑脈, 광곡坑脈 뿐이며 N30°E 주향에 80°SE의 경사를 갖는 남창坑脈에 대해서는 심부 및 연장부 探鑛을 목적으로 시추를 실시한 일이 있다. 가산金脈은 과거에 가장 많이 개발된 主脈으로서 이 맥의 북서부는 華標鑛山에서 개발되고 남동부는 江原鑛山에서 개발되었으나 북서부의 갭은 현재 경도 불량으로 인해 지표에서의 입향이 불가능하며 남동부 것만이 稼行中에 있다.

N10°E의 주향에 80°NW의 경사를 갖는 장곡坑脈은 광맥과 주향, 경사가 같은 단층에 연하여 단속적으로 胚胎되어 있다. 장곡坑脈의 남쪽 연장부에 발달돼 있는 광맥들(가산갱 동쪽의 여러 경도에서 개발된 맥, 남창坑脈, 沒雲本脈, 등)이 동일맥인지를 여부는 확인할 수 없다. 개발된 맥들의 주향, 경사, 맥폭, 연장, 모암등을 정리해 보면 Table 4와 같다. 가산금맥과 접하는 부위의 규장암은 심하게 건운모 화되어 있다.

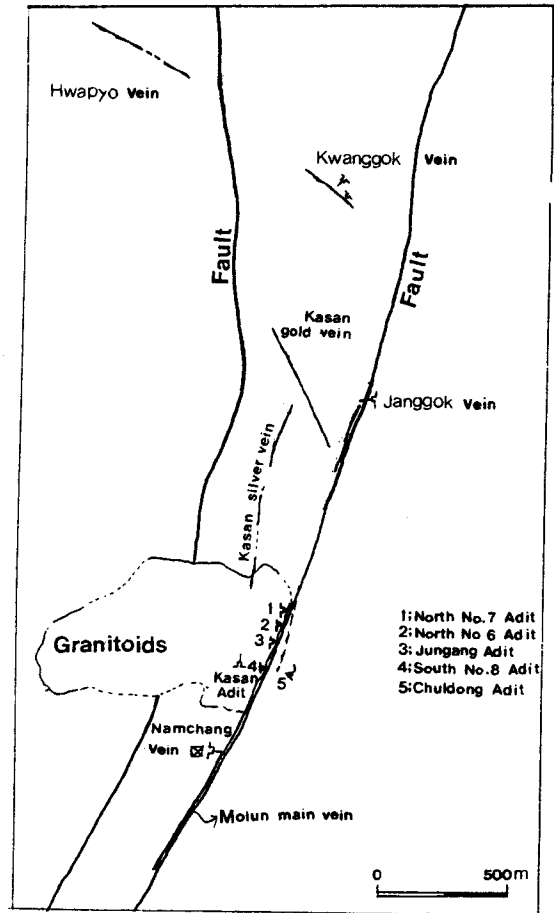


Fig. 9. Vein map of the Dongweon mine.

鑛石

産出鑛物

東原鑛山의 가산金脈, 가산銀脈, 장곡坑脈, 광곡坑脈을

구성하는 광물의 종류와 상대적인 量比를 總括하면 Table 5와 같다. 이 표에서 보는 바와같이 4개맥중 金脈과 銀脈에서 공통적으로 산출되는 광석광물은 硫砒鐵石, 黃鐵石, 閃亞

Table 4. Strike, dip, width, length and host rock of veins.

Vein	Kasan gold vein	Kasan silver vein	Janggok vein	Kwanggok vein	Namchang vein
Strike	N20°-30°W	NS-N20°E	N10°E	N60°W	N30°E
Dip	65°-75°NE	60°-70°SE	70°-80°NW	80°NE	80°NW
Width(cm)	5-25	5-80	5-55	2-30	30-82
Length(m)	300	700	600	600	500
Host rock	Myobong slate, Pungchon limestone, felsite	Jangsan quartzite, Myobong slate, Pungchon limestone, granite	Pungchon limestone	Pungchon limestone	Jangsan quartzite, Myobong slate

Table 5. Relative mineral abundances of the gold and silver vein of Dongweon mine.

Au, Ag vein name of vein	Gold vein		Silver vein	
	Kasan gold vein	Kasan silver vein	Janggok vein	Kwanggok vein
Minerals				
Magnetite		*		
Rutile		*		
Arsenopyrite	****	*****		
Pyrite	****	*****	*****	*****
Sphalerite	****	*****	*****	*****
Marcasite			*	
Chalcopyrite	***	***	***	***
Galena	****	*****	*****	*****
Tetrahedrite		*	**	**
Electrum	**	**	*	*
Argentite	*	*	**	***
Pyrrargyrite		***		
polybasite		***	*	*
Antimonpearceite		*	*	*
Native Ag				**
Cu-Ag-S mineral				*
Ag-Sb mineral				*
Quartz	*****	***	**	**
Ankerite	***			
Calcite		*****	*****	*****
Rhodocrosite		*****		

***** ; very abundant , **** ; abundant , *** ; moderate , ** ; minor , * ; trace

鉛石, 黃鐵石, 方鉛石, 輝銀石, 또는 아칸다이트, 엘렉트럼 등이며, 銀脈에서만 산출되는 광석광물은 磁鐵石, 金紅石, 濃紅銀石, 폴리바사이트, 안티몬피어사이트, 自然銀, Cu-Ag-Sb계 광물 등이다. 두 종류의 광맥에서 공통적으로 산출되는 脈石鑛物은 石英이며 能망간석과 方解石은 銀脈에서만, 앵커라이트는 金脈에서만 산출된다. 이 밖에 母岩變質產物로 綠泥石, 絹雲母, 캐올리나이트 등이 있다.

鑛石의 構造

東原鑛山에 발달한 상기 4개의 광맥들중 가산金脈, 장곡坑脈과 광곡坑脈은 單成脈인 반면에, 가산銀脈은 생성시기를 달리하는 맥들로 구성된 複成脈으로서, 이 맥에서 산출되는 광석들은 생성시기에 따라 광물조성, 조직을 달리한다.

가산金脈의 광석에서는 母岩이나 前期에 생성된 광석이 後期에 생성된 광석에 의해 포획되거나 절단된 구조가 잘 관찰되며(Fig.10.A) 1-15cm 크기의 母岩片이나 鑛石片을 중심으로 유비철석-能망간석-섬아연석·방연석·석영 및 Ag 硫鹽鑛物들이 Rhythmic하게 침전된 카케이드 구조가 잘 나타난다(Fig.10.B). 한편 이러한 모암편이나 광석편을 갖

지않는 광석에서는 脈壁에서 脈의 中央을 향하여 광물이 대칭적으로 정출하여 생성된 호상구조가 발달하며, 곳곳에서 조그마한 能망간석 晶洞이 관찰된다. 東原鑛山의 가산銀脈의 구조를 살펴보면 광석은 생성시기를 달리하는 맥들 사이의 끊고 끊기는 관계로 보아 생성시기를 크게 I, II, III 期로 나눌 수 있다(Fig.10.A, B).

單成脈인 가산金脈, 장곡坑脈, 광곡坑脈 중 장곡坑脈과 광곡坑脈의 광석은 광물조성으로 보아 가산銀脈의 III기의 것과 유사하다. 그러나 가산金脈의 광석은 가산銀脈의 것과는 광물조성이 相異할 뿐만 아니라, 銀脈과의 생성 先後關係를 확인할 수 없다.

金脈의 鑛石

金脈의 광석은 유비철석, 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 輝銀石, 석영, 앵커라이트 등으로 되어있다.

유비철석은 황동석, 섬아연석, 방연석, 엘렉트럼과 共存하거나, 방연석과 엘렉트럼에 의해 국부적으로 交代되어 있다(Fig.11.A). 섬아연석은 황철석, 황동석, 방연석, 엘렉트럼과 공존하거나, 방연석에 의해서는 부분적으로 交代되었다. 엘렉트럼은 섬아연석, 방연석, 유비철석, 및 석영과

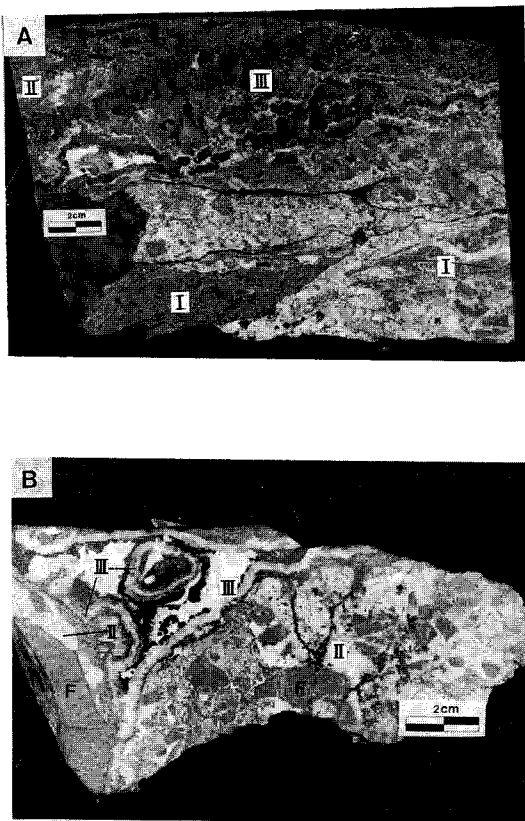


Fig. 10. Photographs of ore from the Kasan silver vein, Dongweon mine. A ; Stage I and II ores are cut by stage III ore that have banded appearance owing to crustification. B ; Stage II quartz that infill the open spaces of a breccia encrusted with stage III rhodocrosite, calcite quartz and ore minerals and show cockade structure. Abbreviations ; I ; stage I ores, II ; stage II ores, III ; stage III ores, F : fragment.

공존하거나(Fig.11.A), 석영내에 단독결정으로도 산출된다(Fig.11.B). 엘렉트럼 입자의 크기는 보통 300-400 μ 이나 큰 것은 2-3mm 정도로 肉眼으로도 쉽게 관찰할 수 있다. 이 맥에서 다량의 엘렉트럼이 정출한 것으로 보아 주요 金鑛化作用은 金脈의 形成時에 이루어진 것으로 보인다.

銀脈의 鑛石

銀脈으로 대표적인 것은 가산銀脈으로서 이는 3기에 걸쳐 생성된 광석으로 되어있다.

I기의 광석 ; I기에 정출한 광석광물은 황철석, 자철석, 금홍석 등이고, 맥석광물은 석영이다. 이 중 황철석이 양적으로 우세하며 자철석과 금홍석은 황철석내에 소량 존재한다.

II기의 광석 ; II기에 정출한 광석광물은 유비철석, 황철석, 섬아연석, 황동석, 濃紅銀石, 輝銀石 등이고 맥석광물은 방해석과 석영이다. II기 광석은 황철석이 방연석 결정 주변을 따라 둘러싸고 있는 모양을 특징적으로 가지고 있어 황철석이 방연석의 정출후에 이 결정을 둘러싸며 정출된 것 처럼 보인다. 그러나 鏡下에서 보면 방연석을 둘러싸고 있는 황철석은 심하게 파쇄되어 있으며, 이런 틈 사이를 방연석이 채우거나 교대하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

II기의 광석은 前期에서 後期로 감에 따라 정출된 鑛物 共生群에 차이가 있다. II기 前期의 광석은 유비철석, 황철석, 섬아연석, 황동석과 방해석 및 석영으로 구성되어 있다. 이 중 유비철석, 황철석은 부분적으로 파쇄되어 있으며 이런 파쇄된 틈 사이를 후에 정출한 섬아연석, 황동석 등이 채우거나 교대하고 있다. 유비철석은 황철석과 밀접하게 공존하며 菱面體 모양의 自形 내지 半自形을 이룬다. 섬아연석은 황철석, 황동석, 유비철석과 공존하거나, 방해석과 석영내에서 단독결정으로 산출되며 황동석의 點滴을 가지고 있다.

II기 後期の 광석은 섬아연석, 황동석, 방연석, 輝銀石, 濃紅銀石, 석영, 방해석으로 구성되어 있다. 황동석은 전기와 후기에 걸쳐 정출한 광물로서 섬아연석 및 방연석과 함께 전기에 정출한 황철석의 부서진 틈 사이를 채우기도 한다. 방연석은 황철석과 함께 II기에 가장 많이 정출한 광석광물로서 농홍은석과 밀접히 공존하며 전기에 정출한 유비철석과 황철석의 파쇄된 틈 사이를 채우거나 교대하였다(Fig.11.C). 濃紅銀石은 방연석과 밀접히 공존하며 방연석내에 Bleb狀으로 미량 존재하며 강한 異方性을 가지고 있다(Fig.11.C). 輝銀石은 섬아연석과 황동석을 교대하고 있다.

III기의 광석 ; III기에 정출한 광석은 유비철석, 황철석, 방연석, 섬아연석, 황동석, 테트라헤드라이트, 엘렉트럼, 濃紅銀石, 폴리마사이트, 안티몬피어사이트, 輝銀石, 自然銀, Cu-Ag-S계 광물, Ag-Sb계 광물과 석영, 능망간석, 方解石 등으로 되어있다.

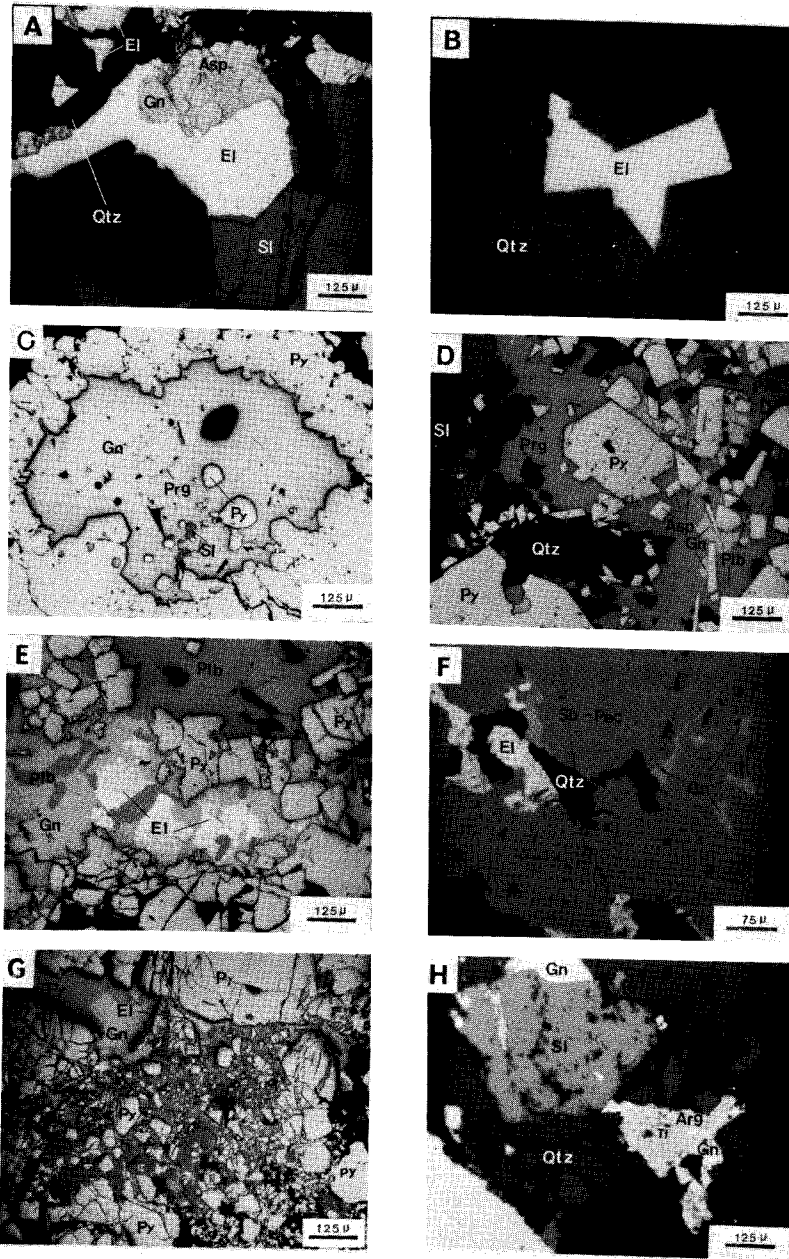


Fig. 11. Microphotographs of ore minerals from the Gold and Silver vein, Dongweon mine. A; Arsenopyrite is partly replaced by electrum and galena. Electrum coexists with sphalerite, galena and quartz. B; Isolated electrum grain in quartz. C; Pyrrargyrite coexists with galena and sphalerite. D; Stage III arsenopyrite coexisting with pyrite, sphalerite, pyrrargyrite, polybasite, galena and quartz. E; Polybasite coexisting with galena, electrum. F; Antimonpearceite coexisting with electrum, galena and quartz. G; Stage II pyrites are crushed and are replaced by polybasite, galena and electrum of stage III. H: Tetrahedrite coexisting with argentite, galena, sphalerite and quartz. Abbreviation Arg; Argentite, Asp; Arsenopyrite, El: Electrum, Gn; Galena, Plb; Polybasite, Prg; Pyrrargyrite, Py; Pyrite, Qtz; Quartz, Sl; Sphalerite, Tt; Tetrahedrite.

Ⅲ기의 광석은 母岩片이나 I, Ⅱ기의 鑛石片을 중심으로 하여 유비철석-능망간석-(Base-metal 유화광물, 석영, 방해석, Ag 硫酸鑛物)의 順으로 침전된 카케이드 구조가 잘 나타난다(Fig.10.B). 한편 이러한 母岩片이나 鑛石片을 갖지 않는 광석에서는 脈壁에서 中央을 향하여 위와 같은 광물의 順으로 된 對稱的인 호상구조가 발달해 있다.

Ⅲ기는 능망간석의 정출기를 기준으로 하여 그 이전을 早期, 능망간석의 정출기를 中期, 그 이후를 末期로 나누어 볼 수 있으며, 각 기의 광물의 종류와 정출시기 및 相互關係를 알아보면 다음과 같다.

Ⅲ기 초기의 광석은 다량의 유비철석과 소량의 황철석이 석영과 함께 母岩片이나 前期의 鑛石片을 둘러싸며 정출하고 있다. 金銀鑛物은 정출은 없었다.

Ⅲ기 中期 광석은 소량의 유비철석, 황철석, 방연석 등의 유화광물이 다량의 능망간석과 함께 정출하고 있다. Ⅲ기 初期와 마찬가지로 金銀鑛物은 수반하지 않는다.

Ⅲ기의 末期에는 Base-metal 유화광물과 함께 여러 종류의 銀鑛物들이 다량 정출한 시기로서 銀鑛物의 주요 鑛化期인 것으로 보인다. 이 시기에 정출한 광물로는 유비철석, 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 엘렉트럼, 테트라헤드라이트, 濃紅銀石, 폴리바사이트, 안티몬피어사이트, 輝銀石, 自然銀, Ag-Sb系 광물, Cu-Ag-S系 광물 등의 광석광물과 석영, 방해석 등의 맥석광물이 있다. 방해석에는 흰색을 갖는 순수한 방해석과 분홍색을 띠는 방간방해석의 두 종류가 있다.

유비철석은 황철석, 섬아연석, 방연석, 폴리바사이트, 濃紅銀石 및 석영과 밀접하게 공존한다(Fig.11.D). 섬아연석은 황철석, 방연석, 폴리바사이트, 濃紅銀石과 공존하거나(Fig.11.D) 輝銀石, 황철석 및 방해석과 함께 공존한다.

濃紅銀石은 東原鑛山에서 산출되는 銀광물 중 가장 중요한 광물 중의 하나로서 방연석, 폴리바사이트, 섬아연석, 유비철석, 황철석, 엘렉트럼과 공존한다. 폴리바사이트는 주로 방연석, 농홍은석, 엘렉트럼과 공존하며 방연석 내에서는 Bleb, 불규칙한 모양 등을 가지며 작은 입자로 존재하거나(Fig.11.E), 엘렉트럼, 방연석과 함께 먼저 정출한 황철석의 파쇄된 틈사이를 채우거나 교대하고 있다. 안티몬피어사이트는 방연석, 석영, 엘렉트럼과 공존한다(Fig.11.F). 엘렉트럼은 폴리바사이트, 방연석과 함께 Ⅱ기에 정출한 황철석의 파쇄된 틈사이를 채우고 있다(Fig.11.G). 이 시기 엘렉트럼의 크기는 보통 30-50 μ 정도이나 큰 것은 100-

200 μ 정도이다. 테트라헤드라이트는 휘은석, 방연석, 섬아연석과 공존한다(Fig.11.H). 휘은석은 自然銀, Cu-Ag-S계 광물과 공존하거나, 섬아연석, 황철석, 테트라헤드라이트와 공존한다. 또한 휘은석은 방해석과 섬아연석의 경계를 따라 Film 狀으로 산출되기도 한다. Ag-Sb계 광물은 방해석, 휘은석과 공존하고 있다.

鑛物共生關係

상술한 바와 같이 金脈의 광화작용은 한 時期에 있었으며, 銀脈의 광화작용은 광석의 구조로 보아 3기로 구분할 수 있다. 금맥과 은맥의 각 기의 광물들의 공생관계를 종합하면 Fig.12 및 Fig.13과 같다.

금맥의 광화작용 기간은 Fe-Zn-Cu-As-S계 광물공생군과 다량의 엘렉트럼의 정출기였고 맥석광물로는 석영, 앵커라이트가 정출하였다.

은맥의 I 기는 황철석, 자철석, 금홍석과 석영의 정출기이다. Ⅱ기의 前期는 Fe-Zn-Cu-As-S계 광물공생군의 정출기이고 後期는 Cu-Fe-Pb-S계 광물과 극히 소량의 은광물의 정출기이다. Ⅱ기의 맥석광물로는 Ⅱ기 全期間에 걸쳐 방해석이 계속 정출하였고, 석영은 Ⅱ기 前期에 정출하였다. Ⅲ기는 광물정출순서에 따라 3기로 나눌 수 있다. 초기는 다량의 유비철석과 소량의 황철석과 석영의 정출기이고 중기는 극히 소량의 Base-metal 유화광물과 다량의 능망간석의 정출기이며 말기는 Base-metal 유화광물, 엘렉트럼, 은광물, 석영, 방해석의 정출기이다.

금의 주요 정출기는 金脈의 생성기이고, 銀鑛物의 주요 정출기는 銀脈의 Ⅲ기 말기이다.

金脈과 銀脈에서의 금은광물들과 다른 광물들과의 수반관계 및 빈도를 나타내면 Table 6과 같다. 金脈의 엘렉트럼은 유비철석, 황철석, 섬아연석, 방연석, 석영에 수반된다.

Minerals	Stage
Arsenopyrite	-----
Pyrite	-----
Shalerite	-----
Chalcopyrite	-----
Galena	-----
Electrum	-----
Argentite	-----
Quartz	-----
Ankerite	-----

Fig. 12. Paragenetic sequence of hypogene minerals from the gold vein of Dongweon mine.

鑛物化學

Stage	I	II	III
Minerals			
Magnetite	----		
Rutile	----		
Arsenopyrite		----	----
Pyrite		----	----
Sphalerite		----	----
Chalcopyrite		----	----
Galena		----	----
Electrum			----
Argentite		----	----
Tetrahedrite			----
Pyrargyrite		----	----
Polybasite			----
Antimonpearceite			----
Native Ag			----
Cu-Ag-S mineral			----
Ag-Sb mineral			----
Quartz	----		
Calcite			----
Rhodocrosite			----

Fig. 13. Paragenetic sequence of hypogene minerals from the silver vein of Dongweon mine.

은맥 II기의 은광물은 방연석과 밀접하게 공존하며 III기 말의 은광물들은 황철석, 방연석, 방해석 및 다른 은광물들과 밀접한 수반관계를 갖는다.

섬아연석; 東原鑛山의 각 광맥중에서 섬아연석은 금맥의 광석과 은맥 중의 II기와 III기 말기 광석에서 산출된다. EPMA분석결과 Table 7과 같다. 섬아연석의 FeS mole%는 금맥광석 ; 5.85-8.92, 은맥의 II기 광석 ; 1.48-3.10, III기말광석 ; 6.19-7.53으로서 銀脈 II기것의 값에 비해 III기말의 것과 금맥의 것의 값이 약 5% 높다. Scott(1983)에 의하면 유비철석, 황철석과 平衡共存하는 섬아연석의 FeS mole%는 약 10% 이상이 되어야 한다. 그런데 東原鑛山의 금은광상의 섬아연석은 10%이하의 FeS mole%를 함유하고 있다. 이것은 이 광물들이 非平衡狀態에 있었음을 뜻한다 (Green et al., 1981).

유비철석; 유비철석은 금맥의 광석과 은맥의 II, III기 광석에서 산출된다. EPMA분석결과 Table 8과 같다. 유비철석의 As atomic %는 금맥광석 ; 31.46-31.94, 은맥의 III기광석 ; 28.29-30.89, III기말광석 ; 27.93-28.87로서 금맥의 것이 은맥의 II기, III기말의 것에 비해 높은 값을 가지며, 은맥의 것은 II기에서 III기로감에 따라 감소하는 경향이 있다. Kretschmar & Scott(1976)는 천연에서 황철석과 공존하는 유비철석의 As atomic %는 29.1-33.3으로 보고

Table 6. Mineral assemblage with gold and silver minerals in the gold vein and silver vein, and their frequency.

Stage	gold vein		Silver vein									
	El	Arg	II		III							
Minerals	El	Arg	Prg	Arg	El	Arg	Plb	Sb-P	Prg	Ag	Ag-Sb	Cu
Asp	****		*				*					
Py	**	*			***		****		*			
Sl	****	*		*	*	**	***	*	***			
Cp					**	**		*				
Gn	***		*		***		****	*	****	**		**
El		*				*	***	*	***			
Arg	*											
Plb					***				***		*	**
Sb-P					*							
Prg					***		***					
Ag						*						
Ag-Sb											*	*
Cu						**				*		
Qtz	****						**	*	*			
Carb	**				**		**		**	**	**	

Asp ; arsenopyrite, Py ; pyrite, Sl : sphalerite, Cp ; chalcopyrite, Gn : galena, El : electrum, Arg ; argentite, Plb : polybasite, Prg ; Pyrargyrite, Ag : native silver, Ag-Sb : Ag-sb mineral, Sb-P ; antimonpearceite, Cu : Cu-Ag-S mineral, Qtz : quartz, Carb : carbonate. **** ; very abundant, *** ; abundant, ** ; common, * ; rare.

Table 7. EPMA analyses of sphalerite from the gold and silver vein, Dongweon mine.

Au,Ag vein	Stage	Associated Minerals	Weight %						Total	FeS mole%	MnS mole%
			Zn	S	Fe	Cu	Cd	Mn			
Gold vein		El-Py-Asp	59.97	34.29	5.02	0.00	0.36	0.84	100.48	8.92	1.63
			60.93	34.55	3.54	0.05	0.40	0.83	100.30	6.37	1.60
			60.84	34.00	3.22	0.06	0.42	0.99	99.53	5.85	1.91
Silver vein	II	Py-Asp	61.88	34.37	1.66	1.98	0.43	0.07	100.39	3.03	0.14
			64.37	34.22	1.15	0.32	0.44	0.04	100.54	2.03	0.07
		Py-Cp	64.96	34.38	1.23	0.00	1.32	0.01	100.90	2.18	0.01
			64.91	34.00	1.17	0.00	0.27	0.02	100.37	2.07	0.03
			64.36	43.09	1.14	0.00	0.29	0.04	99.92	2.04	0.06
			64.88	34.61	0.86	0.00	0.29	0.03	100.67	1.53	0.05
	III	Py-Asp-Rho	60.22	34.43	4.19	0.02	0.42	0.81	100.09	7.53	1.58
			60.68	34.17	4.18	0.01	0.36	1.07	100.47	7.47	2.05
			60.43	34.36	4.15	0.00	0.34	1.11	100.39	7.44	2.14
			60.89	34.43	3.43	0.03	0.42	1.11	100.31	6.19	2.13
		Cp-El-Py-Qtz	61.31	33.65	4.09	0.00	0.41	1.09	100.54	7.26	2.07
			61.35	33.30	4.03	0.07	0.31	1.13	100.19	7.14	2.14

El; electrum, Py; pyrite, Asp; arsenopyrite, Cp; chalcopyrite, Rho; Rhodocrosite, Qtz; quartz.

한 바 있으나 東原金銀鑛床의 경우는 이보다 약간 낮은 값을 갖는다.

엘렉트럼; 엘렉트럼은 금맥광석에서와 은맥광석 중 III기말의 것에서 산출된다. 금맥광석의 엘렉트럼의 조성범위는 63.63에서 60.56 wt% Au, 은맥 III기말의 것은 57.08-24.72 wt% Au로서 금맥의 엘렉트럼이 은맥의 III기말의 것에 비해 Au함량이 훨씬 높다. 은맥의 III기 최말기의 광석에서는 自然銀이 산출된다. 금맥에서 산출되는 엘렉트럼은 2-3mm 정도의 크기를 갖는 커다란 結晶에서도 중심부와 연변부간에 Au함량에 차이가 별로없는 균질한 조성을 갖는다.

은맥의 III기말광석에는 금은광물로서 엘렉트럼 이외에 여러종류의 舍銀鑛物이 다량 산출된다. 은맥의 III기말 광석에서 산출되는 엘렉트럼 중 11개 입자 30點에 대한 EPMA정량분석결과를 보면 엘렉트럼의 화학조성은 수반광물의 종류에 따라 차이가 있다. 즉 Ag硫鹽鑛物을 수반광물로 갖는 엘렉트럼은 51.45-24.72 wt% Au로 비교적 낮은 Au함량을 갖는 반면에, Ag硫鹽鑛物을 수반광물로 갖지 않고 Base metal 유화광물과 석영만을 수반광물로 갖는 엘렉트럼은 57.08-45.94wt%로 비교적 높은 Au함량을 갖는다.

이상에서 東原金銀鑛床에서 정출한 엘렉트럼은 금맥과

Table 8. EPMA analyses of arsenopyrite from the gold vein and silver vein, Dongweon mine.

Au,Ag vein	Stage	Associated minerals	Weight %						Total	As atomic %
			Co	As	S	Ni	Fe	Sb		
Gold vein		El-Py-SI	0.03	43.50	19.29	0.03	35.45	0.00	98.30	31.93
			0.06	43.98	21.36	0.02	34.13	0.00	99.55	31.46
Silver vein	II	Py-SI	0.04	42.88	21.05	0.00	34.83	0.00	98.80	30.89
			0.03	43.31	22.78	0.02	34.50	0.00	100.64	30.31
			0.02	41.71	22.22	0.00	34.88	0.02	98.85	29.70
			0.04	42.62	22.77	0.00	35.65	0.00	101.98	29.66
		0.04	41.72	22.32	0.00	36.40	0.03	100.51	29.22	
		0.03	40.88	23.76	0.01	35.80	0.02	100.50	28.29	
	III	Py-SL-Rho	0.03	40.97	22.77	0.00	35.56	0.00	99.33	28.87
			0.02	39.54	23.02	0.01	35.90	0.00	98.49	27.93

Abbreviations are the same as those in Table 7.

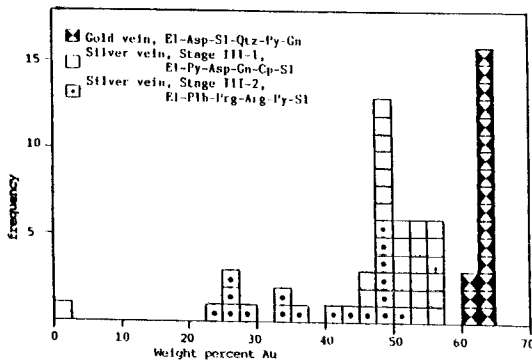


Fig. 14. Histogram of Au content of Au-Ag series mineral according to mineralization stage and associated minerals from the gold and silver vein of the Dongweon gold-silver mine. El : Electrum, Asp ; Arsenopyrite, Py ; Pyrite, Sl ; Sphalerite, Qtz ; Quartz Gn ; Galena, Cp ; Chalcopyrite, Plb ; Polybasite, Prg ; Pyrargyrite, Arg ; Argentite. Abbreviations are the same as those in Table 6 and Table 8.

은맥의 것이 각각 다른 조성을 가지며 특히 은맥의 III기말의 것은 수반광물의 종류에 따라 조성상에 차이가 있을 것을 알 수 있다(Fig.14).

濃紅銀石; 濃紅銀石은 은맥의 II기와 III기말 광석에서 산출된다. 이 중 III기말 광석에서 산출되는 濃紅銀石에 대한 EPMA 분석결과는 Table 9와 같다. 이 광물 중에 함유되어 있는 Ag함량은 60.95-63.32 wt.%정도이며, 분석치는 Stoichiometric composition과 비교적 잘 일치한다.

폴리바사이트, 안티몬피어사이트; 폴리바사이트와 안티몬피어사이트는 은맥중의 III기말 광석에서 산출된다. Table 10은 폴리바사이트와 안티몬피어사이트에 대한 EPMA 분석결과이다. 폴리바사이트는 0.71-2.31 wt.%의 As를 함유하며 Cu+Ag에 대한 Cu의 atomic %가 8.27-8.90, Sb+As에

대한 Sb의 atomic %가 64.28-84.65로서 Hall(1976)의 자료에 표시하면 Fig.15에서 처럼 폴리바사이트 영역에 속한다. 안티몬피어사이트는 2.89 wt.%의 As를 가지며, Cu+Ag에 대한 Cu의 atomic %가 15.79, Sb+As에 대한 Sb의 atomic %가 55.42로 안티몬피어사이트 영역에 속한다 (Fig.15).

流體包有物

東原金銀鑛床에서 산출되는 맥석광물 중 流體包有物 연구가 가능한 광물은 금맥의 석영뿐이다. 금맥에서 산출되는 섬아연석과 은맥에서 산출되는 능망간석, 방해석 및 섬아연석에 대해서도 검토해 보았으나 透明度가 낮아 유체포유물의 관찰이 불가능하거나 유체포유물이 포함되어 있어도 그 크기가 너무 작아 실험을 할 수 없었다.

금맥의 석영에서 산출되는 유체포유물은 모두 液體包有

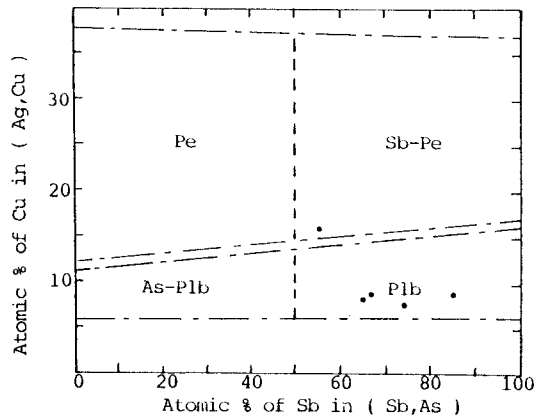


Fig. 15. Relationship between Cu/(Ag+Cu) and Sb/(Sb+As) in chemical composition of antimon pearceite (Sb-Pe) and polybasite(plb) in stage III from the silver vein of the Dongweon gold-silver mine(after Hall, 1967).

Table 9. EPMA analyses of pyrargyrite in stage III ore from the Silver vein, Dongweon mine.

Stage	Associated Minerals	Weight %						Total	Chemical Formula
		Ag	Cu	Sb	As	Fe	S		
III	Plb-Gn-Py	61.24	0.11	19.64	0.00	0.00	17.61	98.60	Ag ₃₋₁₀ Sb _{0.88} S ₃
	Plb-Sl-Gn	60.95	0.08	19.87	2.37	0.01	17.59	100.87	Ag ₃₋₀₉ Sb _{0.89} S ₃
	Plb-Carb	63.32	0.06	19.95	0.00	0.00	17.01	100.34	Ag ₃₋₃₂ Sb _{0.93} S ₃
	Plb-Sl-Gn	61.56	0.08	21.06	1.03	0.00	17.56	101.29	Ag ₃₋₁₃ Sb _{0.95} S ₃

Abbreviations are the same as those in Table 6.

Table 10. EPMA analyses of polybasite and antimonperceite in stage III from the Siver vein, Dongweon mine.

Stage	Associated minerals	Weight %						Total	Atomic% in(Sb,As)	Atomic %Cu in(Cu,Ag)	Mineral name
		Ag	Cu	Sb	As	Fe	S				
III	Prg-Gn-Sl	74.16	4.26	6.76	2.31	0.01	14.40	101.90	64.28	8.88	Polybasite
	Prg-Carb	73.17	4.21	6.33	0.71	0.00	13.93	98.35	84.65	8.90	Polybasite
	Prg-Carb	73.20	3.89	7.76	1.70	0.00	14.48	101.03	73.71	8.27	Polybasite
	Prg-Carb	73.95	4.41	7.21	2.16	0.02	14.40	101.88	67.20	8.67	Polybasite
	Gn-Qtz-El	68.82	7.61	5.82	2.89	0.00	14.59	99.73	55.42	15.79	Sb-pearceita

Prg ; Pyargyrite Gn ; Galena Sl ; Sphalerite Carb ; Carbonate Qtz ; Quartz, El ; Electrum

물로 이들 유체포유물의 충전도는 75-90% 정도이다. 유체포유물의 鹽濃度와 均一化溫度 측정실험은 初生包有物로 보이는 것만을 대상으로하였다.

鹽濃度

유체포유물의 鹽濃度는 Nikon 회사제 NE-1형 低温顯微鏡에 액체질소를 냉각제로 사용하여 실시하였다. 냉각실험은 금맥의 석영을 대상으로 실시하였는데 NaCl 相當鹽濃度는 4.69-6.40wt.%이다(Fig.16).

均一化溫度

유체포유물의 均一化溫度는 Leitz 회사제 Model SM-Lux 加熱顯微鏡으로 측정하였다. 가열실험은 금맥의 석영을 대상으로 실시하였다. 가열실험시 유체포유물은 모두 液相으로 충전되며 이때의 온도는 229-283°C이다(Fig.17).

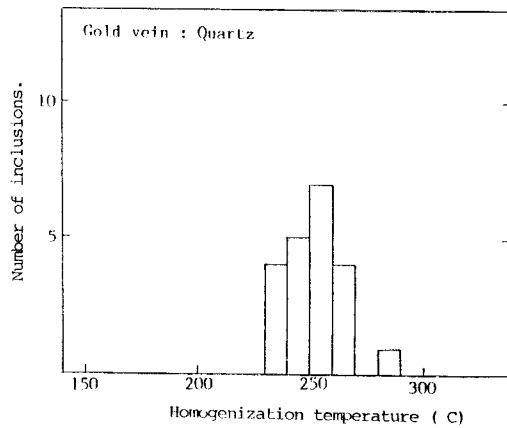


Fig. 17. Homogenization temperature of fluid inclusions from the Kasan gold vein of the Dongweon mine.

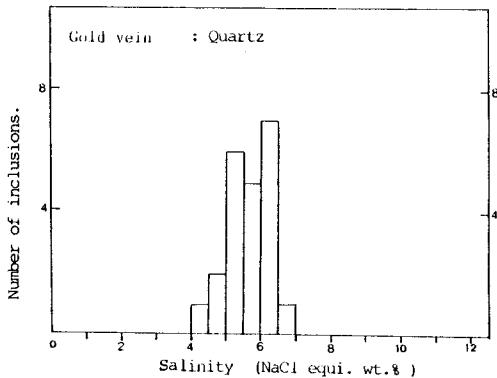


Fig. 16. Salinity of fluid inclusions from the Kasan gold vein of the Dongweon mine.

考 察

東原金銀鑛山에는 광맥의 주향, 경사와 금은광물의 종류와 量比를 달리하는 金脈과 銀脈群이 있다. 금맥은 描峯슬레이트와 豊村石灰岩 및 규장암맥 내에 발달한 열극을 충전한 單成脈인 반면에 은맥중의 가산銀脈은 壯山珪岩, 描峯슬레이트, 花崗岩類內에 발달한 열극을 충전한 鑛脈으로서 3차례에 걸친 鑛化作用에 의해 형성된 複成脈이다. 豊村石灰岩을 母岩으로 하는 장곡坑脈과 광곡坑脈의 광석은 광물조성으로 보아 가산銀脈의 III기의 것과 유사하다.

광산의 생성시기는 朴喜寅 등(1988)에 의해 측정된 熱水變質帶內의 絹雲母의 K-Ar 절대연령이 86±2.37 Ma로서 진술한 沒雲花崗岩體內의 花崗閃綠岩中 黑雲母의 K-Ar 절대연령, 85.8±1.12 Ma와 좋은 일치를 보인다. 따라서 沒

雲花崗岩體는 時空的으로 보아 東原金銀鑛床의 關係火成岩 일 것으로 생각된다. 東原金銀鑛床은 金玉準(1970)과 Kim (1986)의 남한의 金銀鑛床區 구분에 따르면 각각 壽岩里金銀鑛床區, 또는 旌善金銀鑛床區에 속하는데, 같은 鑛床區內에 속하는 屯田金鑛床의 熱水變質帶에서 채취한 絹雲母 K-Ar 절대연령이 75.68 ± 1.71 Ma (朴喜寅 등, 1988), 銀峙銀鑛床의 絹雲母의 K-Ar 절대연령은 88.52 ± 2.0 Ma (黃政, 1987)로서 이 광상구내의 金銀鑛化作用은 모두 白堊紀에 있었던 것으로 생각된다.

광상의 生成溫度와 壓力 및 鑛床生成 당시의 鑛化流體의 鹽濃도와 硫黃分壓는 流體包有物과 鑛物共生群의 相平衡關係를 이용하여 구할 수가 있다. 東原金銀鑛山의 金脈에서 산출된 석영내에 있는 液體包有物로부터 구한 鑛化流體의 NaCl相當鹽濃도와 均一化溫度는 각각 4.69-6.40 wt.%와 229-283 °C이다.

엘렉트럼-휘은석-섬아연석-황철석이 공생하는 경우에는 엘렉트럼과 섬아연석의 組成으로부터 Electrum tarnish method(Barton and Toulmin; 1964, 1966 Scott and Barnes; 1971)에 의해 그들의 生成溫度와 硫黃分壓를 유추할 수 있다. 東原金銀鑛山의 金銀鑛化作用은 금맥의 생성기와 은맥의 III기말에 이루어졌으며 이들은 각각 위와같은 鑛物共生群을 이루고 있다.

엘렉트럼과 공존하면서 금맥의 생성기와 은맥의 III기말에 정출한 섬아연석의 FeS mole %는 각각 5.85-8.92 mole %와 6.19-7.53 mole %이며, 엘렉트럼의 N_{Ag} 는 각각 0.524-0.535와 0.590-0.829로서 이들 값을 $T-f_{S_2}$ 관계도에 표시하면 Fig.18과 같다. 은맥의 III기말 광석의 경우 엘렉트럼과 공생하는 광물들의 종류에 따라 두 영역으로 나누어 표시하였다. 즉 수반광물이 Base-metal 유화광물인 경우와 Ag 硫鹽鑛物인 경우 각각 生成溫度와 硫黃分壓이 달랐음을 알 수 있다.

鑛物共生群에서 추정된 生成溫度는 금맥의 생성기 : 319-294°C, 은맥의 III기말 중 비교적 早期에 Base-metal 유화광물을 수반광물로 갖는 경우 : 279-241°C, 末期에 Ag 硫鹽鑛物을 수반광물로 갖는 경우 : 241-204 °C이고 硫黃分壓는 각각 $10^{94}-10^{101}$, $10^{111}-10^{128}$, $10^{128}-10^{173}$ atm으로서 금맥의 광화작용이 은맥보다 더 높은 溫度와 硫黃分壓 조건하에서 이루어진 것을 알 수 있다. 이러한 온도의 범위는 대체로 淺熱水 내지 中熱水 광상의 생성온도에 해당한다.

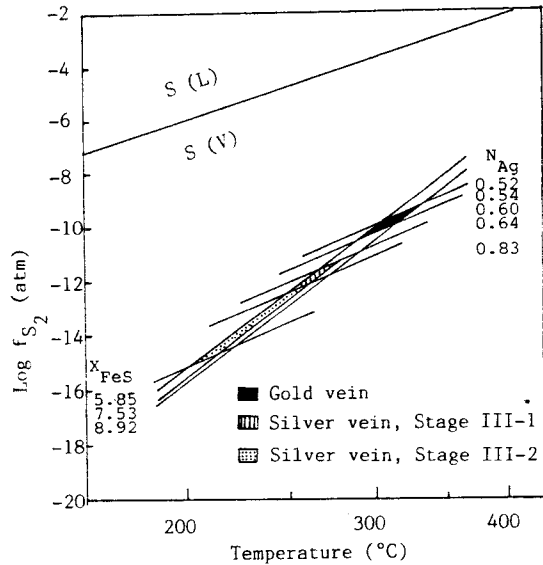


Fig. 18. Sulfur fugacity-temperature diagram of gold-silver mineralization from the Gold vein and in stage III from the Silver vein of the Dongweon mine. Sulfidation curves are from Barton and Touemin(1964, 1966) and Scott and Barnes(1971). N_{Ag} ; atomic fraction of Ag in electrum, X_{FeS} ; mole% of FeS in sphalerite.

流體包有物을 통해 얻은 金脈生成期の 均一化溫度는 流體包有物內에 沸騰이 있었음을 나타내는 유체포유물이 관찰되지 않기 때문에 壓力補正이 요구된다. 따라서 유체포유물의 平均鹽濃度(5 wt.%)와, 均一化溫度(229-283 °C)와 鑛物共生群으로 부터 구한 生成온도와의 차(최저 40 °C, 최고 60 °C)를 이용하여 Potter(1977)의 자료로 부터 구한 P_{fluid} 는 500-750 bar이다.

結 言

1. 東原金銀鑛床에는 맥의 주향, 경사와 금은광물의 종류와 量比를 달리하는 金脈과 銀脈群이 있다.

금맥은 描峯슬레이트와 豊村石灰岩 및 규장암맥內에 발달한 열극을 충진한 單成脈인 반면에, 은맥 중의 가산銀脈은 壯山珪岩, 描峯슬레이트, 花崗岩類內에 발달한 열극을 충진한 鑛脈으로서 3차례에 걸친 광화작용에 의해 형성된 複成脈이다. 豊村石灰岩을 모암으로하며, 은광물을 갖는 장

곡坑脈과 광곡坑脈의 鑛石은 가산銀脈의 Ⅲ期の 것과 유사하다.

2. 金銀鑛化作用은 금맥의 생성기와 은맥의 광화 Ⅱ기와 Ⅲ기말에 이루어졌다. 이 중 금의 주요 정출기는 金脈生成期이고 은의 주요 정출기는 銀脈의 Ⅲ기말이다.
3. 엘렉트럼의 Au wt.%는 金脈生成期 : 63.63-60.56, 銀脈의 Ⅲ기말 : 57.08-24.72 이며 Ⅲ기말의 경우 수반광물에 따라 조성상의 차이가 있다. 즉 비교적 초기에 Base-metal 硫化鑛物이 수반광물인 경우 : 57.08-45.94 wt.% Au 이고, Ag 硫鹽鑛物이 수반광물인 경우 : 51.45-24.72 wt.% Au로서 Ag 硫鹽鑛物을 수반광물로 갖는 경우의 엘렉트럼의 Au 함량이 낮다.
4. 금맥생성기의 流體包有物의 NaCl 相當鹽濃度는 4.69-6.40 wt.%이고, 均一化溫度는 229-283°C이다.
5. 금은의 주요 정출기인 금맥생성기와 은맥의 Ⅲ기말기의 광석의 생성온도와 f_{S_2} 는 금맥생성기 : 294-319°C, $10^{9.4}$ - $10^{10.1}$ atm, 은맥 Ⅲ기 말기중 엘렉트럼의 수반광물이 base metal 유화광물인 경우 : 241-279°C, $10^{11.1}$ - $10^{12.8}$ atm, 수반광물이 Ag 硫鹽鑛物인 경우 : 204.1-240.9°C, $10^{12.8}$ - $10^{17.3}$ atm이며 이러한 온도범위는 대체로 淺熱水 내지 中熱水 광상의 생성온도에 해당한다.
6. 금(金)의 주요 정출기인 금맥생성기의 鑛化流體 壓力은 500-750 bar이다.

參考文獻

金相燁, 文建柱, 洪永國, 金星載 (1986) 東原鑛山 地化學 調查報告書.
 金玉準 (1970) 南韓의 金銀鑛床區. 鑛山地質, 3권 p. 163-167.
 大貫 貞三 (1939) 江原道 旌善郡 東面 江原鑛山의 地質鑛床. 朝鮮鑛業會誌, v. 22, p.672-678.
 大韓鑛業振興公社 (1983) 광산지질. 제 3호.
 대한광업진흥공사 (1986-a) 광상시추조사보고서. 제 9호.
 대한광업진흥공사 (1986-b) 탐광굴진. 제 7호.
 朴喜寅, 張浩完, 陳明植 (1988) 태백산지역내 광상의 생성 연령. 광산지질, 21권, p. 57-67.
 李英勳 등 (1983) 정선, 삼척지역의 조사보고서. 광산지질, 2권 p.111-219.
 太白山地區地下資源調查團 (1962) 虎鳴圖幅 지질도. 대한

지질학회.
 黃 政 (1987) 銀峙 은광상의 성인에 관한 연구. 서울대 대학원. 석사학위논문.
 Barton, P. B. Jr. and Toulmin, P. III.(1964) The electrum tarnish method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide system. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 28, p. 619-640.
 Barton, P. B. Jr. and Toulmin, P. III.(1966) Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system. Econ. Geol., v. 61, p. 815-849.
 Gallagher, D.(1963) Mineral Resources of Korea.
 Green, G. R., Solomon, M. and Walshe, J.L.(1981) The formation of the Volcanic Hosted Massive Sulfide ore deposit at Rosebery, Tasmania. Econ. Geol., v.76, p. 304-338.
 Hall, H. T.(1967) The pearceite and polybasite series. Am. Min., v.52, p.1311-1321.
 Hine, R., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J. R.(1971) Contrasts between I-type and S-type granitoids of the Kosciusko Batholith. Jour. Geol. Soc. Australia, v.25, p. 219-234.
 Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A.(1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. Jour. Earth Sci., v.8, p. 523-548.
 Jin, M.S.(1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in south Korea. PhD. thesis, SNU.
 Kim, W.J.(1986) Metallogeny on gold-silver in south Korea. Jour. Korean Inst. Min. Geol., v.19, p. 243-264.
 Kretschmar, U. and Scott, J.D. (1976)Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. Can. Min.,v.6, p. 364-386.
 Potter, R.W. (1977) Pressure corrections for fluid inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. Jour. Research U.S. Geol. Survey, v.5, p.603-607.
 Scott, S.D. (1983) Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. Min. Magazine, v.47, p. 427-435.
 Scott, S.D. and Bams, H.L.(1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. Econ. Geol., v.66, p. 653-669.
 Streckisen, A. (1976) To each plutonic rocks its proper name. Ear. Sci. Rev., v.12 p. 1-33.
 Tsusue, A. and Ishihara, S. (1974) The iron-titanium oxides in the granitic rocks of southwest Japan. Mining Geol., v.24, p. 13-30.



A

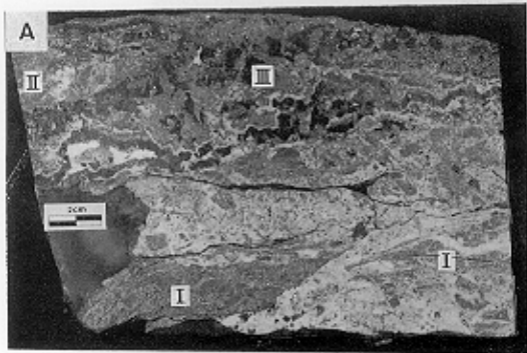
II

III

2 CM

I

I



B

