

덕흔·法田礦山의 金-銀礦化作用

朴喜寅* 黃政* 金惠來*

The Gold-Silver Mineralization of the Deogheun and Beopjeon Mines

Hee-In Park*, Jeong Hwang* and Deog-Lae Kim*

Abstract: Gold-silver deposits of Deogheun and Beopjeon mines are composed of veins emplaced in Jurassic granite batholith. Based on ore structure and ore mineralogy, four distinct stages of mineral deposition are recognized in these ore deposits. Gold and silver minerals in Deogheun and Beopjeon-A ore deposits are precipitated in stage III and stage II, respectively. Mineral constituents of ores from these deposits are pyrite, sphalerite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, galena, tetrahedrite, electrum, quartz and rhodochrosite. Cubanite, argentite and pyrargyrite occur only in Deogheun ore deposits. Ag content of electrum range from 42 to 66 atomic % in both ore deposits. Filling temperature of fluid inclusion from both ore deposits are as follows; stage I, 211–289°C ; stage II, 205–290°C ; stage III, 190–260°C ; stage IV, 136–222°C in Deogheun ore deposits. In Beopjeon-A ore deposits, stage I, 255–305°C ; stage II, 135–222°C ; stage III, 148–256°C ; stage IV, 103–134°C . Salinities of fluid inclusions range from 1.6–8.5 wt. % equivalent NaCl in both ore deposits. Sulfur fugacities through stage II and III in Deogheun ore deposits inferred from data of mineral assemblage and fluid inclusion range from $10^{-11.0}$ – $10^{-16.1}$ bars. Fluid pressure estimated from fluid inclusions which reveal boiling evidence range from 30–190 bars during mineralization in Deogheun ore deposits.

序 言

의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 謝意를 표한다.

慶北 奉化郡 一帶에는 金銀礦床이 密集賦存하고 있어, 金玉準(1971)은 이를 春陽金銀礦床區라 命名하였고, 金元祚(1986)는 이를 奉化金銀礦床區라 부르고 있다.

이 지역내의 金銀礦床은 대부분이 花崗岩內에 胚胎된 鑛脈들로서, 筆者は 이중 대표적인 것의 하나인 多德礦山內 楓井礦脈群의 金銀礦化作用에 대하여 검토한바 있다(朴等, 1988). 이 研究는 奉化金銀礦床區中 특히 春陽 부근에 밀집 부존하는 金銀礦床中 德흔金銀礦床과 法田金銀礦床을 대상으로 하여 鑛床의 產出狀態, 鑛石, 流體包有物 등을 검토하고, 多德礦山內 鑛床과 비교하여 이 지역내 金銀礦化作用의 特性을 고찰한 것이다.

春陽부근의 地質에 대하여는 春陽地質圖幅(1/50,000, 孫致武等, 1963)이 발간되어 있고, 鑛床에 대하여는 大韓礦業振興公社의 調查報告書(1978, 1983)에 간단한 보고가 있을 뿐이다. 이 研究는 1988年度 文教部學術研究助成費에

地質 및 鑛床

地質

春陽부근의 地質은 先Cambri아時代의 雲母片岩과 이를 貫入한 花崗閃綠岩과 春陽花崗岩으로 되어있다(Fig. 1). 雲母片岩은 法田부근의 花崗閃綠岩과 春陽花崗岩의 경계를 따라 좁게 분포한다. 春陽地質圖幅에는 이들 片岩을 覺華寺層이라 표시하고 있다.

花崗閃綠岩은 中粒質로서 粒狀組織을 가지나 때로는 斑狀組織을 갖기도 한다. 이 岩石은 春陽地質圖幅에서는 角閃石花崗岩으로 표시되어 있다. 春陽花崗岩은 複雲母花崗岩으로서,前述한 花崗閃綠岩을 貫入하고 있다(孫致武等, 1963). 春陽花崗岩의 黑雲母의 K-Ar年齡은 133~155 Ma로 보고되어 있다(金玉準, 1971).

鑛床

春陽부근에는 春陽, 法田, 西碧里, 보성, 高麗礦山등의 金銀礦床이 있는 것으로 보고되어 있다(孫等, 1963; 鑛振,

* 서울大學校 地質科學科(Dept. of Geology, Seoul Natl Univ., Seoul, 151-742, Korea)

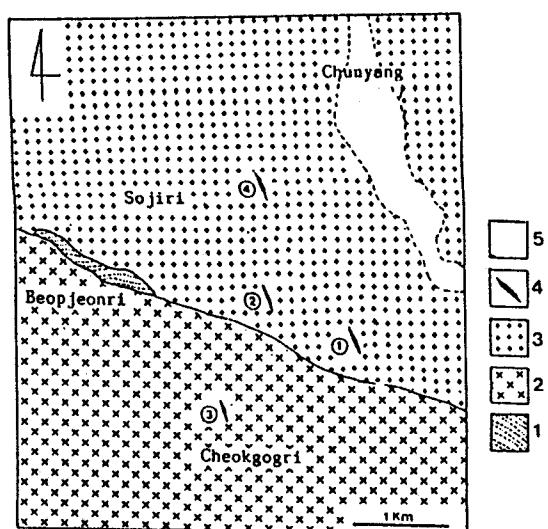


Fig. 1. Geologic map of Chunyang gold mining district.

① Deogheun deposits ② Beopjeon-A deposits
③ Beopjeon-B deposits ④ Chunyang deposits
1; mica schist 2; granodiorite 3; Chunyang granite 4; ore vein 5; alluvium

1978, 1983). 그러나 이들 鎌山은 모두 休鎌이거나 廢鎌中 이어서 일부는 鎌山의 흔적조차 찾아볼 수 없는 것도 있다. 石英斑岩體內에 網狀細脈으로 胚胎된 高麗金銀鎌床을 제외한 이 지역내의 모든 金銀鎌床은 共通적으로 花崗岩類 内에 胚胎된 金銀鎌脈들이다. 이중 이번 연구의 對象鎌床은 春陽부근에 부존하는 德 혼金銀鎌床과 法田鎌山-A鎌床으로서, 이에 대하여 기재하면 아래와 같다.

덕 혼金銀鎌床; 이 鎌床은 奉化郡 法田面 尺谷里, 春陽南 쪽 약 2.5 km에 위치한다. 鎌床은 春陽花崗岩內에 胚胎된 金銀鎌脈으로서, 2개 脈이 平行 발달하며, 脈의 走向은 N 35°W에 70°SW로 경사한다. 脈幅은 30~40 cm 정도이다. 鎌脈들은 後述하는 바와 같이 4期에 걸쳐 형성된 複成鎌脈들이다. 鎌脈과 접하는 母岩은 網雲母化되어 있다.

法田鎌山의 A鎌床; 鎌床은 奉化郡 法田面 尺谷里 재챙 일부 농지와 멧질부락부근 등 2개소에 있다. 편의상, 前者를 法田-A鎌床, 後者를 法田-B鎌床이라 부르기로 한다. 과거에 法田鎌山으로 개발된 主採鎌場은 法田-B鎌床이나 現在는 鎌山이 있었던 흔적만 남아 있을 뿐이다. 採掘跡으로 보아 鎌床은 花崗閃綠岩體內의 열곡을 充填한 鎌脈群으로 되어있다. 坑道는 모두 봉락되어 있어 鎌脈이나 鎌石의 狀態를 자세히 알 수 없다. 法田-B鎌床中

제일 동쪽에 발달한 鎌床은 그 採掘跡으로 보아 脈의 走向은 N15°W일 것으로 추정된다.

法田-A鎌床은 春陽花崗岩內에 발달하는 鎌脈으로서, 脈의 走向은 N25°W에 83°SW로 경사한다. 鎌石의 構造로 보아 鎌脈은 4期에 걸쳐 형성된 複成鎌脈이다. 採掘跡으로 보아 개발상황은 鎌脈의 露頭에서 약 30 m 하부에 개설된 크로스坑道로 着脈한 후 沿脈採鎌하여 지표와 貫通되어 있다. 鎌脈과 접하는 母岩은 網雲母化되어 있다.

鎌石과 鎌物共生關係

產出鎌物

덕 혼金銀鎌床과 法田-A鎌床에서 공통으로 산출되는 광물은 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石, 黃銅石, 磁硫鐵石, 테트라하드라이트, 에렉트린, 石英, 菱芒간石 등이다. 이밖에도 德 혼金銀鎌床에서는 濃紅銀石, 輝銀石, 큐바나이트가 산출되고 法田-A鎌床에서는 方解石이 산출된다.

鎌石의 構造

덕 혼鎌床과 法田-A鎌床의 鎌石에는 모두 前期의 鎌石이 後期의 鎌石에 의하여 脈狀으로 결단되는 구조, 또는 前期의 鎌石이 細粒되어 後期의 鎌石中에 角礫으로 포함되어 있는 구조를 흔히 볼 수 있다. 이외에도 脈壁에 平行하게 발달하는 繖狀構造(Fig. 2), 前期의 鎌石片 표면에 後期의 石英結晶이나 硫化鎌物이 放射狀으로 성장한 구조, 石英晶洞, 빗구조등이 흔하게 관찰된다. 이와같이 生成時期를 달리하는 鎌石間의 끊고 끊기는 관계로 보아 두 鎌床의 鎌石은 모두 4期에 걸친 鎌化作用으로 형성된 複成脈의 鎌石들임을 알 수 있다.

덕 혼金銀鎌床의 鎌石

I期의 鎌石: I期의 鎌石은 과상의 石英내에 淡黃色 내지 淡褐色의 閃亞鉛石과 黃鐵石, 方鉛石 등이 散點狀으로 산출된다. 이밖에 소량의 菱芒간石이 石英과共生한다. I期의 鎌石中에는 母岩片이 포함되어 있는 경우가 많으며, 母岩片은 심하게 網雲母化 또는 硅化되어 있다. 閃亞鉛石은 結晶의 中央에서 외곽을 향하여 色이 진해지는 累帶構造를 갖는 것이 많으며, 이러한 累帶를 따라서는 方鉛石이 平行 배열을 하기도 한다. I期의 閃亞鉛石은 黃銅石의 點滴을 거의 포함하지 않는다. 方鉛石은 閃亞鉛石과共生하며, 일부 黃鐵石을 交代한 組織도 보여진다.

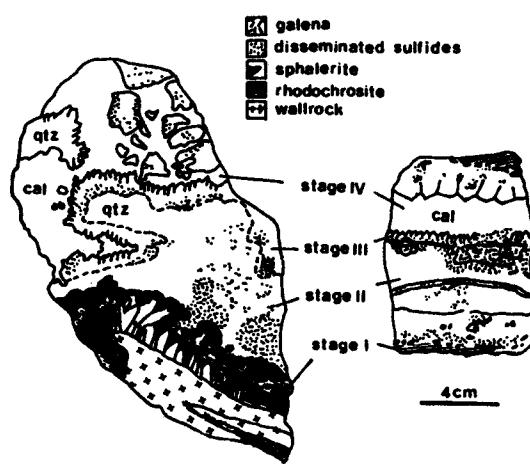


Fig. 2. A sketch of specimen from Beopjeon mine showing relation among the stage I-stageIV.

II期의 鑛石 : II期의 鑛石에서는 黃鐵石과 黑褐色 내지 黑色의 閃亞鉛石이 과상으로 산출되며, 소량의 硫砒鐵石, 方鉛石 등이 관찰된다. 脈石礦物로는 菱망간石을 주로

하고 소량의 石英이 수반된다. II期鑛石은 母岩이나 I期의 鑛石을 절단 또는 포획하여 산출된다. II期의 鑛石은 희미한 縞狀構造를 갖기도 한다. II期鑛石이 母岩이나 I期鑛石과 접할때는 硫砒鐵石, 黑褐色 閃亞鉛石, 黃鐵石, 石英 등으로된 縞와 黑色 閃亞鉛石, 菱망간石으로된 縞의 順으로된 縞狀構造가 발달한다. II期의 閃亞鉛石에는 黃銅石이나 磁硫鐵石의 點滴이 많이 포함되며, 閃亞鉛石의 色이 黑色인 것일수록 더 많은 點滴을 갖는다. II期 閃亞鉛石의 FeS mol%는 8.1~15.54범위이다(Table 1). 硫砒鐵石은 自形을 이루는 것이 많으며, I期의 閃亞鉛石이나 石英片 주위에 II期 黃鐵石과 함께 rim을 이루고 산출되기도 한다. II期 硫砒鐵石의 As atomic%는 29.13~30.84범위이다(Table 2). 方鉛石은 硫砒鐵石과 黃鐵石을 交代하며 산출되는 것이 많다. 큐바나이트는 黃銅石, 磁硫鐵石과 함께 閃亞鉛石내에 포함되거나 石英내에 포함되어 산출된다.

III期의 鑛石 : III期의 鑛石은 方鉛石, 黃鐵石 등이 石英과 함께 I, II期 鑛石의 파쇄된 틈을 채우거나 交代하며 산출된다. 에렉트럼등은 方鉛石내에 微粒으로 포함되어 있다. 특히 II期의 黃鐵石을 III期의 方鉛石과 石英이 절단하

Table 1. EPMA analyses of sphalerite from Deogheun mine(wt. %).

Stage	Fe	Zn	Cu	S	Total	FeS mol%
II	5.05	61.73	0.14	32.72	99.64	8.74
	5.69	61.10	0.12	33.35	100.26	9.83
	5.31	59.81	1.41	33.44	99.97	9.41
	8.59	57.56	0.08	33.40	99.63	14.87
	8.24	58.32	0.26	32.82	99.64	14.19
	4.65	61.77	0.70	33.49	100.61	8.10
	4.92	61.12	0.36	33.20	99.60	8.61
	6.28	60.03	0.03	33.10	99.44	10.91
	5.05	61.19	0.05	32.77	99.06	8.81
	5.40	61.01	0.08	33.05	99.54	9.39
	8.23	58.58	0.02	33.35	100.18	14.12
	7.76	58.74	0.03	34.04	100.57	13.39
	7.18	59.98	0.02	33.61	100.79	12.29
	8.89	57.74	0.00	32.90	99.53	15.27
	9.02	57.40	0.05	32.63	99.10	15.54
III	8.24	58.52	0.05	33.42	100.23	14.15
	3.11	63.86	0.07	33.22	100.26	5.39
	0.94	65.78	0.00	33.17	99.89	1.65
	1.08	65.70	0.01	33.25	100.04	1.89
	2.37	64.07	0.01	33.49	99.94	4.15
	1.27	65.79	0.00	33.47	100.53	2.21
	1.90	64.23	0.31	33.01	99.45	3.35
	3.70	62.19	0.60	33.51	100.00	6.51

Table 2. EPMA analyses of arsenopyrite(wt. %).

Locality	Stage	Fe	As	Co	Ni	S	Total	As atom. %
Deogheun deposits	II	35.70	42.19	0.00	0.01	22.19	100.09	29.72
		36.13	41.56	0.05	0.00	21.87	99.61	29.45
		35.49	42.92	0.02	0.00	20.82	99.25	30.84
		35.76	42.68	0.26	0.00	21.89	100.39	30.10
		36.11	42.28	0.01	0.00	22.15	100.55	29.67
		36.47	41.55	0.06	0.00	21.91	99.99	29.33
		36.29	42.75	0.02	0.00	21.77	100.83	30.04
		35.54	43.19	0.08	0.00	21.81	100.62	30.45
		36.32	41.48	0.05	0.06	22.34	100.25	29.13
		35.52	43.06	0.02	0.01	21.73	100.34	30.16
Beopjeon-A deposits	I	35.92	43.33	0.01	0.03	22.12	101.41	30.37
		35.78	43.28	0.03	0.00	22.77	101.86	30.05
		36.35	43.24	0.00	0.00	22.26	101.85	30.21
	II	35.83	43.02	0.02	0.03	21.61	100.51	30.32
		35.63	41.93	0.02	0.00	23.14	100.72	29.17
		36.19	42.16	0.07	0.01	22.74	101.17	29.17
		35.42	43.23	0.02	0.00	21.74	100.41	30.69
		35.64	42.13	0.03	0.02	22.46	100.28	29.47

는 부위에서는 III期의 方鉛石과 에렉트럼이 II期 黃鐵石이
파쇄된 틈을 충진하거나 交代하여 산출된다. III期 에렉트
럼의 크기는 10~40μ 정도이며, 組成은 45~66 atomic%
Ag 범위이다(Table 3). 에렉트럼의 화학분석은 가속전압
20 kv 조건에서 순금속 Au, Ag 를 표준시료로 하였으며,
Bence and Albee 法(1968)에 의해 Taguchi and Hirowatari
(1976)가 구한 α -factor를 이용하여 보정하였다. 테트라
헤드라이트는前述한 바와 같이 方鉛石내에도 포함되나,
II期 黃鐵石과 閃亞鉛石을 細脈으로 절단하며 산출되기도
한다. III期 閃亞鉛石은 黃銅石의 點滴을 갖지 않으나 閃亞
鉛石의 크기가 작고 量도 적어 육안으로 관찰되지 않는다.
III期 閃亞鉛石의 FeS mol% 는 1.65~6.51로서 II期의
것보다 현저하게 낮은 값을 보인다(Table 1).

IV期의 鑛石 : IV期의 鑛石은 미량의 閃亞鉛石과 黃鐵
石을 갖는 石英-菱망간石 細脈으로,前述한 모든 鑛石을
절단하며 산출된다. IV期의 閃亞鉛石은 黃銅石 點滴을 갖
지 않는다.

法田一A 鑛床의 鑛石

I期鑛石 : I期鑛石은 閃亞鉛石, 硫砒鐵石, 石英, 菱
망간石으로 구성되어 있다. 이 鑛石은 맥벽에서 맥의 중앙을
향하여 石英, 菱망간石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石帶의 順으로
된 繼狀構造를 갖는다(Fig. 2). 閃亞鉛石의 色은 黑褐色이
며 黃銅石, 磁硫鐵石의 點滴과 함께 소량의 硫砒鐵石을
포함한다. I期 閃亞鉛石의 FeS mol% 는 16.16~20.00이며

Table 3. EPMA analyses of electrum(wt. %).

Locality	Au	Ag	Total	N Ag
Deogheun deposits	51.34	49.16	100.50	0.64
	49.20	51.34	100.54	0.66
	68.51	32.27	100.78	0.46
	68.27	30.78	99.05	0.45
	68.66	30.65	99.31	0.45
	67.38	33.34	100.72	0.47
	68.70	31.24	99.94	0.45
	52.22	47.60	99.82	0.62
	53.62	46.76	100.38	0.61
	55.39	45.28	100.67	0.60
Beopjeon-A deposits	63.91	35.24	99.15	0.50
	66.15	33.15	99.30	0.49
	63.13	37.57	100.70	0.52
	65.29	34.92	100.21	0.49
	62.41	36.29	98.70	0.52
	63.93	34.92	98.85	0.50

(Table 4), 硫砒鐵石의 As atomic% 는 30.05~30.37이다
(Table 2).

II期의 鑛石 : II期鑛石은 黃銅石, 黃鐵石, 硫砒鐵石,
閃亞鉛石, 方鉛石, 테트라헤드라이트, 에렉트럼, 石英으로
되어 있다. I期鑛石과 접하는 II期의 黃鐵石과 硫砒鐵石은
I期 閃亞鉛石 주위에 rim 을 이루기도 한다. II期 閃亞鉛
石의 FeS mol% 는 10.00~16.16으로서 I期에 비해 낮다
(Table 4). II期 硫砒鐵石의 As atomic% 는 29.17~30.69
이다(Table 2). 에렉트럼은 II期의 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃
亞鉛石내에 이들 鑛物들의 경계부에서 산출되며, 언제나

Table 4. EPMA analyses of sphalerite from Beopjeon-A deposits (wt. %).

Stage	Fe	Zn	Cu	Mn	S	Total	FeS mole%
I	11.13	55.55	0.01	0.41	33.05	100.15	19.19
	11.32	55.60	0.01	0.40	33.71	101.04	19.00
	11.44	55.11	0.01	0.48	33.63	100.67	20.00
	9.48	56.85	0.06	0.44	33.72	100.55	16.16
	10.87	54.99	0.04	0.42	34.15	100.47	19.39
	10.48	55.77	0.07	0.45	33.49	100.26	18.18
	10.69	56.19	0.01	0.04	34.17	101.10	18.37
	10.81	56.04	0.01	0.29	34.07	101.22	18.18
II	5.75	61.15	0.08	0.10	33.40	100.48	10.00
	7.62	59.25	0.02	0.42	33.37	100.68	13.13
	7.75	59.19	0.00	0.01	34.33	101.28	13.27
	7.03	58.36	0.66	0.20	33.85	100.10	12.50
	9.32	57.29	0.00	0.09	34.00	100.70	16.16
	9.11	56.49	0.00	0.12	33.58	99.30	15.46

方鉛石과 밀접한 수반관계를 갖는다. 에렉트럼의 크기는 $10\sim150\mu$ 정도이고, 組成은 49~52 atomic% Ag 범위이다 (Table 3). 테트라하드라이트는 方鉛石내에 소량 포함되어 있다. Ⅱ期礦物中量으로 가장 많이 산출되는 鑿物은 黃鐵石이다.

Ⅲ期의 鑿物 : Ⅲ期礦物은 石英과 소량의 黃鐵石, 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 方鉛石 등으로 되어있다. Ⅲ期礦物은 脈状으로 I, II期礦物을 절단하며, 脈내에 晶洞을 갖는다.

Ⅳ期의 方解石脈 : Ⅳ期에 형성된 것은 barren 方解石脈으로서, 전술한 모든 期의 鑿物을 절단한다.

鑿物共生關係

鑿物의 構造와 鑿物組成 및 鑿物相互關係 등으로 보아 덕흔金銀礦床과 法田-A礦床의 鑿化作用은 모두 4期에 걸쳐 이루어졌음을 알 수 있다. 이를 각礦床별로 종합하여 보면 다음과 같다(Fig. 3,4).

덕흔金銀礦床의 鑿物共生關係 : I期는 淡黃色 내지 淡褐色의 閃亞鉛石과 소량의 黃鐵石, 方鉛石이 주로 石英과 함께 沈澱한 期이고, II期는 黑褐色 내지 黑色의 閃亞鉛石, base metal 硫化礦物, 菱錳石, 石英의 沈澱期, III期는 石英과 base metal 硫化礦物, 硫鹽礦物 및 에렉트럼의 沈澱期이고, IV期는 소량의 黃鐵石, 閃亞鉛石이 石英과 함께 沈澱한 期이다. 金銀礦化作用은 Ⅲ期에 있었다.

法田-A礦床의 鑿物共生關係 : I期는 硫砒鐵石, 閃亞鉛石, 菱錳石, 石英의 沈澱期이고, II期는 base metal 硫化礦物과 에렉트럼, 石英의 沈澱期이다. Ⅲ期는 소량의 base metal 硫化礦物과 石英의 沈澱期이고 IV期는 方解石脈의 生成期이다. 金屬礦化作用은 I~Ⅲ期에 걸쳐 있었

다. 이중 金銀礦化作用은 Ⅱ期에 있었다.

Minerals \ Stage	I	II	III	IV
Pyrite	—	—	—	—
Arsenopyrite		—		
Sphalerite	—		—	—
Chalcopyrite	---		—	
Pyrrohotite	---			
Cubanite	---			
Galena	—	—	—	
Tetrahedrite			---	
Pyrargyrite			---	
Argentite			---	
Electrum			---	
Quartz	—	---		
Rhodochrosite	---	—	---	

Fig. 3. Paragenetic sequence of minerals from Deogheun mine.

Minerals \ Stage	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV
Pyrite			—	
Arsenopyrite	---	—	—	
Sphalerite	—	—	—	
Chalcopyrite	---	—	—	
Galena		—		
Tetrahedrite	—			
Pyrrohotite	—			
Electrum		—		
Rhodochrosite	—			
Calcite				—
Quartz				

Fig. 4. Paragenetic sequence of minerals from Beopjeon-A deposits.

流體包有物

流體包有物 연구는 덕hon광상의 광석에 대하여는 I期石英과 閃亞鉛石, II期의 石英과 菱鐵礦, III期와 IV期는 石英을 대상으로 하였고, 法田-A 鎌床에 대하여는 I期의 石英과 菱鐵礦, II期와 III期의 石英, IV期의 方解石을 대상으로 하였다. 流體包有物은 대부분이 充填度 70~90% 정도인 液相包有物이나, 덕hon광산의 I, II期 광석에서 充填度 30~40% 정도인 氣相包有物이 液相包有物과 공존하는 것이 있어 鎌化流體의 沸騰이 있었던 것으로 보인다. 두 鎌床에서 산출되는 광석의 流體包有物 중에는 냉각실험 시 소량의 CO_2 를 포함하는 것이 있음을 확인할 수 있고, 특히 덕hon광산의 I期 閃亞鉛石內의 流體包有物에는 실온(18°C)에서 액체 CO_2 相을 관찰할 수 있었다. 流體包有物의 充填溫度와 鹽濃度 측정은 Fluid Inclusion 社의 U.S.G.S. Type Gas-Flow Heating / Freezing System으로 실시하였다.

鹽濃度

덕hon鎌床產 광석중의 流體包有物의 NaCl相當 鹽濃度 (Fig. 5)는 I期石英중의 것이 5.1~8.3 wt.%이고, 액체 CO_2 相을 포함하는 閃亞鉛石 중의 것은 1.6~3.5 wt%로서 石英내의 流體包有物의 鹽濃度보다 낮다. IV期石英중의 流體包有物의 NaCl相當 鹽濃度는 3.4~7.7 wt.%이다.

法田-A 鎌床產 광석중의 流體包有物의 NaCl相當 鹽濃度는 I期 菱鐵礦의 것이 2.8~4.5 wt%로서, 이들은 냉각실험 시 소량의 CO_2 를 포함하고 있음을 확인할 수 있다. II期와 IV期의 石英의 것은 각각 3.6~8.4 wt%, 3.1~8.5 wt% 범위이다.

두 鎌床產 流體包有物의 鹽濃度는 CO_2 를 포함하는 I期의 菱鐵礦과 閃亞鉛石의 것이 石英중의 것에 비해 대체로 낮다.

充填溫度

덕hon鎌床產 광석중의 流體包有物 充填溫度 (Fig. 6)는 I期 閃亞鉛石의 것이 211~248°C, I期石英중의 것이 232~289°C이다. I期石英중에는 鎌化流體의 沸騰證據가 보인다. 沸騰하는 流體를 包有하는 流體包有物의 充填溫度범위는 240~275°C이다. II期의 石英과 菱鐵礦中의 流體包有物의 充填溫度는 각각 205~284°C, 256~290°C 범위이다. II期의 石英과 菱鐵礦中의 流體包有物中에는 鎌化流體의 沸騰이 있었다. 이런 부분의 流體包有物의 充填溫度는 240

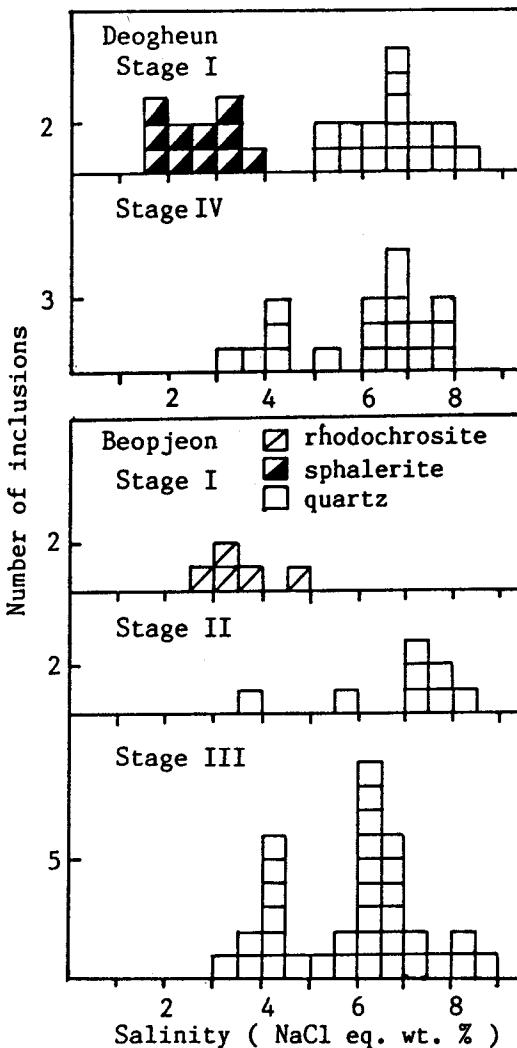


Fig. 5. Salinity of fluid inclusions from Deogheun and Beopjeon-A deposits.

~280°C 범위이다. III期와 IV期의 石英중의 것은 190~260°C, 136~222°C 범위이다.

法田-A 鎌床產 광석의 流體包有物의 充填溫度는 I期 菱鐵礦의 것이 285~305°C, 石英중의 것이 255~276°C, II期石英중의 것이 130~222°C, III期石英중의 것이 148~256°C, IV期 方解石중의 것이 103~134°C이다.

두 鎌床에서 모두 早期에서 末期로 가면서 流體包有物의 充填溫度는 낮아지며, 전 鎌化時期를 통해서 두 鎌床의 流體包有物의 充填溫度범위는 유사하다. 그러나, 주요 鎌石礦物의 沈殿期인 II期와 III期의 流體包有物의 充填溫度는 덕hon광상의 것이 法田-A 鎌床의 것보다 다소 높다.

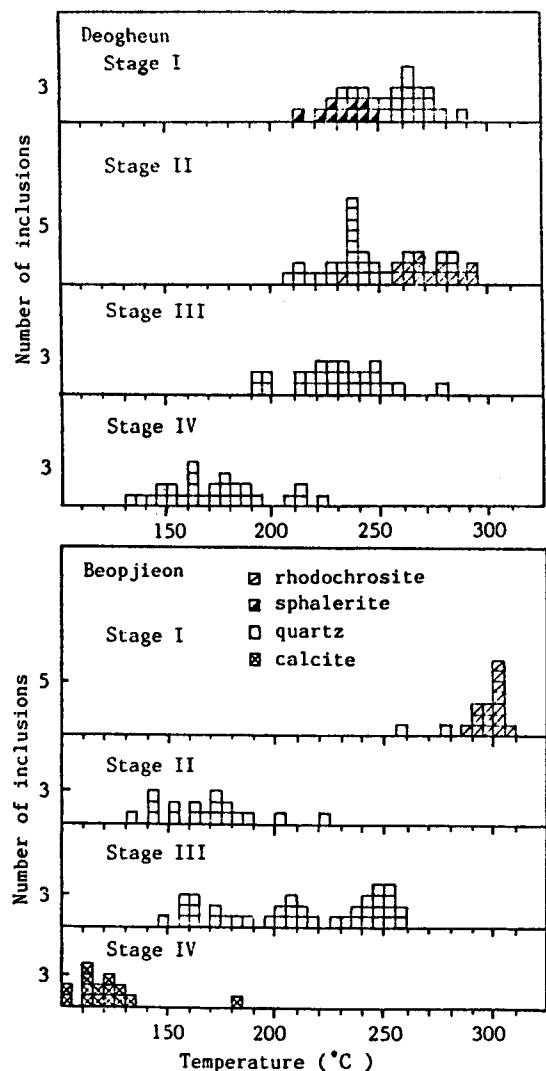


Fig. 6. Filling temperature of fluid inclusions from Deogheun and Beopjeon-A deposits.

考 察

春陽地域에 부존하는 덕흔金銀礦床과 法田-A 矿床에 대하여 앞에서 검토한 내용을 종괄하면 아래와 같다.

두 광상은 모두 春陽花崗岩내에 발달된 N25~35°W系의 열곡을 충진한 脈狀礦床들이다. 矿脈은 4期에 걸친 矿化作用으로 이루어진 複成脈들이다. 矿脈과 접하는 花崗岩은 모두 심하게 絹雲母化되어 있다. 광석은 공통적으로 閃亞鉛石과 方鉛石을 다량 수반하며 일부 織狀構造를 갖는다. 맥석광물은 주로 石英과 菱閃岩石이다. 法田-A 矿床

과 덕흔광상의 주요 金銀礦化作用은 각각 Ⅱ期와 Ⅲ期에 이루어졌다. 에렉트럼은 두 광상에서 모두 方鉛石과 밀접한 수반관계를 가지며, 에렉트럼의 Ag 함량은 대부분이 45~66 atomic %의 범위내에 든다.

流體包有物의 充填溫度는 덕흔광상의 경우 Ⅰ期는 211~289°C, Ⅱ期는 205~290°C, Ⅲ期는 190~260°C, Ⅳ期는 136~222°C이다. 法田-A 矿床의 경우 Ⅰ期는 255~305°C, Ⅱ期는 130~222°C, Ⅲ期는 148~256°C, Ⅳ期는 103~134°C이다.

덕흔광상의 矿化Ⅰ, Ⅱ期에는 矿化流體의 단속적인 沸騰이 있었고, 이 流體가 包有된 流體包有物의 充填溫度는 240~280°C이다. 이 温度는 壓力補正을 요하지 않는 것으로 Ⅰ, Ⅱ期 矿化作用의 온도로 간주할 수 있다. 流體의 沸騰證據를 보이지 않는 流體包有物의 充填溫度에 대하여는 壓力補正을 하여야 생성온도를 구할 수 있다. 그러나 덕흔광상Ⅰ, Ⅱ期의 流體包有物中 沸騰證據를 갖지 않는 것의 充填溫度는 沸騰證據를 갖는 包有物의 充填溫度와 큰 차이를 갖지 않는다. 이는 矿化Ⅰ, Ⅱ期 동안의 矿化流體가 증기압곡선 가까이의 조건에 있었거나 지하 얕은 곳에서 矿化作用이 이루어졌을 가능성이 있음을 뜻한다. 덕흔광상의 Ⅰ, Ⅱ期의 온도가 비교적 낮았을뿐만 아니라, 전체礦石의 구조가 織狀構造, 累被構造 등 中~淺熱水礦床의 광석에서 볼 수 있는 구조를 갖고 있는 것으로 보아, 전체 광화기간 중의 유체포유물의 충진온도에 대한 温度補正值는 크지 않을 것이 예상된다. 따라서 각 광화기의 유체포유물의 充填溫度는 矿床生成溫度와 큰 차이가 없을 것으로 보인다.

Barton and Skinner (1979)가 제시한 黃鐵石과 공생하는 閃亞鉛石의 FeS mol% 와 T-fs₂ 관계식과 流體包有物로부터 추정된 矿床生成溫度를 이용하여 구한 덕흔광상 矿化Ⅱ期의 온도와 유황분압은 205~290°C, 10^{-11.0}~10^{-16.5} bars이고, 矿化Ⅲ期는 190~260°C, 10^{-11.1}~10^{-16.7} bars이다 (Fig. 7).

이밖에도 덕흔광상 矿化Ⅲ期의 矿石에는 黃鐵石, 閃亞鉛石, 에렉트럼, 輝銀石이 산출되나, 이들 광물들이 평형상태에서 공생하는 증거를 확인할 수 없어 이들 矿物共生群을 地質溫度計 (Barton et al. 1964)로 이용하기 어렵다. 덕흔광상과 法田-A 矿床의 矿石중에는 黃鐵石-閃亞鉛石-硫砒鐵石의 矿物共生群이 있으나, 이는 위에 기술한 온도 조건에서는 地質溫度計로 이용하기에 적합치 않다 (Kretschmar & Scott, 1976, Zachary D. Sharp et al., 1985).

덕흔광상 矿化Ⅰ, Ⅱ期의 沸騰證據를 갖는 流體包有物의 充填溫度(240~280°C)와 矿化流體의 평균 NaCl相當 鹽濃度(5wt%)를 Haas (1971)의 NaCl-H₂O 계의 자료에 적용

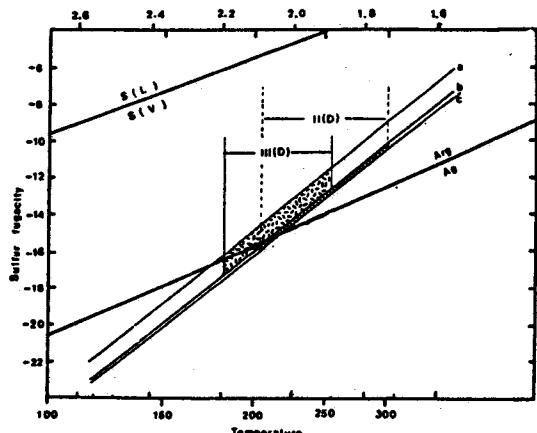


Fig. 7. Sulfur fugacity-temperature diagram showing the possible range suggested by sphalerite FeS composition and filling temperature of Deogheun ore deposits

Sulfidation curves are from Barton and Skinner (1979).

II(D); filling temperature of stage II

III(D); filling temperature of stage III

FeS mole fraction

a ; 0.02 b ; 0.07, c ; 0.16

하여 보면 $P_{\text{total}} = P_{\text{hydrostatic}}$ 일때의 壓力은 30~60 bars 이고, 이때의 深度는 350~720 m 가 된다. 이 深度에서의 $P_{\text{total}} = P_{\text{lithostatic}}$ 일때의 壓力은 90~190 bars 로 추정된다. 이 壓力은 덕흔광상 鎌化 I, II期에 가해진 예상 壓力의 最大值로서, 실제는 30~190 bars 사이의 壓力條件이었을 것으로 생각된다.

덕흔광상 鎌化 I, II期의 沸騰證據를 보여주는 流體包有物中에는 CO_2 를 포함하는 것이 관찰된다. 따라서 이 시기의 鎌化流體는 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 系의 것이었을 것으로, 이 기간중의 鎌化流體의 壓力과 深度는 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 系의 자료에서 구한 위의 값보다 더 클 것으로 예상된다(Loucks, 1984).

法田-A 鎌床은 전술한 바와 같이 鎌脈으로 充填된 열극, 鎌脈의 산출상태, 광석의 구조와 광물조성, 유체포유물의 충진온도와 염농도 등이 덕흔광상의 것과 유사하다. 그러나 유체포유물에서 沸騰證據를 확인할 수 없고, 광물공생군으로서도 정량적인 온도, 압력을 추정하기에 적합하지 않다. 따라서 광화환경에 대한 정량적인 고찰은 여기서는 유보하기로 한다.

이상에서 검토된 덕흔, 法田-A 鎌床의 生成條件을 같은 奉化金銀鎌床區內의 多德鎌山 楓井脈群의 그것과 비교하여 보면 아래와 같다.

多德鎌山 楓井脈은 덕흔, 法田-A 鎌床과 같이 花崗岩내에 배치된 脈狀鎌床으로, 4期에 걸친 鎌化作用으로 생성된 複成脈으로 되어있고, 閃亞鉛石, 方鉛石을 다량으로 수반하며, 脈石鎌物은 주로 石英과 菱鐵礦等이다. 에렉트럼의 Ag 함량도 세 鎌床이 모두 44~66 atomic% 범위이다.

그러나, 金銀鎌物로서 덕흔광상에서는 에렉트럼, 輝銀石, 濃紅銀石이 產出되고, 法田-A 鎌床에서는 에렉트럼만이 產出되나, 楓井脈에서는 위의 鎌物 이외에도 自然銀, 포리바사이트, Ag-Cu-Fe-S 系 鎌物이 소량 產出된다. 楓井脈에 比하여 덕흔, 法田-A 鎌床에서 金銀鎌物의 種類가 적은 까닭은 1) 鎌化作用의 物理化學的 條件(鎌化流體의 組成, 온도, pH, 유황분압등(Henley, 1973; Seward, 1984; Cole & Drummond, 1986))의 차이 2) 楓井脈이 다른 鎌床에 비하여 더 많이 개발되어 있고, 手選精鎌 더미가 있어 高品位鎌石試料를 채취할 수 있었는데 비하여, 덕흔, 法田-A 鎌床에서는 실제로 더 많은 종류의 鎌石鎌物이 產出되었다 하더라도 鎌石試料 채취의 제한성 때문에 기재하지 못하였을 가능성, 3) 鎌床生成후의 침식정도의 차이에 기인할 가능성 등이 있으나, 여기서는 위의 어느 조건에 기인하는지 확실치 않다.

위의 세 광상에서 산출되는 에렉트럼의 化學組成은 거의 같은데 비하여, 이들 에렉트럼과 공생하는 閃亞鉛石의 化學組成은 楓井脈에서는 0.1~0.7 mol% FeS, 덕흔광상에서는 1.65~6.51 mol% FeS로서 광상에 따라 차가 있다.

楓井脈 金銀鎌化期의 流體包有物 充填溫度(239~310°C)와 NaCl 相當 鹽濃度(5.1~12.8 wt%)는 덕흔, 法田-A 鎌床의 것보다 높다. 楓井脈의 流體包有物의 充填溫度는 鎌石중의 閃亞鉛石-黃鐵石-輝銀石-에렉트럼 鎌物共生群의 相平衡관계 자료를 가지고 구한 온도(208~298°C)와 대체로 같은 범위를 갖는다(朴等, 1988). 이는 流體包有物이 鎌化流體의 증기압곡선 가까이의 條件에 있었던 것이 包有되었거나 鎌物生成深度가 지표에서 깊지 않은 곳이었을 가능성이 있음을 뜻한다. 만일에 前者の 경우였다면 비록 鎌化流體의 沸騰證據가 없다고 하여도 沸騰點 가까이에 있어 $P_{\text{total}} = P_{\text{hydrostatic}}$ 였다면, NaCl 相當 鹽濃度 10wt%의 鎌化流體가 310°C 부근에서 沸騰하자면 Haas(1971)의 자료에 따른 壓力은 $P_{\text{total}} = P_{\text{hydrostatic}}$ 일때 90 bars, 深度 1050 m 가 된다. 한편, 이 深度에서 $P_{\text{total}} = P_{\text{lithostatic}}$ 일때의 壓力은 280 bars 였을 것이다. 광화기간중에 실제로 가해진 壓力은 90~280 bars 사이였을 것이다. 따라서 楓井脈의 金銀鎌化期의 P-T 條件은 전술한 春陽부근의 덕흔광상의 그것보다 모두 높았음을 알 수 있다.

奉化金銀礦床區內의 花崗岩底盤에 배태된 金銀礦脈들은 春陽花崗岩과 成因의으로 관계가 있는 深~中熱水礦床일 것으로 생각되어 왔다(Kim, 1971, Kim, 1986). 그러나 矿床의 K-Ar 年齡은 84~93 Ma (朴等, 1988)로서 春陽花崗岩의 年齡과는 判異하다. 矿脈도 矿化溶液의 polyascending에 의하여 형성된 複成脈으로서 矿石의 構造도 共通的으로 級狀構造, 級被構造를 가지며, 矿床의 生成溫度도 103~310°C 범위로서 中~淺熱水礦床일 것으로 생각된다.

奉化金銀礦床區內에서도 春陽 부근의 德흔, 法田-A 矿床보다 西쪽의 多德礦山 枫井脈이 矿床生成의 P, T 條件과 矿化流體의 鹽濃度가 모두 약간 높은 경향을 갖는다.

結　　言

1. 春陽地域의 德흔, 法田-A 矿床은 花崗岩體內에 N25~35°W 계裂을 充填한 脈狀礦床이다.
2. 두 矿床에서의 矿化作用은 4期에 걸쳐 이루어졌고, 주요 金銀礦化作用은 法田-A 矿床은 II期, 德흔광상은 III期에 있었다.
3. 두 矿床에서 產出되는 金銀礦物은 에렉트럼과 소량의 輝銀石, 濃紅銀石이다. 에렉트럼의 Ag 함량은 대부분 45~66 atomic % 범위이다.
4. 矿石礦物의 沈澱期間중의 流體包有物의 充填溫度, NaCl相當 鹽濃度, f_{S_2} 의 전체범위는 각각 德흔광상의 경우 190~290°C, 1.6~8.3 wt%, $10^{-8.1} \sim 10^{-16.7}$ bars이며, 法田-A 矿床의 경우는 103~305°C, 2.8~8.5 wt%이다. 이 중 金銀礦化作用時의 温度, f_{S_2} 는 德흔광상의 경우 190~260°C, $10^{-11.1} \sim 10^{-16.7}$ bars이고, 압력조건은 30 bars에서 190 bars 사이였을 것으로 추정된다.
5. 德흔礦床과 法田-A 矿床을 비롯한 奉化金銀礦床區內의 金銀礦床은 中~淺熱水礦床일 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

- 大韓礦業振興公社(1978, 1983). 矿床調査報告書.
朴喜寅, 崔錫源, 李相善(1988) 多德礦山 枫井脈의 金銀礦化作用, 矿山地質, Vol. 21, p. 269~276.
孫致武, 金洙鎮(1963) 春陽地質圖幅 說明書, 國立地質調查所.

- Barton, P. B., Jr., and Skinner, B. J.(1979) Sulfide mineral stabilities, in Barnes, H. L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits. New York, John Wiley and Sons, p. 278~403.
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. et Cosmochim Acta, Vol. 28, p. 619~640.
Bence, A. E. and Albee, A. L.(1968) Empirical correction factors for electron microanalysis of silicates and oxides. Jour. Geol., Vol. 76, p. 382~403.
Cole, D. R., and Drummond, S. E.(1986) The effect of transport and boiling on Ag / Au ratio in hydrothermal solutions: A preliminary assessment and possible implications for the formation of epithermal precious-metal ore deposits. Jour. Geochemical Exploration, Vol. 25, p. 45~79.
Haas, J. L.(1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Econ. Geol., Vol. 66, p. 940~946.
Henley, R. W.,(1973) Solubility of gold in hydrothermal provinces of solutions. Chem. Geol., Vol. 11, p. 73~87.
Kim, O. J.(1971) Metallogenic epochs and provinces of South Korea Jour. of Korea Inst. Mining Geol., Vol. 7, p. 37~59.
Kim, W. J.(1986) Metallogeny on gold-silver in South Korea. Jour. of Korea Inst. Mining Geol., Vol. 19, p. 243~264.
Kretschmar, U., and Scott, S. D.(1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their applications. Can. Min., Vol. 14, p. 364~386.
Loucks, R. R.(1984) Zoning and ore genesis at Topia, Durango, Mexico. Unpublished Ph. D. thesis, Harvard, p. 416.
Quinn, E. L., and Jones, C. L.(1936) Physical properties of carbon dioxide, in carbon dioxide. American Chemical Society Monograph Series, New York, Reinhold Publishing Co, p. 34~112.
Seward, T. M.(1984) The transport and deposition of gold in hydrothermal systems. Geol. Soc. Zimbabwe spec. pub., p. 165~181.
Taguchi, S., and Hirowatari, F.(1976) Quantitative electron microanalysis of electrum by Bence and Albee method. Jour. Min. Soc. Japan, Vol. 12, Special Issue, p. 82~85.
Zachary D. Sharp, Eric J. Essene and William C. Kelly, (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: Pressure considerations and applications to natural assemblages. Can. Min., Vol. 23, p. 517~534.