

富平鑛山の 銀鑛石과 選鑛産物

朴喜寅* · 朴魯榮** · 徐圭植*

Silver Ore and Floatation Products from the Bupyeong Mine

Hee-In Park, No Young Park and Kyu Shik Suh

Abstract: The Bupyeong Silver mine which is located approximately 35km west of Seoul is currently the leading silver producer in Korea. The deposits occur as stockwork deposits hosted in Jurassic pyroclastic rocks.

Occurrences of ore deposits and mineral paragenesis suggest a division of mineralization into four stages: Stage I, deposition of iron oxide and base metal sulfides; Stage II, deposition of tin oxide and silver minerals; stage III, deposition of native silver and other silver minerals; Stage IV, formation of pyrite bearing siderite veinlets. Silver minerals in ore are native silver, argentite, freibergite, pyrargyrite, canfieldite, polybasite, dyscrasite and Ag-Fe-S mineral. The most important silver mineral is native silver among them. Chemical composition of important silver minerals were determined by electron probe microanalyser.

Assay, size and modal analyses for floatation products were carried out. In floatation products, relative proportion of native silver for total important silver minerals have following ranges: feed, 64.7 to 74.74 wt.%; A-cleaner concentrate, 80.58 to 98.79 wt.%; and final tailing, 28.12 to 72.57 wt. %. Average degree of liberation for native silver in feed and A-cleaner concentrate are 60.49% and 77.57% respectively. Negative relationship can be recognized between native silver and argentite in their abundance and behavior in floatation processes.

序 言

富平銀鑛山은 1964년에 銀을 生産하기 始作한 以來 1984年末까지 約 420t의 銀을 生産하였으며 現在도 年間 35t의 銀을 生産하고 있어 國內의 年間 銀 總生産量의 約 70%을 차지하고 있다. 富平銀鑛床은 中生代의 火山碎屑岩體內에 胚胎된 網狀細脈型의 鑛床으로 品位는 낮으나 規模가 큰 것이 特徵이다. 이와 같은 種類의 銀鑛床은 國內에서 아직 그 類型을 찾아 볼 수 없는 特異한 成因型의 鑛床이다. 鑛石도 肉眼으로는 母岩과 識別하기가 어려워 探鑛指針을 樹立하기도 容易하지 않다. 鑛石의 處理過程에 있어서도 한때는 選鑛實收率이 낮아 여러가지 檢討를 繼續하여 온 結果 近來에 큰 成果를 거두게 되었다.

이 鑛床에 대하여는 朴魯榮, 鄭敬植(1968), 申明植

(1970), 南野(1971), 徐圭植(1986) 등의 研究가 있다.

鑛石의 選鑛工程産物에 대하여는 前田(1981)의 檢討 報告와 함께 몇 會社의 試驗報告(LKAB International AB, 1983, American Cyamid, 1984)가 있다. 이와 같은 報告는 모두가 浮選原鑛과 綜合尾鑛에 대한 粒度別 銀品位分布와 鑛物成分의 一部를 檢討하였을 뿐 浮選原鑛, 浮選精鑛과 尾鑛사이의 鑛物組成에 대한 定量的인 檢討는 하지 않고 있다.

이 研究에서는 먼저 鑛床의 產出狀態, 鑛石의 鑛物 組成, 主要 銀鑛物의 化學組成, 鑛物共生關係를 檢討한 後 浮選原鑛, A-精選精鑛과 各種尾鑛에 대한 粒度別 銀品位分布와 모오드組成을 定量하여 1) 浮選過程에서 銀鑛物의 種類에 따른 浮選舉動의 差가 顯著한가. 2) 磨鑛의 程度는 適切한가에 대한 應用鑛物學의 考察을 하여 보았다.

이 研究를 함에 있어 有益한 忠言을 하여 주신 永豐 鑛業株式會社 研究室의 韓景인部長에 深甚한 感謝를

* 서울大學校 地質科學科

** 韓國動力資源研究所

드린다. 室內研究를 도와준 永豐鑛業研究室의 張楠植과 서울大學校大學院 地質科學科의 金惠來에게 謝意를 表한다. 이 研究는 1984年度 學術振興財團의 研究費로 이루어졌음을 銘記하고 이에 謝意를 表하는 바이다.

地質 概要

富平地域의 地質은 先カン브리아時代의 變成岩類와 中生代의 火成岩類로 構成되어 있다. 先カン브리아時代의 變成岩類는 京畿片麻岩複合體에 屬하는 片麻岩과 片岩類로 되어 있다. 中生代火成岩類는 火山碎屑岩類, 貫入角礫岩, 花崗岩類, 珪長質斑岩類와 中性-鹽基性 脈岩類로 되어있다.

火山碎屑岩類는 主로 流紋岩質 溶結凝灰岩으로 되어 있고 京畿片麻岩複合體를 덮으며 環狀構造를 이루는 山陵에 分布한다(Fig. 1). 貫入角礫岩은 火山碎屑岩類를 岩脈으로나 파이프狀으로 貫入하고 있다. 花崗岩類는 火山碎屑岩類를 貫入하며 環狀構造內側의 中央低地帶에 廣範하게 分布하고 一部는 環狀構造 外廓에도 貫

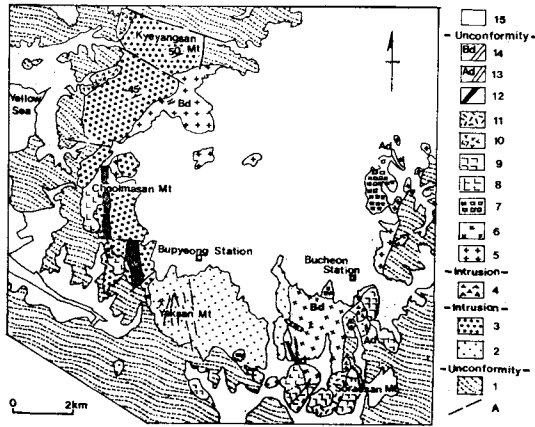


Fig. 1 Geologic map of the Bupyeong district.

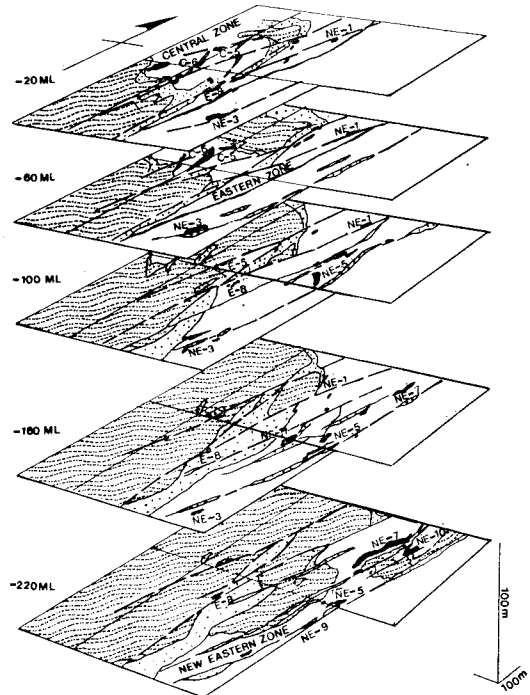
1. Gyeonggi gneiss complex
2. Yaksan welded tuffs
3. Kyeyangsan welded tuffs
4. Intrusive breccias
5. Medium grained biotite granite
6. Porphyritic biotite granite
7. Hornblende-biotite granite
8. Pink feldspar granite
9. Leucocratic granite
10. Granophyre
11. Feldspar porphyry
12. Intrusive rhyolite
13. Acidic dikes
14. Intermediate to basic dikes
15. Alluvium
- A. Fault

入하고 있다. 珪長質斑岩類는 環狀構造의 外廓境界를 이루는 斷層을 따라 花崗岩類를 貫入하고 있다. 中性-鹽基性脈岩類는 위의 모든 岩石을 岩脈으로 貫入하고 있다.

이 地域에는 環狀斷層 以外에도 放射狀斷層이 發達하며 特히 富平鑛山 附近에는 N5W에서 N15E 走向의 여러 斷層이 發達한다.

環狀構造 內側과 東側에서 火山碎屑岩類를 貫入하는 花崗岩中の 黑雲母의 K-Ar 年齡은 162~148±7Ma (Kim, 1971; 徐, 1986)로서 侏羅紀에 屬하고 貫入流紋岩의 K-Ar 年齡은 121±6Ma로서 白堊紀 初에 屬한다. 따라서 위의 花崗岩類에 의하여 貫入된 火山碎屑岩類의 噴出時期는 적어도 侏羅紀 이거나 그 以前일 것으로 보인다.

이 地域의 環狀構造, 火成岩類의 岩石化學的 및 年代學的 特徵과 其他 地質構造上의 特徵으로 보아 이 地域



- Metamorphic rocks
- Intrusive breccia
- Basic dyke
- Pyroclastic rocks
- Silver orebody (>100g/t Ag)
- Fault

Fig. 2 Map showing underground geology and distribution of ore bodies in four levels.

Number indicates name of ore body in each zone.
C; Central, NE; New eastern, E; Eastern

Table 1 Wall rocks, loci, sizes and abundance of associated ore minerals in silver orebodies, the Bupyeong mine.

Mineralized zone	Central zone	Eastern zone		New Eastern zone		
Name of orebody	C-5 to C-6	E-5	E-8	NE-3	NE-5 and NE-9	NE-7
Wall rocks	Pyroclastic rock	Pyroclastic rock	Intrusive breccia and pyroclastic rock	Pyroclastic rock	Pyroclastic rock	Pyroclastic rock
Loci of orebody (Structural control)	Along N15°E and N25°W striking fault	Along N 15° E-striking faults	Along N5°W striking fault (Yaksan fault)	Along N15°E striking fault (Kyeongin fault)	Along NS-striking fault and upper part of unconformity plane	Along NS-striking fault and upper part of unconformity plane
Sizes						
Max. width (m)	30	20	50	15	45	50
Max. Length(m)	430	60	170	130	220	250
Max. height (m)	100	50	380	170	200	200
Developed level						
Top	surface	-90ML	surface	-20ML	-100ML	-100ML
Bottom	-80ML	-140ML	-340ML	-190ML	-300ML	-300ML
Amount of ore minerals associated with silver orebody	Moderate amount of galena	Poor amount of sulfide minerals	Abundant sulfide minerals	Moderate amount of galena	Poor amount of sulfide minerals	Scarse

C-5 to C-6: Central number 5 to 6 orebodies. E-5 and 8: Eastern number 5 and 8 orebodies. NE-3, 5, 7, and 9: New Eastern number 3, 5, 7 and 9 orebodies.

의 火成活動은 resurgent caldera 活動에 隨伴된 것이 라 한다(徐, 1986).

鑛 床

富平銀鑛床은 주로 火山碎屑岩類와 貫入角礫岩內에 網狀細脈으로 胚胎되어 있다. 鑛石은 肉眼으로 銀鑛物을 觀察할 수 있는 경우가 매우 드물고 少量 產出되는 硫化鑛物의 種類, 量과 銀品位와도 一定한 關係가 없어 肉眼으로 鑛石을 區分하기란 매우 어렵다. 따라서 鑛山에서는 坑道나 試錐코아에서 一定間隔으로 試料를 採取하여 銀品位가 100g/t Ag 以上되는 部分을 鑛石으로 取扱하고 있다. 鑛體는 實際로 微細한 裂罅를 充填한 1mm 未滿에서 數 cm의 두께를 갖는 網狀細脈의 密集部로서 板狀, 파이프상 塊狀등의 形態를 갖는다. 이와 같은 鑛體는 走向이 N5W~N15E와 N25~40W인 斷層附近이나, 火山碎屑岩類와 基盤岩類와의 不整合面附近의 火山碎屑岩과 貫入角礫岩內에 胚胎되어 있다. 이 鑛山에서는 銀鑛體의 分布를 基準으로 하여 鑛化帶를 中部, 東部 및 新東部鑛化帶로 區分하고 있다 (Fig. 2). 各鑛化帶內 主要 鑛體의 母岩, 胚胎場所의 地質構造, 鑛體의 크기, 胚胎深度와 그 밖의 特徵들을 要約하면 Table 1과 같다. 鑛床周邊의 母岩은 比較的 넓은 範圍에 걸쳐 珪化, 水長石-綠泥石化 및 絹雲母化 되어 있다. 이와 같은 여러 種類의 母岩變質作用은 鑛

化作用에 先行하여 이루어진 것이 大部分으로 鑛體의 輪廓과 特定變質帶의 輪廓이 一致하지는 않는다. 그러나 鑛體가 變質作用을 받지 않은 母岩中에 胚胎되는 경우는 없어 母岩變質帶는 鑛化帶에 대한 指示者役割을 한다. 鑛石鑛物을 包含하는 網狀細脈 周邊의 母岩은 좁은 幅으로 柘榴石-綠泥石(水長石)化, 粘土鑛物化 되어 있다.

鑛石構成鑛物과 鑛物共生關係

鑛石構成鑛物

Table 2는 富平鑛山에서 產出되는 鑛石構成鑛物의 種類와 鑛化帶別로 產出되는 鑛石鑛物의 相對的인 量比를 나타낸 것이다. 東部鑛化帶에 硫化鑛物이 比較的 많이 產出되고 中部鑛化帶와 新東部鑛化帶 南部에서 銀富鑛部에 方鉛石이 多少 많이 產出됨을 알 수 있다.

銀鑛物의 種類와 化學組成

富平鑛山에서 產出되는 銀鑛物로는 自然銀, 輝銀石, 濃紅銀石, 프라이버자이트, 포르리사이트, 켈필다이트, 다이스크라사이트와 鑛物名이 確定되지 않은 Ag-Fe-S系鑛物 등이 있다. 이 中 量的으로 보아 가장 重要한 것은 自然銀이다. 自然銀과 그 밖에 主要, 銀鑛物인 輝銀石, 濃紅銀石, 프라이버자이트의 EPMA로 分析한 化學組成은 Table 3과 같다.

Table 2 Comparative mineral abundance of the mineralized zones, the Bupyeong mine.

Ore Minerals	Central Mineralized Zone (Minamino, 1972)	Eastern Mineralized Zone	New Eastern Mineralized Zone	
			Southern part	Northern part
Ilmenite	X			
Magnetite	X	XXX	XX	X
Rutile		X		
Arsenopyrite	X	XX		X
Electrum		X		
Pyrite	XX	XXXXX	XX	X
Pyrrhotite	XX	XXXXX	XX	XX
Sphalerite	XX	XXXXX	XXX	XX
Marcasite	XX	XXX	XX	X
Chalcopyrite	X	XX	X	X
Cassiterite	X	X		
Stannite		X		
Galena	XXX	XXXX	XXX	XX
Canfieldite	X	X	X	X
Polybasite		X	X	X
Tetrahedrite-freibergite		X	X	X
Pyrargyrite	X	X	X	X
Argentite	X	X	X	X
Dyscrasite		X		X
Native silver	XX	X	XX	XX
Digenite		X		
Chalcocite		X		

* XXXXX=very abundant XXXX=abundant
 XXX=moderate XX=minor
 X=trace

鑛物共生關係

위의 table 2에 表示된 鑛物들은 모두 網狀細脈內에 서나 細脈周邊 母岩에 散點狀으로 產出되는 것들이다. 이들 網狀細脈들에는 서로 끊고 끊기는 關係를 나타내고 있어 鑛化作用은 적어도 4期에 걸쳐 이루어 졌음을 알 수 있다. 各鑛化期의 鑛石中 局部的인 破碎作用이나 交代作用을 나타내는 構造나 組織이 認知될 경우 鑛化期를 다시 A, B期로 細分하여 鑛物共生關係를 樹立하여 보면 Fig. 3과 같다. 이 그림에서 보여지는 바와 같이 1期은 Fe-Ti-O系의 酸化鑛物과 Cu-Fe-Zn-Sn-S系의 硫化鑛物의 主要晶出期로서 脈石鑛物로 石英, 方解石 柘榴石, 透角閃石-陽起石의 晶出期이다. 2-A期은 Sn-O, Fe-O, Cu-Fe-Zn-Sn-S, Ag-Sn-S, Ag-Fe-S系 鑛物과 菱鐵石의 晶出期로서 1期의 磁硫鐵石이 自鐵石化된 期이다. 2-B期은 方鉛石의 主要 晶出期로서 方鉛石에 隨伴하여 Cu-Ag-Fe-Zn-Sb-S Ag-

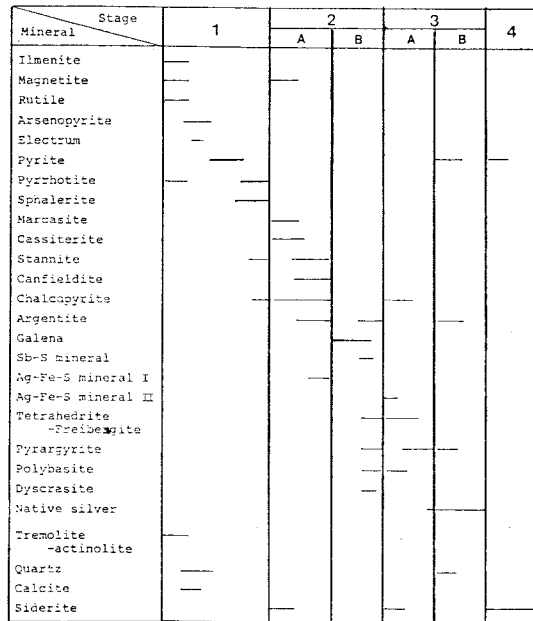


Fig. 3 Paragenesis of ore and gangue minerals in the Bupyeong silver deposits.

Table 3 EPMA analysis of silver minerals.

Minerals	Location	Associated minerals	Weight percent													Total
			Ag	Au	Sn	As	Sb	Bi	Cu	Fe	Zn	Cd	Mn	S	Se	
Native Silver	E-8 orebody (-100ML)	Py.	99.77	0.02	0.03	0.24	0.31	0.80	—	—	—	0.85	—	0.04	0.39	100.72
	NE-5 orebody (-250ML)	Fr. Pyr.	96.68	0.08	—	0.04	—	0.14	0.04	0.22	0.21	0.64	0.02	0.08	0.07	98.22
			96.24	—	—	0.12	—	—	0.23	0.16	0.12	0.03	0.16	0.07	—	97.58
Argentite	SD-7 orebody		87.39				—	—	—	0.13				12.48	100.00	
	"		87.57				—	—	—	—				12.43	100.00	
	"		85.34				—	—	—	1.47				13.19	100.00	
Tetraehedrite-Freibergite	NE-5 orebody (-250ML)	Pyr. Cp.	1.99				28.44		37.36	3.87	2.33			25.32	99.31	
	"	"	0.60				29.91		37.31	5.11	1.52			25.82	100.27	
	"		1.94				28.32		37.29	3.97	2.11			25.29	98.92	
	"	Fine lamillae with Cp	26.51		0.07	0.04	24.60	0.09	17.97	7.13	0.68	0.20		20.84	98.13	
	"		28.80		0.09	0.08	24.81	—	16.20	5.78	1.62	0.18		20.68	98.24	
	NE-11 orebody (-160ML)	Sid. Vein	30.57				26.04		15.23	0.75	8.60			19.19	100.37	
NE-7 orebody (-160ML)	Gn.	31.77				27.10		14.60	1.06	5.26			18.50	98.28		
	Gn.	36.46				25.94		12.31	5.39	—			19.35	99.45		
			36.34				26.10		12.45	5.94	—		19.54	100.37		
Pyrargyrite	E-11 orebody (-220ML)	Gn.	58.23				22.99		—	—			16.69	98.21		
	NE-5 orebody (-260ML)	Fr. Cp.	59.45				22.94		—	—			17.82	100.21		
			58.32				22.16		0.98		0.91		17.52	99.89		

Abbreviation; Py=Pyrite, Fr=Freibergite, Pyr=Pyrrargyrite, Cp=Chalcopyrite, Sid=Siderite, Gn=Galena

Sb-S系 鑛物이 晶出된 期이다. 3-A期은 Cu-Ag-Fe-Zn-Sb-S 및 Ag-Sb-S系 鑛物과 菱鐵石의 晶出期로서 微量의 自然銀도 이 期에 晶出하였다. 3-B期은 自然銀의 主要晶出期로서 少量의 Ag-Sb-S系 鑛物과 石英의 晶出期이다. 4期은 위의 모든 期의 鑛物들을 鏽는 菱鐵石을 갖는 菱鐵石脈의 晶出期이다.

위의 鑛物共生關係에서 銀鑛物은 모두 2期과 3期에 晶出된 것임을 알 수 있다. 이들 銀鑛物은 2-A期에 Ag-S Ag-Sn-S系 鑛物이 優勢하였고 3-B期에 自然銀의 大部分이 晶出한 特徵을 갖는다. 2-B, 3-A期에는 Ag-S, Ag-Sb-S, Cu-Ag-Fe-Zn-Sb-S系 鑛物이 特徵的으로 晶出하였음을 엿볼 수 있다.

選鑛産物

試料

富平鑛山の 選鑛回路를 簡略하게 表示하면 Fig. 4와 같다. 銀精選은 3段階에서 이루어지고 있다. 選鑛産物에 대한 試料는 1985年 4月 25日 10:00~17:35 사이에

採取한 것으로 浮選原鑛, A粗選尾鑛, A精選精鑛, A精選尾鑛과 綜合尾鑛等 5種類이다. 이 鑛山의 精鑛全體의 Ag 金屬量中 A精選精鑛이 차지하는 比率이 平均 89±3%이라 한다. 따라서 精鑛에 대하여는 一次的으로 A精選精鑛만을 檢討對象으로 하여 보았다. 試料는 Fig. 4에 表示된 各場所에서 90分間隔으로 5回씩 取하였고 每回試料는 10秒間隔으로 5分間 取한 것을 合하여 하나로 하였다. 綜合尾鑛試料는 deslime 尾鑛, B粗選尾鑛, middling 2次 cyclone의 overflow를 各各 15:70:15의 比率로 混合한 것이다.

粒度 分析

粒度分析에 使用한 篩는 ASTM標準篩이고 -400 메슈 試料의 粒度分析에는 cyclosizer (Warman 會社製)를 使用하였다. 各試料의 粒度分布는 Fig. 5와 같다. cyclosizer로 處理할 경우 試料의 比重에 따라 各 cone에 걸리는 粒度는 다르게 된다. 여기서는 ASTM篩로 分析한 것과 함께 나타내기 爲하여 表現의 便宜上 25~17μm의 것을 600 메슈로 12~9μm의 것을 1,100 메슈

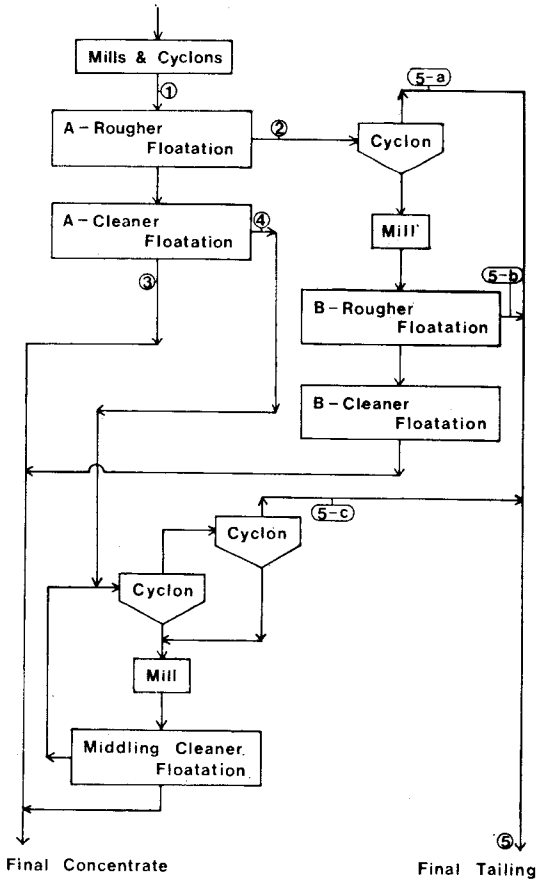


Fig. 4 Simplified ore processing circuit in the Bupyeong silver mine. Number indicates sampling site.

로 表示하기로 하였다.

粒度가 -400 멧슈의 것이 浮選原鑛에서는 45.4%, A粗選尾鑛에서 37.9%, A精選精鑛에서 57%, A精選尾鑛에서 80.6%이고 綜合尾鑛에서 55.9%나 차지함을 알 수 있다(Fig. 5).

銀品位와 金屬 Ag 分布

各試料의 粒度別 銀品位와 金屬 Ag分布率(%)은 各 各 Fig. 6 A,B, Fig. 7과 같다. 銀品位分析은 캐나다의 TSL(Technical Service Laboratory)에서 實施하였다.

浮選原鑛試料의 平均 Ag 品位는 164.87g/t으로 粒度別로 보면 400~600 멧슈에서 가장 높고 A精選精鑛試料의 平均品位는 11,437.99g/t이고 粒度別로는 +100 멧슈에서 22,052g/t으로 가장 높으나 粒度가 작아짐에 따라 漸次 낮아지다 600~1,100 멧슈에서 反轉함을

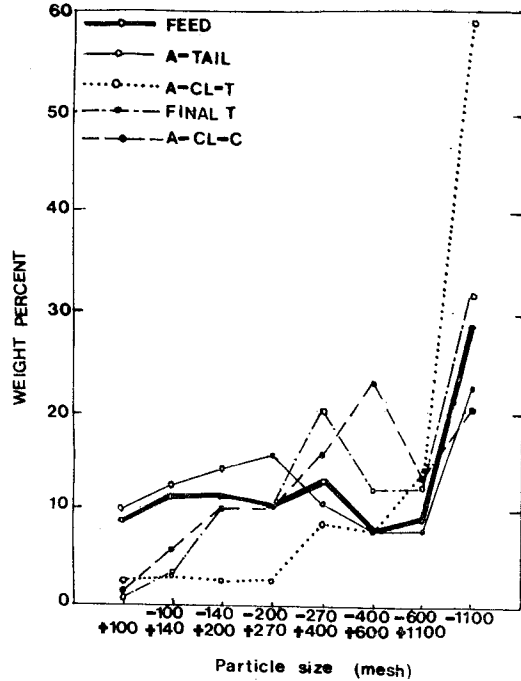


Fig. 5 Particle size distribution of flotation products.
 CL: Cleaner T: Tail
 C: Concentrates A-T: A rougher tail

알 수 있다. A精選尾鑛에서는 粒度가 작아짐에 따라 品位는 낮아지며 特히 -600 멧슈에서 急激히 낮아진다(Fig. 6 A,B). 粒度에 따른 Ag分布率을 보면 浮選原鑛에서는 270~600 멧슈에서 39%로 가장 높고 A粗選尾鑛에서는 100~270 멧슈에서 54.5%를 차지한다(Fig. 7). A精選尾鑛의 Ag分布率은 200~270 멧슈에서 가장 높고 綜合尾鑛에서는 270~600 멧슈에서 39.1%로 가장 높다. 한便 A精選精鑛에서는 粒度가 작아짐에 따라 分布率은 緩慢히 上昇하며 -400 멧슈의 것이 64.2%나 차지한다.

mode 組成

+600 멧슈의 各選鑛產物의 粒度別 試料의 研磨面을 만들어 Hausen(1972)의 gross-count法으로 모오드組成을 求하였다. -600 멧슈의 것은 特히 middling particle을 顯微鏡下에서 鑛物鑑定하기 어려움으로 이번에는 除外하였다. 各試料에 대하여 粒子數는 浮選原鑛이 약 43,000個, A精選精鑛이 5,500~6,000個, 其他試料는 大體로 21,000~23,000個 程度이다. 鑛物이 單體分離되지 않는 粒子에 대하여는 各 鑛物의 占有面積比로 求하였고 鑛物의 重量 百分率은 鑛物個數에 그 鑛物의

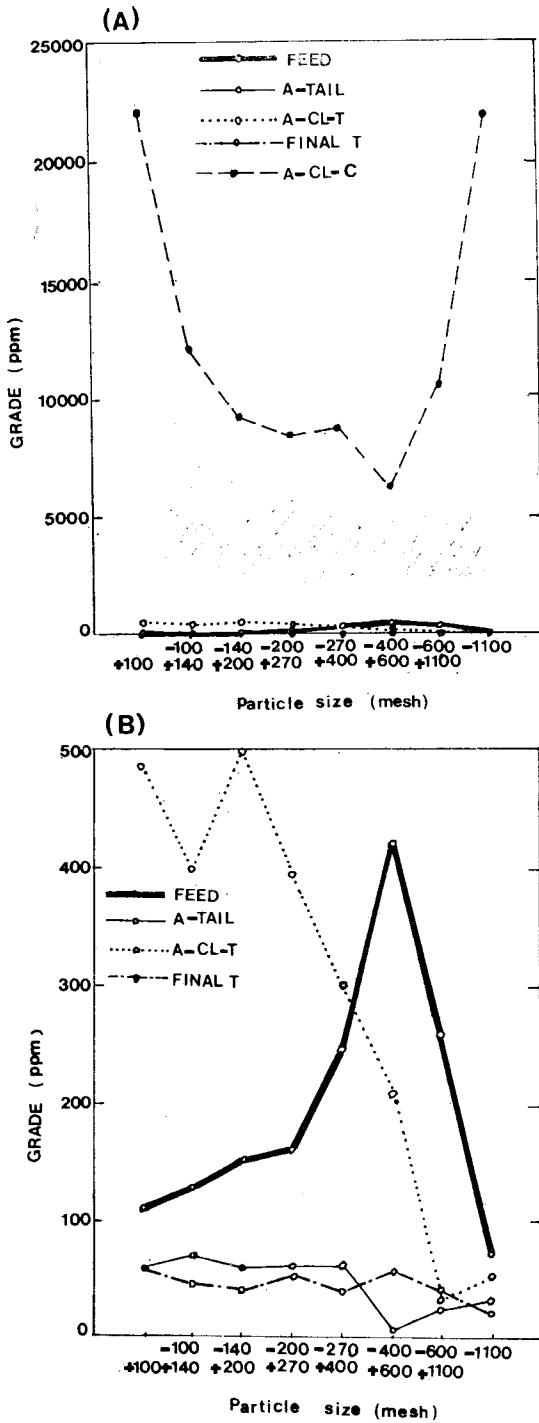


Fig. 6 Assay distribution of flotation products.
 A: for whole samples
 B: for samples of which grades are below 500ppm

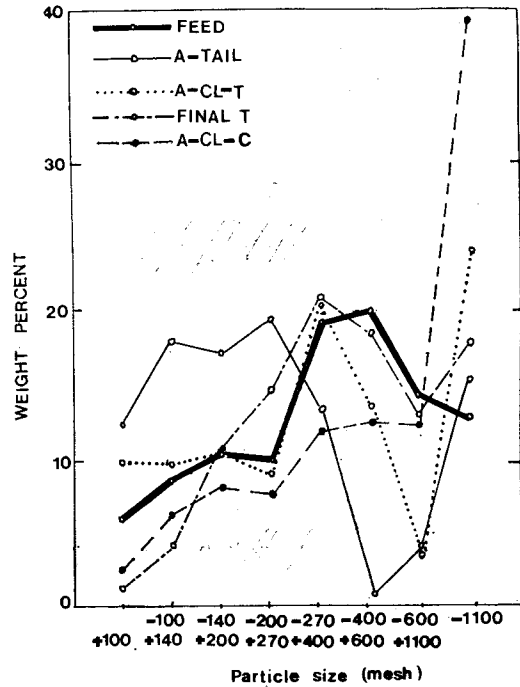


Fig. 7 Silver distribution in flotation products.

比重을 곱하여 計算하였다.

選鑛産物中の 銀鑛物은 自然銀, 輝銀石, 濃紅銀石, 프라이버자이트를 除外한 그 밖의 銀鑛物은 含量이 적고 크기가 작어 鑑定不能하였다. 테트라헤드라이트와 프라이버자이트는 光學的 性質이 類似하여 顯微鏡下에서는 區分不能하여 모두 프라이버자이트로 看做하여 세어 줬음을 附言하여 둔다.

選鑛産物에 대한 모오드 分析結果는 table 4와 같다. 選鑛産物中 金屬鑛物組成比로 보면 浮選原鑛에서는 含銀鑛物을 除外한 硫化鑛物과 酸化鑛物은 粒度가 작아질수록 增加하는 傾向을 보이거나 含銀鑛物은 粒度에 따른 增減의 傾向을 보이지 않는다. A精選精鑛에서는 粒度가 클수록 含銀鑛物은 增加하나, 其他 硫化鑛物은 反對로 粒度가 작아질수록 뚜렷히 增加한다. 綜合尾鑛에서 含銀鑛物과 其他 硫化鑛物은 粒度에 따른 增減傾向이 없으나 酸化鑛物은 粒度가 작아질수록 若干 增加하는 傾向을 보인다.

Table 5는 各 選鑛産物의 粒度分布率, 銀品位, 銀鑛物의 모오드組成(PPM), 銀鑛物別 Ag 含量(PPM)을 나타낸 것이다.

選鑛産物의 모든 試料에서 銀鑛物의 含量은 自然銀이 가장 많고 輝銀石, 프라이버자이트, 濃紅銀石의 順으로 작아짐을 알 수 있다. 위의 4種 銀鑛物中 自然銀

Table 4 Modal composition of floatation products.

Sample	minerals	size					
		+100	100/140	140/200	200/270	270/400	400/600
Feed	Gangue	99.41522	99.21882	99.25348	98.85326	96.58943	93.93692
	Pyrite	.41945	.52571	.44316	.73726	2.41405	4.00371
	Pyrrhotite	.00602	.03093	.02763	.04480	.17658	.19341
	Sphalerite	.07709	.06505	.08793	.14407	.29266	.59141
	Galena	.00871	.00133	.00597	.02643	.02126	.42813
	Chalcopyrite	.00076	.00143	.00176	.00111	.02250	.01667
	Magnetite	.04991	.08405	.10453	.12411	.25715	.60619
	Ilmenite+Rutile	.01092	.05666	.05574	.05324	.19831	.19604
	Native Ag	.00783	.01035	.01469	.01071	.01847	.02057
	Argentite	.00207	.00262	.00266	.00253	.00470	.00293
	Pyrargyrite	.00064	.00049	.00037	.00037	.00103	0
	Freibergite	.00138	.00256	.00208	.00211	.00386	.00402
	Total (Total Number counted)	100 (21102)	100 (41608)	100 (49324)	100 (42025)	100 (43035)	100 (43648)
	A-Rougher tailings	Gangue	99.58952	99.53773	99.71889	99.57469	99.36011
Pyrite		.19579	.15223	.03526	.05603	.04289	.15421
Pyrrhotite		.03508	.06478	.03805	.04204	.11631	.22420
Sphalerite		.06698	.08874	.06911	.11258	.07394	.05167
Galena		.01058	.00926	.01185	.00882	.00904	.00116
Chalcopyrite		.02556	.00113	.00187	.00102	.00076	.00116
Magnetite		.05337	.10873	.07767	.15477	.26976	.67474
Ilmenite+Rutile		.01747	.03369	.03126	.04127	.11937	.09423
Native Ag		.00280	.00094	.01170	.00500	.00607	.00048
Argentite		.00180	.00204	.00362	.00197	.00094	.00033
Pyrargyrite		.00035	.00010	.00031	.00091	.00039	.00009
Freibergite		.00052	.00063	.00041	.00090	.00042	.00008
Total (Total Number counted)		100 (25922)	100 (21421)	100 (43099)	100 (34735)	100 (23204)	100 (25022)
A-Cleaner tailings		Gangue	99.52212	99.55794	99.53582	99.40086	99.15753
	Pyrite	.33030	.29783	.23273	.28212	.29437	.52241
	Pyrrhotite	.01155	.01084	.04617	.11312	.20626	.38686
	Sphalerite	.05069	.05780	.09747	.07909	.14898	.20643
	Galena	.02671	.01833	.01380	.01732	.01550	.04755
	Chalcopyrite	.00117	.00295	.00286	.00866	.00515	.00286
	Magnetite	.03530	.03509	.04039	.07287	.14922	.53874
	Ilmenite+Rutile	0	0	0	0	0	.17042
	Native Ag	.00918	.01001	.02273	.02089	.01943	.01662
	Argentite	.00928	.00821	.00585	.00413	.00242	.00295
	Pyrargyrite	.00163	0	.00051	.00021	0	.00043
	Freibergite	.00207	.00100	.00167	.00073	.00114	.00147
	Total (Total Number counted)	100 (20633)	100 (21328)	100 (21986)	100 (21210)	100 (20293)	100 (31314)

Table 4 Continued.

A-Cleaner concentrates	Gangue	69.66276	57.96910	49.94066	38.16939	25.09964	12.34521
	Pyrite	23.79984	36.62518	43.87134	53.85858	61.57129	63.11903
	Pyrrhotite	.21993	.23891	.31129	.40314	.72257	.60942
	Sphalerite	1.69792	1.95629	2.75349	4.02668	7.67557	14.98397
	Galena	.99871	.81822	.95601	1.27123	2.76162	6.92844
	Chalcopyrite	.13196	.07612	.06019	.09483	.15686	.30187
	Arsenopyrite	.07910	.09665	.07847	.23329	.19758	.27283
	Magnetite	.03410	.42339	.77417	.77132	.72314	.61416
	Ilmenite+Rutile	.01482	.00856	.01439	.02853	.03575	.01756
	Native Ag	3.25299	1.71270	1.13968	1.12924	.95731	.65066
	Argentite	.08376	.06172	.08515	.00519	.07519	.12742
	Pyrargyrite	.00479	.00633	.00310	0	.00129	0
	Freibergite	.01932	.00683	.01206	.00858	.02219	.02943
	Total (Total Number counted)	100 (5951)	100 (5643)	100 (5488)	100 (5559)	100 (5615)	100 (5770)
Final tailings	Gangue	99.71417	99.85653	99.82080	99.73702	99.61669	99.23200
	Pyrite	.17669	.05959	.03573	.04397	.08190	.06860
	Pyrrhotite	.02373	.01848	.03305	.03373	.06866	.11070
	Sphalerite	.02461	.01957	.03813	.05082	.07674	.01378
	Galena	.00037	.00368	.00561	.00469	.00216	.02844
	Chalcopyrite	.00276	.00071	.00056	.00077	.00097	.00028
	Magnetite	.05449	.03907	.06241	.12111	.09880	.49191
	Ilmenite+Rutile	0	0	0	.00501	.04945	.05141
	Native Ag	.00127	.00137	.00247	.00081	.00336	.00138
	Argentite	.00077	.00047	.00096	.00192	.00063	.00106
	Pyrargyrite	.00066	0	.00020	0	.00010	.00019
	Freibergite	.00048	.00053	.00008	.00015	.00054	.00025
	Total (Total Number counted)	100 (23976)	100 (29367)	100 (22893)	100 (39866)	100 (21582)	100 (23246)

의 含有率은 浮選原鑛에서 64.7~74.74% A-精選精鑛에서 80.58~98.79% 綜合尾鑛에서 28.12~72.57%을 차지한다.

各試料의 全體銀鑛物中에서 自然銀이 차지하는 銀含有率은 浮選原鑛에서 74.31~83.66%, A精選精鑛에서 84.05~99.33%, 綜合尾鑛에서 50.49~80.60%이다. 各試料의 自然銀과 輝銀石이 차지하는 銀含有率(wt.%)을 보면 浮選原鑛에서 91.39~94.70%, A精選精鑛에서 98.66~99.73%, 綜合尾鑛에서 77.64~97.92%로서 이 두 鑛物含量으로 銀品位가 거의 決定됨을 알 수 있다.

Table 5에서 보여지는 試料의 化學分析品位와 모오드組成과 銀鑛物의 EPMA分析值로서 얻어진 銀品位사이의 差는 다음과 같은 原因에서 由來된 것으로 생각된다. 1) 低品位試料에서의 point count數의 不足 2)

테트라헤드라이트와 푸라이버자이트가 共存할 경우 이를 모두 푸라이버자이트로 看做한 點 3) middling particle에서의 含銀鑛物의 鑑定과 容積比 推定에서의 不正確性 4) 特히 不規則한 모양을 갖는 自然銀의 容積推定上의 問題點. 이 中 가장 크게 形響을 준것은 1)이었을 것으로 推定된다.

單體分離度(Degree of liberation)

選鑛產物에서 銀鑛物의 粒度別 單體分離度는 Table 6과 같다. 이 表에서 選鑛產物은 모두 +600멧슈의 것에 限하여 이루어졌고 한 試料의 平均 單體分離度는 +600멧슈의 것을 100으로 하였을 때의 粒度分布率을 重率로 하여 計算된 것이다. 浮選原鑛中 自然銀의 平均 單體分離度(60.49%)보다 A精選精鑛中의 그것은 77.57%로 높음을 알 수 있다. 또 浮選原鑛과 A精選精鑛에서 모두 自然銀의 單體分離度는 粒度가 작아짐에 따라

Table 5 Mode and Ag content for each silver minerals of floatation products.

Sample	Particle size (mesh)	Size distr. (%)	Assay (ppm)	Mode (ppm)					Ag content for each Ag-minerals(ppm)				
				Na-Ag	Arg	Fr	Pyr	Total	Na-Ag	Arg	Fr	Pyr	Total
Feed	+100	9.6	108.34	78.3	20.7	13.8	6.4	119.2	76.55	17.96	4.76	3.74	103.01
	100/140	10.9	126.85	103.5	26.2	25.6	4.9	160.2	101.19	22.73	8.82	2.86	135.60
	140/200	11.2	150.17	146.9	26.6	20.8	3.7	198.0	143.62	23.08	7.17	2.16	176.03
	200/270	10.1	159.43	107.1	25.3	21.1	3.7	157.2	104.71	21.95	7.27	2.16	136.09
	270/400	12.8	244.46	184.7	47.0	38.6	10.3	280.6	180.58	40.78	13.30	6.01	240.67
	400/600	7.7	422.79	205.7	29.3	40.2	0	275.2	201.11	25.42	13.85	0	240.38
A-Tailings	+100	9.8	60.35	28.0	18.0	5.2	3.5	54.7	27.38	15.62	1.79	2.04	46.83
	100/140	12.3	70.29	9.4	20.4	6.3	1.0	37.1	9.19	17.70	2.17	0.58	29.64
	140/200	14.0	58.98	117.0	36.2	4.1	3.1	160.4	114.39	31.41	1.41	1.81	149.02
	200/270	15.5	60.68	50.0	19.7	9.0	9.1	87.8	48.89	17.09	3.10	5.31	74.39
	270/400	10.5	60.68	60.7	9.4	4.2	3.9	78.2	59.35	8.16	1.45	2.28	71.24
	400/600	7.6	5.14	4.8	3.3	0.8	0.9	9.8	4.69	2.86	0.28	0.53	8.36
A-Cl-Tailings	+100	2.5	485.15	91.8	92.8	20.7	16.3	221.6	89.75	80.52	7.13	9.52	186.92
	100/140	3.0	397.94	100.1	82.1	10.0	0	192.2	97.87	71.24	3.45	0	172.56
	140/200	2.6	499.20	227.3	58.5	16.7	5.1	307.6	222.23	50.76	5.75	2.98	281.72
	200/270	2.8	393.59	208.9	41.3	7.3	2.1	259.6	204.24	35.84	2.52	1.23	243.83
	270/400	8.5	300.08	194.3	24.2	11.4	0	229.9	189.97	21.0	3.93	0	214.90
	400/600	8.0	208.42	166.2	29.5	14.7	4.3	214.7	162.49	25.60	5.07	2.51	195.67
A-Cl-Conc.	+100	1.2	22052.25	32529.9	837.6	193.2	47.9	33608.6	31804.48	726.79	66.58	27.97	32625.82
	100/140	5.8	12017.72	17127.0	617.2	68.3	63.3	17875.8	16745.07	535.54	23.54	36.96	17341.11
	140/200	10.0	9118.43	11396.8	851.5	120.6	31.0	12399.9	11142.05	738.85	41.56	18.10	11941.16
	200/270	10.4	8356.35	11292.4	51.9	85.8	0	11430.1	11040.58	45.03	29.57	0	11115.18
	270/400	15.6	8691.88	9573.1	751.9	221.9	12.9	10559.8	9359.62	652.42	76.47	7.53	10096.04
	400/600	23.1	6198.13	6506.6	1274.2	294.3	0	8075.1	6361.50	1105.62	101.42	0	7568.54
Final-Tailings	+100	0.7	58.46	12.7	7.7	4.8	6.6	31.8	12.42	6.68	1.65	3.85	24.60
	100/140	3.3	45.02	13.7	4.7	5.3	0	23.7	13.39	4.08	1.83	0	19.3
	140/200	9.8	39.95	24.7	9.6	0.8	2.0	37.1	24.15	8.33	0.28	1.17	33.93
	200/270	10.2	52.84	8.1	19.2	1.5	0	28.8	7.92	16.66	0.52	0	25.1
	270/400	20.1	38.40	33.6	6.3	5.4	1.0	46.3	32.85	5.47	1.86	0.58	40.76
	400/600	11.9	57.09	13.8	10.6	2.5	1.9	28.8	13.49	9.20	0.86	1.11	24.66

Table 6 Degree of liberation of silver minerals.

(A) Native Silver

Grain Size	Feed					A-rougher tailings					A-cleaner tailings				
	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.
+100	15.4	0.11	0.30	0.41	26.83	14.1	—	0.18	0.18	—	9.1	—	0.47	0.47	—
100/140	17.5	0.43	0.64	1.07	40.19	17.6	—	0.05	0.05	—	10.9	—	0.53	0.53	—
140/200	18.0	1.21	0.59	1.80	67.22	20.1	1.07	0.18	1.25	85.60	9.5	—	1.24	1.24	—
200/270	16.2	0.82	0.30	1.12	73.21	22.2	0.25	0.18	0.43	58.14	10.2	—	1.10	1.10	—
270/400	20.5	1.55	0.45	2.00	77.50	15.1	0.23	0.12	0.35	65.71	31.1	—	0.98	0.98	—
400/600	12.4	1.75	0.54	2.29	76.42	19.9	—	0.03	0.03	—	29.2	1.20	0.10	1.30	92.31
Total	100.0				60.49	100.0				40.03	100.0				26.95

(A) Native Silver

Table 6 Continued.

Grain Size	A-cleaner Concentrates					Final tailings				
	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.
+100	1.8	41	15.70	56.70	72.31	1.3	—	0.08	0.08	—
100/140	8.8	22	8.15	30.15	72.97	5.9	—	0.1	0.1	—
140/200	15.1	15	5.45	20.45	73.35	17.5	—	0.14	0.14	—
200/270	15.8	17	5.15	22.15	76.75	18.2	—	0.08	0.08	—
270/400	23.6	16	4.75	20.75	77.11	35.9	0.11	0.07	0.18	61.11
400/600	34.9	13	2.95	15.95	81.50	21.2	—	0.08	0.08	—
Total	100.0				77.57	100.0				21.94

(B) Argentite

(C) Freibergite

Grain Size	A-cleaner Concentrates				
	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.
+100	1.8	2	0.15	2.15	93.02
100/140	8.8	1	0.60	1.60	62.50
140/200	15.1	1	1.25	2.25	44.44
200/270	15.8	—	0.15	0.15	—
270/400	23.6	2	0.40	2.40	83.33
400/600	34.9	4	0.60	4.60	86.96
Total	100.0				63.90

Grain Size	A-cleaner concentrates				
	S.D. (%)	free	locked	total	D.L.
+100	1.8	—	0.70	0.70	—
100/140	8.8	—	0.25	0.25	—
140/200	15.1	—	0.45	0.45	—
200/270	15.8	—	0.35	0.35	—
270/400	23.6	1	—	1	100.0
400/600	34.9	1	0.50	1.50	66.67
Total	100.0				46.87

Abbreviation; S.D.=Size distribution, D.L.=Degree of liberation

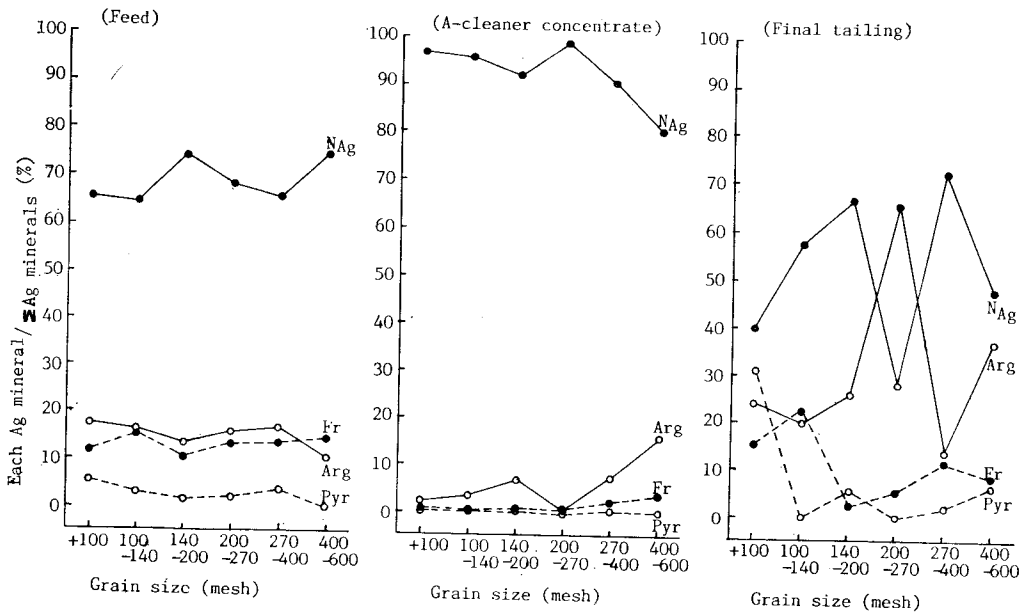


Fig. 8 Relative proportion of each silver minerals in floatation products.

- NAg; Native Silver, ○—○ Arg; Argentite,
- -● Fr; Freibergite, ○- -○ Pyr; Pyrrargyrite

높아져 浮選原鑛과 A精選精鑛의 400/600멧슈 試料에서는 各各 76.42%와 81.5%나 된다. 그러나 實際로 浮選原鑛과 A精選精鑛의 粒度分布를 보면 -600멧슈 분이 各各 全體의 37.7%와 33.9%임을 考慮할 때 各各 全體의 實質上의 平均 單體分離度는 이보다 훨씬 높을 것이다. 한편, 綜合尾鑛中에도 少量이나마 單體分離된 自然銀粒子가 있음이 確認되었다. 輝銀石은 浮選原鑛이나 綜合尾鑛中에는 單體分離된 粒子는 없으나 A精選精鑛에서의 平均單體分離度는 63.90%나 된다. Table 6에 表示되지 않은 選鑛產物中의 自然銀以外的 銀鑛物은 모두 middling particle로 存在한다.

浮選工程中的 銀鑛物浮選舉動

選鑛產物中 浮選原鑛, A精選精鑛과 綜合尾鑛의 粒度別 全體 銀鑛物中의 各 銀鑛物 含有率(wt.%)을 表示하여 보면 Fig. 8와 같다. 이 그림에서 모든 試料에서 自然銀과 輝銀石 含有率 間에는 負의 相關관계가 있음을 보여준다. 全體 銀鑛物中에 特히 輝銀石 含有率을 보면 浮選原鑛에서는 10.65~17.36%이나 A精選精鑛에서는 0.46~15.78%로 낮고 綜合尾鑛에서 13.61~66.67%로 顯著하게 높아졌음을 알 수 있다. 이와같은 傾向은 푸라이버자이트나 濃紅銀石에서도 輕微하게 엇볼 수 있다. 이는 이들 鑛物이 自然銀과는 浮選舉動이 같지 않음을 나타내는 것으로 생각된다. A精選精鑛中의 輝銀石 平均單體分離度는 63.9%로 比較의 높으나 +600 멧슈의 綜合尾鑛에서 單體分離된 輝銀石粒子는 없다. 따라서 이 鑛物을 粒子크기가 特히 작아 middling particle로 存在하기 때문에 浮選率이 낮을 可能性도 생각할 수 있다. 이와같은 問題는 -600멧슈의 精鑛과 尾鑛에 대한 檢討를 하여야 解決될 수 있을 것이다.

푸라이버자이트와 濃紅銀石은 含量도 적고 含銀率도 낮으나, 銀品位에 대한 寄與도가 높은 輝銀石에 대하여는 浮選率이 낮은 原因을 앞으로 檢討하여 보아야 할 것으로 생각된다.

結 言

1. 富平銀鑛床은 侏羅紀 내지 그 以前의 火山碎屑岩 內에 胚胎된 網狀細脈型鑛床이다.
2. 이 鑛床에서 產出되는 銀鑛物은 自然銀, 輝銀石, 푸라이버자이트, 濃紅銀石, 켄필다이트와 Ag-Fe-S系 鑛物이다.
3. 鑛石構成鑛物의 晶出期는 4期로 나누어진다. 鑛石鑛物은 I期에는 Fe-Ti-O系, Cu-Fe-Zn-Sn-S系 鑛物이 晶出하였다. II期の 早期에는 Sn-O, Cu-Fe-Sn-

S, Ag-Sn-S系 鑛物이 後期에는 方鉛石과 Ag-Cu-Fe-Zn-Sb-S系와 Ag-Sb鑛物이 晶出하였다. III期の 早期는 Cu-Ag-Fe-Zn-Sb-S系, 後期는 自然銀과 輝銀石, 濃紅銀石의 主要晶出期이고 IV期는 少量의 黃鐵石晶出期이다.

4. 選鑛產物의 粒度는 -400멧슈가 浮選原鑛 45.4%, A粗選尾鑛 37.9%, A精鑛精鑛, 57%, A精選尾鑛; 80.6%, 綜合尾鑛에서 55.9%를 차지한다.

5. 選鑛產物中 가장 多量으로 產出되는 銀鑛物은 自然銀이고 그 다음으로 輝銀石, 푸라이버자이트, 濃紅銀石의 順으로 產出된다. +600멧슈 試料에서 위의 4種 銀鑛物 全體含量에서 自然銀이 차지하는 比率는 浮選原鑛; 64.7~74.4%, A精選精鑛; 80.58~98.79%, 綜合尾鑛; 28.12~72.57%이다.

6. 選鑛產物中 +600멧슈 試料에서의 自然銀의 平均 單體分離度는 浮選原鑛에서 60.49%, A精選精鑛에서 77.57%이다.

7. 모든 選鑛產物(+600멧슈 試料)에서 輝銀石과 自然銀의 含量間에는 負의 相關關係가 엇보이고 浮選舉動도 같지 않아 보인다.

參 考 文 獻

- Hausen, O.M. (1972) Gross-count method of microscopic quantification. AIME Transaction, v.252, p. 328-332.
- LKAB International AB (1983) Floatation tests on silver ore from Bupyeong mine. p.1-10 (unpublished).
- 前田耕一 (1981) 富平選鑛場의 銀採取率에 대한 考察 (日語). (未發表)
- 南野正彦 (1971) 富平鑛床의 鑛石과 母岩變質에 대하여 (日語). 九州大學 大學院 碩士學位論文.
- 朴喜寅, 徐圭植 (1985) 富平銀鑛床의 鑛石鑛物과 鑛物 共生關係(要旨). 地質學會誌, v.20, No.1, p.362
- 朴魯榮, 鄭敬植 (1968) 富平銀鉛鑛床의 地質 및 鑛床. 地質광상연구 조사보고, v.10, p.5~32.
- Rorick, S.J. (1984) Microscopical examination of tailings sample from Young Poong Mining Co. Ltd. Am. Cyanamid company Tech. Service Report. Project No. 2435, p.1~13. (unpublished)
- 徐圭植 (1986) 富平銀鑛床의 成因에 관한 研究. p.1~143. 서울大學校 大學院 博士學位 論文.
- 申明植 (1970) 富平銀鉛鑛山의 地質과 鑛床. 鑛山地質, v.3, No.3, p.177-186.