

## 金 浮選 鑛尾로부터 金の 回收에 관한 研究<sup>†</sup>

申承翰 · 姜現皓 · 洪鐘元 · 李珍水\* · 朴濟賢\* · \*<sup>‡</sup>韓五炯

朝鮮大學校 에너지 · 資源工學科, \*韓國鑛害管理公團

## Study on Recovery of Au from Flotation Tailing of Gold<sup>†</sup>

Seung-Han Shin, Hyun-Ho Kang, Jong-Won Hong, Jin-Soo Lee\*,  
Je-Hyun Park\* and <sup>‡</sup>Oh-Hyung Han

Dept. of Energy & Resources Engineering, Chosun University

\*Technology Research Center, Mine Reclamation Corporation

### 요 약

대우조선해양 S.M.C는 국내에서 가행중인 유일한 금광산으로 현재 160 ton/day의 원광을 처리하여 금을 생산하고 있으며, 150 ton/day 이상의 광미가 발생하고 있다. 광미 중 일부는 탈수 건조 후 갱도 충전재로 사용하고 있으나 대부분 광미댐에 적치하고 있다. 광미의 성분을 분석한 결과 Au 품위 1.5~2.0 g/ton이 함유되어 있어, 하루에 버려지는 금은 225~300 g 이므로 이를 회수하고 재활용할 수 있는 방안의 마련이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 광미에 함유된 Au를 회수하기 위한 기술을 개발하기 위해 부유선별법을 이용하여 일련의 실험을 실시하였으며, 포수제 KAX (97.2 g/ton), 기포제 AF 65 (248 ml/ton), 억제제 sodium silicate (4 kg/ton)의 조건에서 Au품위 21.31 g/ton, 실수율 62.73% 산물을 얻을 수 있었다. 따라서 폐광미로부터 얻어진 정광을 다시 1차 조선평정에 재급광할 경우 대표적인 귀금속인 금을 회수할 수 있다.

주제어 : 금 회수, 광미, 부유선별

### Abstract

S.M.C (DSME), only operating gold mine in Korea, is processing about 160 ton/day to recover gold and more than 150 ton/day of tailing is produced. Some portion of the tailings are used as a filler material after drying, but most of them are stored on the tailing dam. As a result of chemical analysis by a fire assay method, it contained Au 1.5~2.0 g/ton and 225~300 g per day of gold is getting discarded. It is urgent to develop a technology to recover and reutilize Au. In the present study, flotation tests were carried out to recovery gold for the tailings. Test results show that products with gold grade 21.31 g/ton(Au grade) and 62.73% (Au recovery) were obtained under the optimal conditions including KAX addition rate 97.2 g/ton, frother AF 65 (0.248 l/ton) and depressant sodium silicate (4 kg/ton), it's possible to recover one of the most valuable metal Au, by re-feeding to rougher flotation.

Key words : gold recovery, tailing, flotation

### 1. 서 론

금은 화학적 불활성으로 산 및 기타 약품에 침식되지 않는다. 또한, 모든 금속 중 전연성이 가장 뛰어나 전기,

통신기 부품, 특히 반도체 소자와 도금 등으로 수요가 크게 증가 하고 있으며 향후 우리나라의 금 수요는 공업용을 중심으로 더욱 증가 할 것으로 예상된다. 우리나라의 금 매장량은 2009년 기준 확정광량과 추정광량을 합쳐 약 5691.8 천 톤으로 알려져 있다. 국내의 광산업은 1980년대 중반에 들어서면서 부존 지하자원의 고갈과 점진적인 작업환경의 악화 및 노동 임금의 상승,

<sup>†</sup> 2010년 10월 27일 접수, 2010년 11월 23일 1차수정  
2010년 12월 10일 수리

\*E-mail: ohhan@chosun.ac.kr

값싼 외국 지하자원의 수입 등으로 말미암아 점차 침체되기 시작 하였다. 국내 금광은 탐광단계에 있는 영세한 규모의 광산을 제외하고는 해남지역에서 가행중인 모이산 광산이 유일하다.<sup>1)</sup> 대우조선해양 SMC는 현재 연간 약 300 kg의 금과 2,500 kg의 은을 생산하고 있는 광산으로 하루 160 톤의 광석을 처리하여 약 150 톤 이상의 광미가 발생되고 있다. 또한, 향후 시설을 280 ton/day 이상으로 증설할 계획이며, 이에 따라 광미 발생량도 크게 증가할 것으로 예상된다. 현재는 광미의 일부를 건조 후 폐 갱도에 충전재로 사용하고 있으나, 대부분 광미 등을 적치장에 방치하고 있어 광미 중에 함유된 유가금속의 회수 및 재활용 할 수 있는 소재개발이 시급한 실정이다. 대우조선해양 S.M.C의 광미를 성분 분석한 결과 광미 중에 중금속 함량이 낮고, 금 1.5 g~2.0 g/ton, 은 10~15 g/ton 등의 귀금속이 포함되어 있어 귀금속을 회수한 후 비료용 등의 용도로 재활용이 가능 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 재활용 소재로 사용되기 전 광미로부터 유가금속인 금과 은의 회수를 목적으로 광미의 광물학적, 물리화학적 및 단체분리 특성을 확인하고, 여러 가지 부선조건의 변화(기포제, 포수제, 종류별 및 첨가량 변화, 억제제 첨가량 변화 등)를 실험을 통해 광미로 폐기되는 귀금속을 회수할 수 있는 부유선별 기술을 개발하고자 하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

본 연구에서 사용된 시료는 전라남도 해남에 위치한 대우조선해양 S.M.C(구 순신개발) 선광장의 부선공정에서 청소구(scavenger)를 거쳐 최종 폐기되는 광미(이하 원시료로 표기)이다. 채취된 시료는 100°C dry oven에서 48시간 완전 건조시켜 수분함량을 1% 이하로 제거한 후 실험에 사용하였다. Table 1은 대상 시료를 ICP-AES와 PerkinElmer DRC(극미량 금속 분석기)를 이용하여 성분분석 한 결과로 유가금속인 Au와 Ag가 각각 1.77 g/ton, 22.73 g/ton이며 불순물로는 SiO<sub>2</sub>가 82.34%, 그 외에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>등이 존재하고 있음을 확인하였다.

원 시료의 입도별 산물을 XRD(PANalytical 社의 X'pertPRO MPD) 분석한 결과 Fig. 1과 같이 성분분석 결과와 유사하게 맥석광물인 quartz, muscovite, K-feldspar가 주를 이루고 있었으며 각 입도별 광물성분은 큰 차이가 없었다. Table 2는 대상 시료의 습식 입도 분석결과로, -500 mesh(25)가 전체 양 중 43.26 wt.%, 30×200 mesh 구간에도 약 40 wt%로 함유되어 있어 다양한 입도로 분포하고 있었다. 한편, 각 입도 구간별 Au 분포는 조립일수록 Au 함량이 증가하며, 200 mesh 이상에 평균품위인 1.77 g/ton 이상이 분포하고 있어 금의 부선효율을 높이기 위해서는 부선에 적합한 입도로

Table 1. Chemical composition of sample (%)

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Au (g/ton)	Ag (g/ton)	L.O.I
11.04	0.10	0.99	2.65	0.20	0.02	0.13	0.10	82.34	0.24	0.26	1.77	22.73	2.11

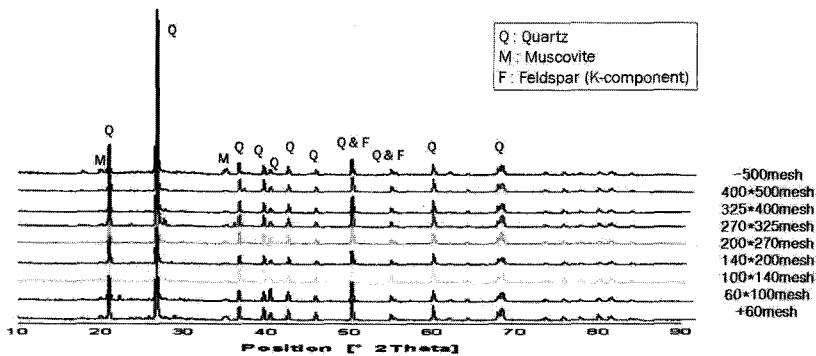


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of wet screen product.

**Table 2.** Result of wet screen analysis for sample

Size	Weight	Au	Au distribution
mesh	(%)	Assay(g/ton)	(%)
-500	43.26	0.70(0.303)	2.98
400×500	5.46	1.10(0.060)	4.69
325×400	3.33	1.20(0.040)	5.12
270×325	3.74	1.40(0.052)	5.97
200×270	4.54	1.60(0.073)	6.82
140×200	10.39	2.30(0.239)	9.80
100×140	8.50	2.43(0.207)	10.36
60×100	11.30	2.67(0.301)	11.38
30×60	9.05	3.33(0.302)	14.19
+30	0.43	6.73(0.029)	28.69
Total	100.00	(1.606)	100.00

조절할 필요성이 있음을 확인하였다.

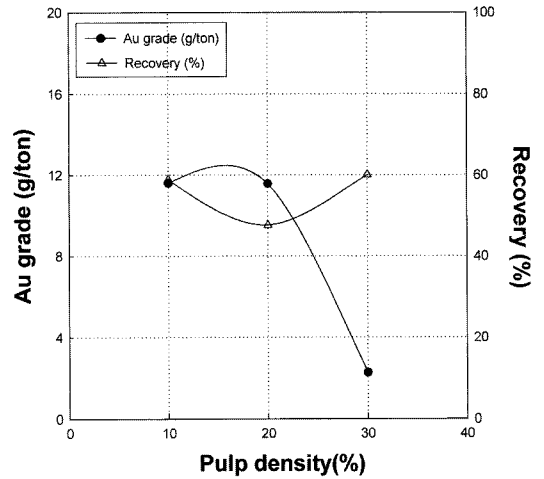
**2.2. 실험방법**

원 시료에 함유된 금을 회수하기 위해 미국 Metso 社の Denver Sub-A형 부유선별기를 이용하여 광액농도, 기포제와 포수제 종류 및 첨가량, 억제제 첨가량을 변화시키면서 일련의 실험을 실시하였다. 또한 모든 실험은 임펠러의 회전속도를 1,200 rpm으로 고정한 후 41의 부선조에 광석 800 g(광액농도 20%)을 넣고 자연 상태의 pH 8.1 조건에서 5분 교반 후 포수제를 첨가하여, 3분 교반 후 기포제를 첨가하고, 광액을 2분간 교반하면서 공기를 주입하여 20분 동안 부유선별을 실시하였다.<sup>2)</sup> 회수된 정광과 광미의 금 품위(grade)는 fire assay 법을 적용하여 금의 함량을 측정 하였다.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1. 광액농도에 따른 영향**

Fig. 2는 광액농도에 따른 부선효율을 확인하기 위하여 광액의 농도를 10~30%로 변화시키면서 부유선별 실시하였을 때 금의 품위 및 실수율을 나타낸 것이다. 광액농도 10%에서 Au 품위 11.60 g/ton, 회수율 58.86%로 부선효율이 가장 높았으나, 30%에서는 광액농도의 증가에 의한 맥석이 동반부유 되어 Au 품위가 2.27 g/ton로 급격히 저하되었다. 한편, 광액농도 20%의 조건에서 실험을 실시한 결과 Au 품위 11.57 g/ton, 회수율 47.61%를 얻을 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 금의

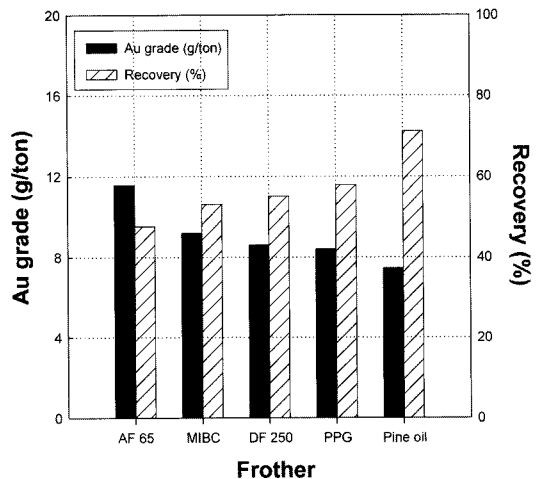


**Fig. 2.** Effects of pulp density on gold grade and recovery (collector : KAX 270 g/ton, frother : AF 65 126 ml/ton, rpm : 1200).

회수율은 약간 저하되지만 금의 품위는 비슷하게 유지할 수 있어, 광액의 농도는 현장에서 폐기되고 있는 광미와 같은 농도인 20%의 조건으로 실험을 진행하였다.

**3.2. 기포제종류에 따른 영향**

Fig. 3은 기포제 종류에 따른 영향을 확인하기 위해 완전 수용성의 폴리글리콜 제품인 AF 65, 금이나 각종 금속 황화물 및 비금속 광물의 부선에 효과적인 것으로 알려진 MIBC, 기포력이 우수한 alcohol류 제품인 DF



**Fig. 3.** Effects of various types of frother on gold grade and recovery (Pulp density : 20%, collector : KAX 570 g/ton, frother : 126 ml/ton, rpm : 1200).

250, 대우조선해양 S.M.C 선광장에서 기포제로 사용하고 있는 PPG 유상 기포제인 pine oil을 각각 사용하여 실험한 결과이다.<sup>3)</sup> Pine oil을 사용하였을 때 금의 품위 7.46 g/ton, 회수율이 71.19%로 가장 높았으나, AF 65를 사용하였을 때에 금의 품위 11.57 g/ton, 회수율은 47.62%로 저하되나 현장에서 금 부선공정에 공급되는 원광의 품위(11.05 g/ton)와 비슷한 Au 품위의 정광을 얻을 수 있어 적정 기포제임을 알 수 있었다.

### 3.2. 기포제 첨가량에 따른 영향

Fig. 4는 기포제 종류별 실험에서 가장 효과적이었던

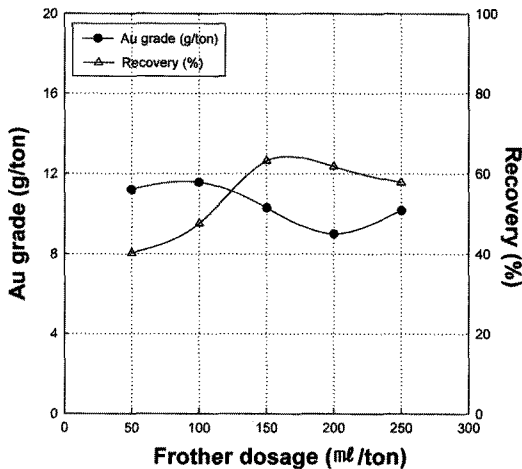


Fig. 4. Effects of frother addition(AF 65) on gold grade and recovery (Pulp density : 20%, collector : KAX 270 g/ton, rpm : 1200).

AF 65의 적절한 첨가량을 확인하기 위해 AF 65를 50~250 ml/ton까지 변화를 시켜 부선실험을 실시한 결과로, 첨가량이 100 ml/ton 까지 Au 품위는 약간 상승하다가 그 이상부터 감소하였으며 회수율은 150 ml/ton 이상부터 감소하였다. 이는 기포제 첨가량의 증가로 인해 많은 기포가 발생되어 Au 함량이 높은 조립질 입자(Table 2 참조)의 흡착 가능성이 증가하여 품위와 회수율 모두 상승하지만, 150 ml/ton 이상부터는 오히려 과도하게 생성된 기포에 미립의 불순물들이 동반부유(entrainment) 되기 때문이다.<sup>4)</sup> 한편, AF 65를 150 ml/ton 첨가했을 때 금 품위 10.3 g/ton, 금 회수율 63.24%로 선별도지수를<sup>5)</sup> 고려하면 선별효율이 가장 좋음을 확인하였다.

### 3.3. 포수제 종류에 따른 영향

금은 황화광물과 선택적으로 부선 될 수 있으므로<sup>6)</sup> 황화광물 부선에 쓰이는 잔세이트<sup>7)</sup> 계열의 포수제들과 Cu와 Zn과 같은 황화광물부선에 쓰이는 SPRI 96, 미국과 중국에서 사용하는 AERO 7310, BK 901을 사용하여 부유선별 비교실험을 실시한 결과는 Fig. 5와 같다. Au 품위는 NAX 31이 11.73 g/ton으로 가장 높으나 회수율이 43.51%로 낮았으며, KAX를 사용하였을 때 Au 품위는 10.30 g/ton로 약간 저하되나 회수율은 63.24%로 증가되므로 부선효율을 고려하여 적정 포수제임을 확인하였다.

### 3.4. 포수제 첨가량에 따른 영향

Fig. 6은 포수제 종류에 따른 실험에서 부선효율이 가장 높은 포수제로 확인된 KAX의 적정 시약 첨가량

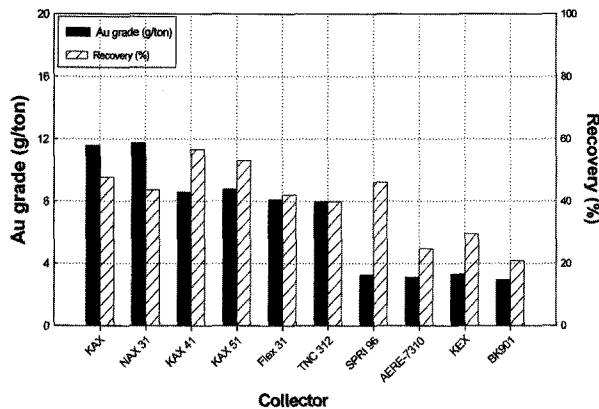


Fig. 5. Effects of various types of collector on gold grade and recovery (Pulp density : 20%, collector : 270 g/ton, frother : AF 65 150 ml/ton, rpm : 1200).

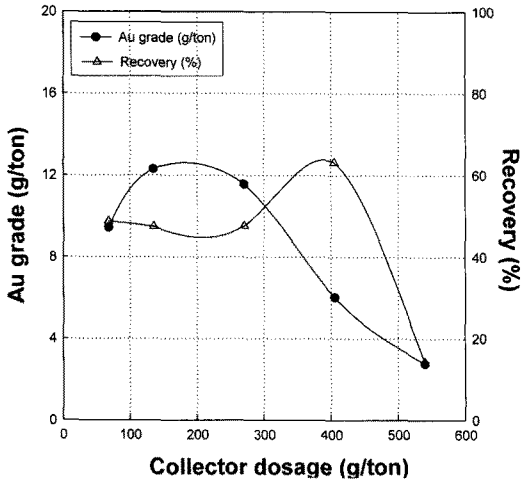


Fig. 6. Effects of collector addition(KAX) on gold grade and recovery (Pulp density : 20%, frother : AF65 150 ml/ton, rpm : 1200).

을 확인하기 위해 67 g/ton부터 550 g/ton까지 변화를 주어 실험을 실시한 결과이다. 포수제를 125 g/ton 까지 첨가하였을 때 Au 품위는 12.30 g/ton으로 증가하지만 270 g/ton의 첨가량부터는 급격히 저하되었으며, 금의 회수율은 405 g/ton까지 증가하다가 그 이상의 첨가량에서는 급격히 감소하였다. 이는 포수제가 일정량 이상 첨가되면 불순물에도 영향을 끼쳐 맥석이 동반 부유되어<sup>3)</sup> 품위와 회수율이 모두 저하되었기 때문이다. 한편, KAX 270 g/ton이 Au 품위 10.30 g/ton, 회수율 63.24%로 선별도지수가 31.22로 가장 높아 적정 포수제 첨가량을 확인하였다.

### 3.5. 침강법 적용

습식 입도분석 결과(Table 2 참조) 부선에 적용하기

어려운 500 mesh 이하의 미립이 전체 무게비의 약 43% 분포하고 있어 부선효율을 높이는데 한계가 있음을 확인하였다. 따라서 부선에 적합한 입도로 조절하기 위해 침강시간을 30~120초까지 변화 시키면서 침강 실험을 실시하여 얻은 산물들의 입도크기와 성분을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 침강시간에 따른 산물들의 입도분석 결과 메디안경(D50)을 기준으로 sink 산물은 30초의 경우 142.71 μm에서 120초 후 124.90 μm로 줄어들었으며, float 산물 역시 16.05 μm에서 11.66 μm로 입도가 작아짐을 확인하였다. 또한, 침강시간별 산물들을 성분분석 한 결과 sink 산물의 Au 품위는 2.83 g/ton(30초)에서 2.40 g/ton(120초)으로 감소하였으며 이는 시간이 증가함에 따라 비중이 비교적 가벼운 불순물까지 침강하여 Au 품위가 감소하는 것으로 사료된다. Float 산물 역시 30초 침강 시켰을 경우, Au 품위가 1.15 g/ton에서 120초 후에 0.84 g/ton까지 감소하는데 이는 비중이 비교적 무거운 Au가 침강하기 때문으로 보인다. 따라서, 본 연구에서는 float 산물의 Au 함량이 0.84 g/ton으로 낮고, 메디안경(D50)이 11.66 μm인 미립의 slime이 부선에서 품위와 회수율을 저하시키는 원인이 되므로<sup>3)</sup>, 120초 침강 후 float 산물을 사전에 제거한 sink 산물만을 가지고 부선 실험을 실시한 결과 Table 4와 같았다. 한편, Au의 품위가 1 g/ton 이하이면서 미립인 float 산물은 새로운 용도개발을 위한 시료로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

Table 4는 침강시간별 sink 산물을 대상으로 제반조건들을 모두 동일하게 한 후 실험을 실시한 결과로 60초 침강산물의 부선정평이 Au 품위 14.13 g/ton, 회수율 68.73%로 품위가 가장 높았다. 그러나, 120초 침강산물(2.40 g/ton)을 대상으로 부선 실험한 결과 Au 품위 13.46 g/ton, 회수율 70.55%로 선별도지수가 가장 높고,

Table 3. Result of sedimentation tests on gold grade and size analysis of sink and float products

No	Sample	Weight(%)	D(10)μm	D(50)μm	D(90)μm	Au grade(g/ton)	
1	Sink	30 sec	43.57	35.23	142.71	384.54	2.83
2		60 sec	46.72	23.41	132.14	384.86	2.73
3		90 sec	49.15	21.83	126.98	363.77	2.57
4		120 sec	49.45	20.60	124.90	324.57	2.40
5	Float	30 sec	56.43	1.88	16.05	212.91	1.15
6		60 sec	53.28	1.84	14.59	151.22	1.13
7		90 sec	50.85	1.62	12.66	140.14	1.07
8		120 sec	50.45	1.61	11.66	103.72	0.84

**Table 4.** Result of flotation tests by using sink products obtained from sedimentation tests (Dp 20%, collector : KAX 270 g/ton, frother : AF65 150 ml/ton, rpm. : 1200)

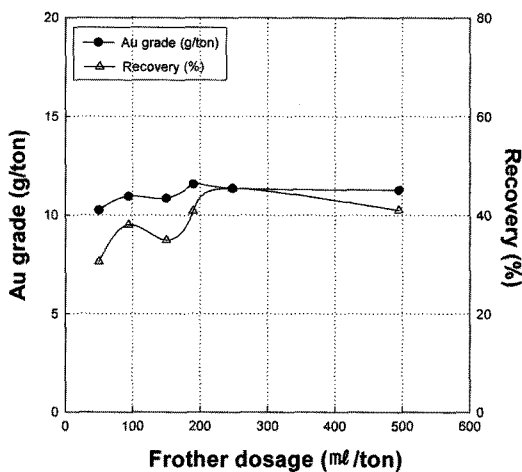
No	Sample	Feed grade(g/ton)	Flotation product	Weight(%)	Au grade(g/ton)	Recovery(%)
1	30 sec	2.83	C	20.93	6.72	49.70
			T	79.07	1.8	
2	60 sec	2.73	C	13.28	14.13	68.73
			T	86.72	1.1	
3	90 sec	2.57	C	21.89	8.22	70.01
			T	78.11	1.6	
4	120 sec	2.40	C	12.58	13.46	70.55
			T	87.42	1.3	

(C: concentrate, T: tailing)

120초 침강 후 float 산물의 Au 함량이 0.84 g/ton(Table 3 참조)으로 매우 낮기 때문에 침강시간을 120초로하여 시료를 준비하였다. 한편, 120초 침강산물의 부선 tailing에 1.3 g/ton의 Au가 함유되어 있으므로, 단체분리도를 높여 부선효율을 향상시키기 위해 Disc mill로 re-grinding 하여 부선에 적합한 60×325 mesh로 입도 조절한 후 추가실험을 실시하였으며, -325 mesh는 미립자 처리용 micro-bubble column 부선을 실시할 계획이다.

### 3.5.1 기포제 첨가량에 따른 영향(+325 mesh)

Fig. 7은 침강법에서 얻은 120초 침강산물을 대상으로



**Fig. 7.** Effects of frother (AF 65) addition on gold grade and recovery of samples (60×325 mesh) obtained from re-grinding of sink products (Pulp density : 20%, collector : KAX 65 g/ton, rpm : 1200).

로 re-grinding하여 60×325 mesh로 입도 조절된 시료를 대상으로 적정 기포제 첨가량을 확인하기 위해 기포제 종류에 따른 영향에서 부선효율이 높은 기포제(Fig. 3 참조)로 확인된 AF 65를 사용, 50~500 ml/ton까지 변화를 주어 첨가량에 따른 영향을 확인한 결과이다. 가장 효과적인 기포제로 확인된 AF 65를 248 ml/ton 첨가하였을 때 Au 품위 11.35 g/ton 회수율 45.38%로 입도 조절 전 기포제 첨가량 150 ml/ton(Fig. 4 참조)보다 시약 첨가량이 증가 하였음에도 불구하고 Au 품위는 약간 상승하였지만 회수율은 감소하는 경향을 보였다. 이는 grinding으로 인한 새로운 표면의 형성과 입도크기의 감소 그리고 분쇄 media에 의한 오염 등에 기인한 것으로 생각된다.<sup>8)</sup>

### 3.5.2 포수제 첨가량에 따른 영향

Fig. 8은 적정 포수제로 확인된 KAX(Fig. 5 참조)를 이용하여 30~130 g/ton의 범위에서 첨가량 변화실험을 실시한 결과, 첨가량이 증가하면 회수율은 점점 증가하다가 100 g/ton 이상부터 점점 감소하였고 Au 품위는 80 g/ton 까지 증가하나 그 이상 첨가하면서부터 감소하였다. 선별도 지수 계산 결과 KAX를 97.2 g/ton 첨가하였을 때 Au 품위 14.78 g/ton 회수율 52.65%로 가장 좋은 결과를 확인하였다. 한편 입도 조절 전 적정 시약 첨가량 270 g/ton(Fig. 6 참조)보다 +325 mesh로 입도조절한 후 포수제 첨가량이 감소하였는데 이는 Bravo 등(2005)이 실험한 결과와 같이 금을 포함한 황화광물의 입자크기가 클수록 적은 포수제 첨가량으로도 소수성입자의 표면과 기포의 결합 안정성이 증가되기 때문으로 생각된다.<sup>9)</sup>

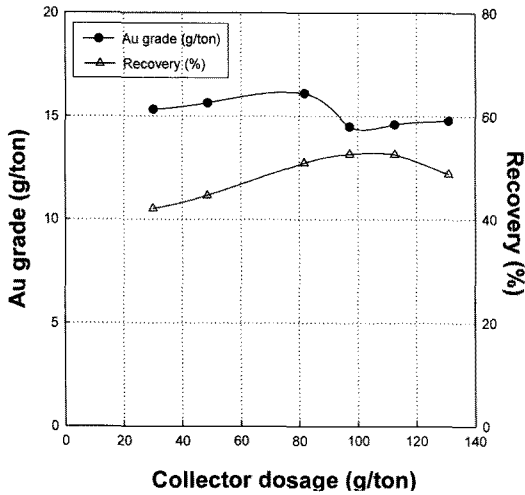


Fig. 8. Effects of collector (KAX) addition on gold grade and recovery of samples (60x325 mesh) obtained from regrinding of sink products (Pulp density : 20%, frother : AF65 248 ml/ton, rpm : 1200).

3.5.3 억제제 첨가량에 따른 영향

Fig. 9는 Au 품위와 회수율을 높이기 위한 방법으로 규산염광물 억제에 사용되는 sodium silicate 첨가량을 1~5 kg/ton 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 억제제 첨가량이 증가할수록 맥석인 silicate계 광물의 분산과 억제로 인해 Au 품위는 증가하는 반면에 회수율은 4 kg/ton 이

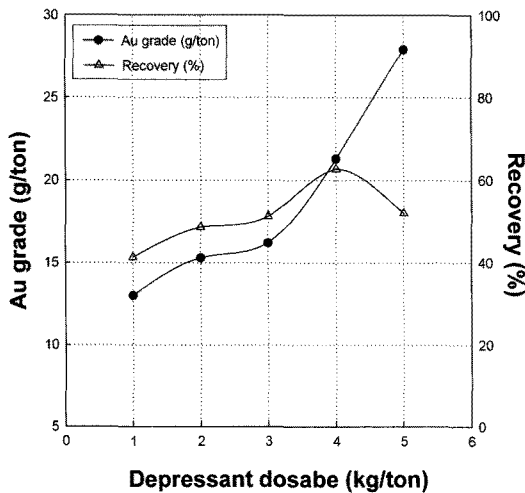


Fig. 9. Effects of depressant(Sodium silicate) addition on gold grade and recovery of samples (60x325 mesh) obtained from regrinding of sink products (Pulp density : 20%, collector : KAX 97.2 g/ton, frother : AF65 248 ml/ton, rpm : 1200).

상부터 감소하였다. 이는 Yin (2010) 등이 실험을 통해 제시한 sodium silicate 첨가량이 어느 한계량을 초과하게 되면 광액속의 Eh(SHE)/mV의 음의 값이 커져 회수율이 저하된다는 결과와 유사한 이유로 사료된다.<sup>10)</sup> 한편, sodium silicate를 4 kg/ton 첨가하였을 때 금의 품위 21.31 g/ton, 금의 회수율 62.73%로 본 연구에서 Au 품위가 가장 높은 부선 조건임을 확인하였다.

3.6. S.E.M 및 원소별 mapping

Fig. 10은 원 시료의 단체분리도를 확인하기 위해 습식 입도 분석한 산물을 SEM 및 원소별 mapping 한 결과이다. (a)는 100x140mesh 입도범위의 산물을 100배 배율로 SEM과 원소별 mapping 한 사진으로 유가금속인 Au와 황화광물로 추정되는 Fe가 같은 위치에 다른 맥석광물과 단체분리 되지 않은 상태로 존재 하고 있었다. (b)는 500 mesh 이하의 산물 역시 맥석광물과 미분리된 상태로 Au와 Fe가 함께 존재하고 있었다. 한편, 불순물로는 XRD 분석결과와 성분 분석결과와 마찬가지로 Si, Al, K가 존재하고 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

대우해양조선 SMC의 선광장에서 배출되는 금 부선 광미를 대상으로 광미에 함유된 Au를 회수하기 위한 기술을 개발하기 위해 부유선별법을 이용하여 일련의 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 금 부선 광미를 습식 입도 분석 결과 30 mesh부터 500 mesh까지 다양한 입도로 분포하고 있었으며, 30x200 mesh 입도에 금이 평균 품위(1.77 g/ton) 보다 높은 품위로 분포하고 있었다.
2. 광액농도는 현장에서 배출되는 광미의 광액농도와 같은 20%에서 Au 품위 11.57 g/ton, 회수율 47.61% 을 얻을 수 있었다.
3. AF 65를 기포제로 150 ml/ton 사용 하였을 때 금의 품위 10.3 g/ton, 회수율 63.24%로 가장 좋음을 확인하였다.
4. 포수제로는 KAX가 가장 효과적으로, 첨가량이 270 g/ton 일 때 Au 품위 10.30 g/ton, 회수율 63.24%로 선별효율이 가장 좋았다.
5. 부선에 적합한 입도로 조절하기위해, 침강법을 적용한 결과, 120초 sink산물은 금의 품위 2.40 g/ton이며 float 산물 중 금의 함량이 0.84 g/ton로 가장 낮았다. 한편, 120초 sink 산물을 입도 조절 전 적정 조건으로

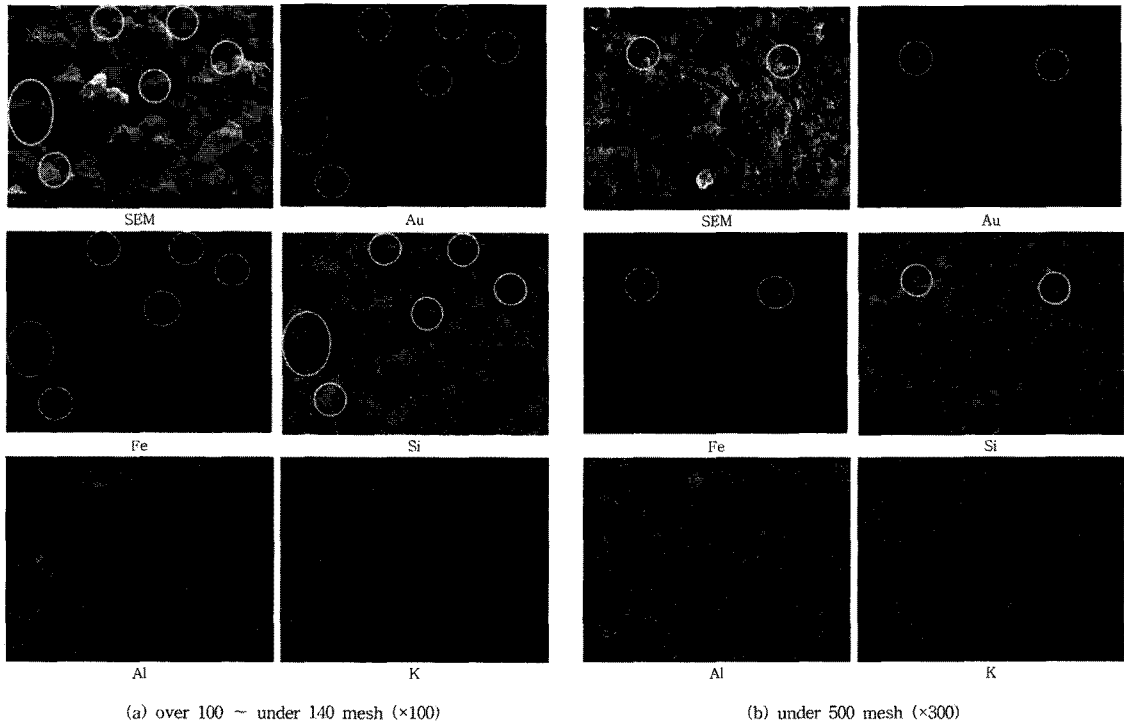


Fig. 10. SEM micrographs & element mapping of wet screen samples : a) 100×140 mesh, b) -500 mesh.

확인된 KAX 270 g/ton, AF 65 150 ml/ton의 조건으로 부선 한 결과 금의 품위 13.46 g/ton, 회수율 70.55%로 본 연구에서 가장 높은 회수율을 얻었다.

6. 120초 침강 후 sink 산물을 re-grinding하여 60×325 mesh로 입도 조절한 시료를 부선 한 결과 KAX 97.2 g/ton, AF 65 248 ml/ton, sodium silicate 4 kg/ton 첨가했을 때 Au 품위 21.31 g/ton, 회수율 62.73%로 re-grinding을 통해 부선효율을 향상시킬 수 있었다.

7. Au와 맥석과의 단계분리를 확인하기 위해 100×140 mesh와 -500 mesh를 S.E.M 및 원소별 mapping 한 결과 Au와 황화광물로 추정되는 Fe가 같은 위치에 다른 맥석광물과 미 분리된 상태로 존재하고 있었으며, Si, Al, K가 불순물로 주를 이루고 있음을 확인하였다.

## 사 사

본 연구는 한국광해관리공단의 광물찌꺼기 재활용 기술개발사업의 일환으로 연구가 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 한국광물자원공사 [KORES], 2009. 10. 18, <http://www.kores.net/>
2. 유승우, 박홍규, 정문영, 2009: 연탄재 부유선별에서 고정 탄소의 산화가 유상포수제 첨가량에 미치는 영향, 한국지구시스템공학회지 Vol. 46, No.5 pp. 582-588.
3. 이강문, 1985: “광물처리공학”, 반도출판사, 서울, 한국.
4. Wills, B. A., 2006, “Mineral processing technology (7th)”, Tim Napier-mun, Elsevier, Burlington, USA.
5. 정문영, 신희영, 박재구, 2000: 역부선법에 의한 국내산 무연탄회의 정제, 한국자원공학회지, Vol. 37, No. 1, pp. 72-79.
6. Forrest K., Yan D., Dunne R., 2001: “Optimisation of Gold Recovery by Selective Gold Flotation for Copper-Gold-Pyrite Ores”, Minerals Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 227-241.
7. Flotation of Copper Sulfide ores - Flotation of copper-gold ores, “Handbook of Flotation Reagents”, pp. 274-282, Elsevier, Ontario, Canada.
8. Ye X., et al., 2010: “Regrinding sulphide minerals - Breakage mechanisms in milling and their influence on surface properties and flotation behaviour”, Powder



Technology, Vol. 203, pp. 133-147.

9. Bravo S. V. C et. al, 2005, "The influence of particle size and collector on the flotation of a very low grade auriferous ore", Mineral Engineering, Vol. 18, pp. 459-461.

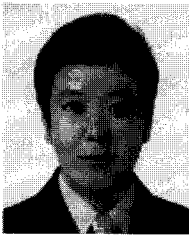
10. Yin W. Z., Zhang L. R. and Xie F., 2010, "Flotation of Xinhua molybdenite using sodium sulfides as modifier", Transcation of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 20, pp. 702-706.

**申 承 翰**

- 2009년 조선대학교 학사
- 현재 조선대학교 에너지·자원공학과 석사과정
- 당 학회지 제19권 2호 참조

**姜 現 皓**

- 현재 조선대학교 에너지·자원공학과 박사수료
- 당 학회지 제15권 2호 참조



**洪 鍾 元**

- 2010년 조선대학교 학사
- 현재 조선대학교 에너지·자원공학과 석사과정



**李 珍 水**

- 1997년 서울대학교 자원공학과 공학박사
- 현재 한국광해관리공단 광해기술연구소 연구개발팀 파트장



**朴 濟 賢**

- 2006년 2월 한양대학교 지구환경시스템공학과 공학박사
- 현재 한국광해관리공단 광해기술연구소 연구원

**韓 五 炯**

- 현재 조선대학교 에너지·자원공학과 교수
- 당 학회지 제15권 2호 참조