

다중비중선별기를 이용한 광물찌꺼기로부터 비소제거 연구

김준희 · 김민규 · 김우람 · *한오형

조선대학교 에너지자원공학과

Study on As Removal from Mine Tailing using MGS Gravity Separator

Jun-Hee Kim, Min-Gyu Kim, Woo-Ram Kim and *Oh-Hyung Han

Department of Energy & Resources Engineering, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

요 약

광물찌꺼기에는 다양한 종류의 중금속이 함유되어 있어, 국내외에서 광물찌꺼기로부터 중금속을 제거하기 위해 많은 연구가 이루어졌으나, 중금속을 제거하기에는 여러 가지 문제점과 제약이 따르기 때문에 한계가 있었다. 따라서 이를 해결하고자 본 연구에서는 미립자의 선별까지도 가능한 다중비중선별기(Multi-gravity separator, MGS)를 사용하여 광물찌꺼기에 함유된 비소를 제거하기 위한 비중선별실험을 수행하였다. MGS를 이용하여 비중선별에 의해 비중이 높은 비소를 함유한 광물을 제거하고자 경사각, 세척수량, 광액농도, 드럼의 회전속도, 급광량에 따른 영향을 확인하였다. 실험결과 최적실험 조건인 MGS의 경사각 3°, 세척수량 5 l/min., 광액농도 30%, 드럼 회전속도 208 rpm, 그리고 급광량 265.24 g/min. 에서 As 제거율과 산출율이 각각 88.21%와 92.25%인 결과를 얻었다.

주제어 : 광물찌꺼기, 비소, 비중선별, 물리선별, 다중비중선별기

Abstract

It contained various kinds of heavy metal in beneficiation tailing and in order to eliminate the heavy metals, various technologies have been researched, But there are a limits because many problems and restrictions are accompanied. Therefore, in this study, in order to solve this problem, It was performed gravity separation using multi-gravity separator (MGS) to remove As contained in tailing, which can sort out even the fine particle. It was attempted a study to remove As, which is a kind of heavy metals, by MGS gravity separation and verified the impact by slope, wash water, pulp density, rotational speed and feed rate. In the results of performing gravity concentration under the condition with the MGS slope of 3°, wash water of 5 l/mm, pulp density of 30%, rotational speed of 208 rpm, and the feed rate of 265.24 g/mm, the As removal rate of 88.21% and yield of 92.25% were obtained.

Key words : Tailing, As, Gravity separator, Physical processing, Multi-gravity separator (MGS)

· Received : July 21, 2014 · Revised : August 19, 2014 · Accepted : September 15, 2014

*Corresponding Author : Oh-Hyung Han (E-mail : ohhan@chosun.ac.kr)

Energy & Resources Engineering, Chosun University, : 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-759, Korea

Tel : +82-62-230-7116 / Fax : +82-62-233-2110

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Result of element analysis of raw sample unit : %

Elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Raw sample	61.43	8.35	12.06	10.80	1.70	1.28	0.06	0.60	0.51	0.21

Table 2. Result of heavy metal analysis of raw sample unit : ppm

	pH	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Concern level	-	25	4	150	200	300
Raw sample	8.2	291	1	102	119	214

1. 서 론

산업의 발전에 따라 다양한 분야에서 여러 종류의 유독성 물질들이 배출되고, 특히 일부 가행중이거나 가행을 중단한 광산에서 유용자원을 회수한 후 선광광미를 적절하게 처리하지 못하여 주위 환경을 오염시킴으로써 심각한 환경문제를 일으키고 있다. 토양 오염은 수질이나 대기의 오염에 비해 오염현상이 느리게 나타나며, 복원 소요기간이 긴 특성을 갖고 있다. 또한, 여러 가지 산업이 발전되면서 다양한 분야에서 발생하는 독성 중금속의 배출로 전 세계적으로 큰 문제가 되고 있다.¹⁾

한편 휴·폐광산 지역에는 대부분 갱도 및 광미적치장이 존재하고 있으며, 여기에서 발생한 오염된 갱내수나 침출수가 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 폐광미에 포함된 중금속이 토양과 지표수에 유출되어 있어 동식물은 물론이며 인간에게까지 피해를 주고 있다. 특히 우리나라는 과거에 많이 개발된 금, 은 광을 포함한 금속광상 및 비금속광산에서 비소를 함유한 황비철석이 다량 산출되어 이의 산화에 의한 비소의 용출현상으로 주변 환경의 오염이 초래되고 있다.²⁾

국내·외에서 비소와 중금속 오염토양을 처리하는데 여러가지 기술이 시도되었다. 이들 중 성공한 기술은 단순히 차수벽 설치 및 복토, 고형화/안정화, 토양세척, 식물정화기법 등이 있으나, 비용과 시간의 제약이 많아 이를 줄일 수 있는 적절한 처리 방법이 선택되어야만 한다.³⁾

따라서 광물찌꺼기에서 유해한 중금속을 제거하기 위한 친환경적이면서, 단시간에 처리할 수 있는 기술이 필요함으로써, 본 연구에서는 강원도 영월군 상동읍에 위치한 상동광산 광미 적치장에서 채취한 광물찌꺼기를 대상으로 다중비중선별기(Multi-gravity separator)를 통하여 실험을 수행하여, 이 기술의 적용가능성을 검토하였다.

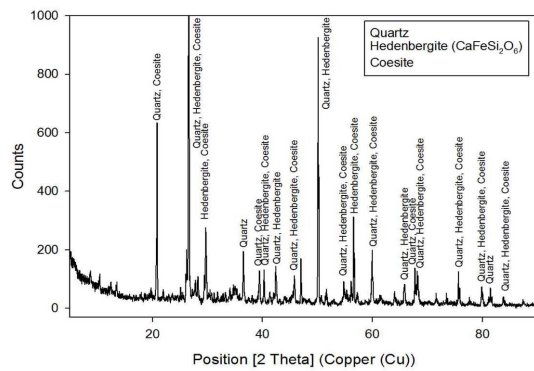


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of raw sample.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

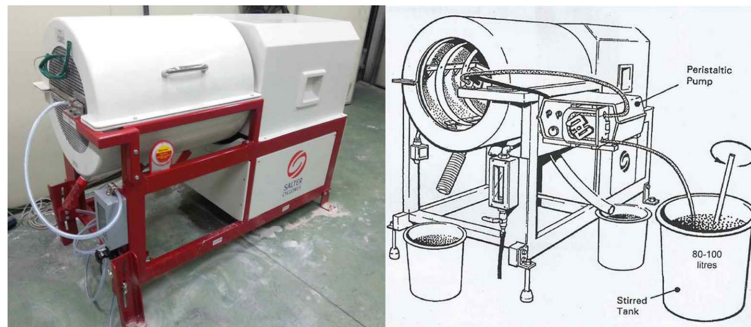
본 연구에서 사용된 시료는 강원도 영월군 상동읍 상동광산의 광미 적치장에서 비산화대 부분(이하 원 시료라 함)을 채취하였다. 원 시료는 미립으로 구성되어 있으며, 이에 대한 XRF를 통한 성분 분석 결과, Table 1에 서와 같이 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO 등이 함유되어 있음을 확인하였고, 특히 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO의 함유량이 전체의 약 93%임을 확인하였다.

중금속 중 독성이 강한 비소(As)의 함유량을 확인하기 위해 원 시료를 토양오염공정시험법을 기준으로 분석한 결과 Table 2와 같으며, 토양시료의 pH는 8.2로 약알칼리성이지만, 비소의 함유량은 토양오염 우려기준치(25 ppm)의 약 10배를 초과하는 것으로 확인되었다. 그밖에 비소를 제외한 다른 중금속은 기준치 이하로 함유되어 있음을 확인하였다.

원 시료에 대한 XRD 광물감정 결과 Fig. 1과 같이 Quartz(SiO₂), Hedbergite(CaFeSi₂O₆), Coesite(SiO₂)은 확인되었으나, 비소를 함유한 계관석(As₄S₄), 응황(As₂S₃), 황비철석(FeAsS) 등은 확인되지 않아 원 시료

Table 3. Result of wet screen analysis of raw sample (D_{50} 23 μ m)

Size (mesh)	Weight (%)	Size (micron)	Cum. Under (Wt.%)	Cum. Over Dist. (%)	As (ppm)
+60	1.51	(246)	100.00	0	61
60*100	1.91	(147)	98.49	1.51	74
100*140	3.39	(113)	96.58	3.42	118
140*200	2.71	(74)	93.19	6.81	125
200*270	7.97	(53)	90.48	9.52	162
270*325	4.43	(43)	82.51	17.49	188
325*400	8.24	(37)	78.08	21.92	151
400*500	15.13	(25)	69.84	30.16	186
-500	54.71	-25	54.71	45.29	428
Total	100.00				

**Fig. 2.** Schematic illustration of multi-gravity separator.

에서 비소가 어떠한 형태로 존재하는지 파악할 수 없었다. 이는 일반적으로 XRD에 의한 광물분석은 원소에 따라 검출한계가 조금씩 다르나 보통 1~5%로 되어 있다.⁴⁻⁵⁾

Table 3은 입자의 크기에 따른 비소의 분포 특성을 확인하기 위해 표준체를 이용한 원 시료의 습식 입도 분석결과를 나타낸 것이다. -500 mesh 입도가 전체 무게비의 약 55%인 미립으로 구성되어 있으며, -200 mesh 입도가 전체 무게비의 90% 이상을 차지하고 있음을 확인하였다. 한편, 원 시료의 중간경(median)인 D_{50} 은 23 μ m로, 이는 Mastersizer 2000으로 입도 분석한 결과이다. 그리고 원 시료의 비소 함유량을 측정된 결과, 291 ppm임을 확인하였다. 입도별 비소 함유량을 분석한 결과 미립으로 갈수록 비소 함유량이 높음을 확인할 수 있었다, 특히 각 입도 구간에서 -500 mesh인 가장 미립구간의 비소 함유량은 400 ppm 이상으로 가장 높게 나타났다.

2.2. 실험방법

원 시료에 함유된 비소를 제거하기 위하여 가장 경제 적이며 처리공정이 단순한 비중선별법을 적용하여 그 가능성을 확인하였다. 실험 대상의 시료가 미립으로 구성되어 있기 때문에 여러 가지 비중선별기 중 미립자 처리에 효과적인 다중비중선별기(이하 MGS라 칭함)를 사용하여 일련의 실험을 진행하였다.

본 실험에서 사용된 MGS는 Salter Cyclones사에서 제작된 습식비중선별기로 미립의 처리에 효과적인 선별기로 알려져 있다.⁶⁻⁷⁾ 이 선별기는 1~10 μ m의 미립자 까지 선별이 가능하며 이때 급광하는 광석 입자의 크기나 비중 차이에 의하여 회전수를 조절하면서 분리가 가능하다.⁸⁾ MGS는 Fig. 2와 3에서와 같이 좌측의 급광부에서 반대편 우측으로 약 3° 전후로 경사진 원통의 상부에서 광액을 공급하여 경사진 원통의 하부에서 상부로 작용하는 요동과 함께 회전하는 동안 무거운 입자들은 원심력의 영향을 받아 벽으로 모여 회전하다가 벽

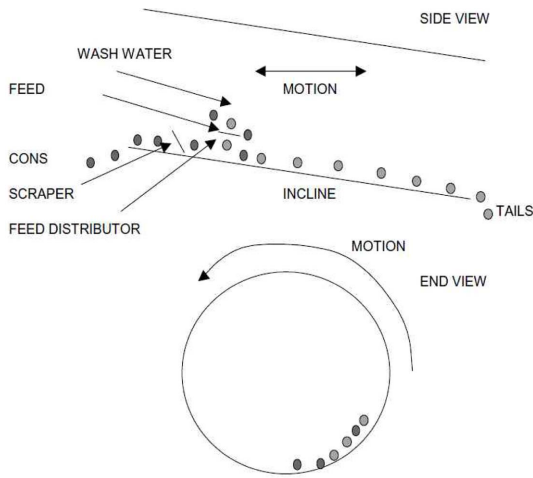


Fig. 3. Action in multi-gravity separator⁸⁾.

에 붙어 있는 scraper와 상부로 작용하는 요동의 충격에 도움을 받아 원통의 상부(급광부)로 배출된다. 그리고 가벼운 입자는 급광부에서 공급되는 세척수 수류의 영향을 받아 원통의 하부로 이동시켜줌으로써 분리가 이루어진다.

MGS는 연속공정이므로 이론 실수율 공식을 적용하여 비소 제거율을 환산하였으며, 산출율(yield)은 분리 후 일정량의 비소가 제거된 상태로 하부로 배출된 산물을 정광으로 계산하여 구하였다. 사용된 시료의 입도는 예비실험을 통해 분리효과가 가장 좋은 -200 mesh 이하 (-74 μm)로 입도조절을 하였다. 한편 입도조절을 하지 않은 원 시료는 대부분 미립으로 구성되어 있으나, 다양한 크기의 입도가 분포하고 있어 분리효율이 매우 낮았다. 비중선별의 특성을 고려하여 입도범위를 좁히기 위해 시료 중 90%이상의 무게비를 차지한 -200 mesh로 입도조절 하였으며 이 시료의 비소 함유량을 분석한 결과 327 ppm임을 확인하였다.

-200 mesh로 입도 조절된 시료를 사용하여 광액농도, 세척수량, 회전속도, 급광량, 경사각의 조건⁹⁾에 따라 MGS를 통해 실험을 실시하여 결론을 도출하였다. 회수된 산물에 대해서는 24시간 건조한 후 수분을 제거하고 전 처리하여 토양오염공정시험법 기준으로 미량의 비소(As)분석이 가능한 원자흡광분광기(AA-7000, Shimadzu)의 graphite furnace (GFA-700, Shimadzu)를 이용하여 분석을 실시하였다.

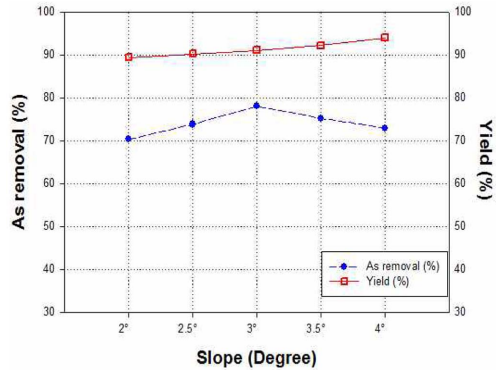


Fig. 4. Effect of slope in MGS (Dp : 30%, Speed 224 rpm, Feed rate 265.24 g/min., Wash water 6 l/min.)

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 경사각에 따른 영향

MGS의 경우 경사각 변화에 따라 정광의 품위와 산출율을 조절할 수 있기 때문에¹⁰⁾ 경사각에 따른 분리효율을 확인하기 위해 -200 mesh로 입도조절 된 시료를 사용하여, 경사각을 2~4°까지 변화하면서 실험을 수행하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다.

경사각이 3°일 때 As 제거율이 78.08%로 가장 좋은 조건임을 확인하였으며, 원통하부로 배출되는 정화산물 내의 As 함유량은 87 ppm까지 감소됨을 확인하였다. 한편, 경사각이 3°이하의 경우는 하향류에 의한 선별효율이 낮아 비소 제거율이 낮았으며 3°를 초과할 경우에도 As를 함유한 광물입자가 회전하는 원통 안에서 분리되지 못하고 세척수와 함께 하부로 이동하여 정광화산물로 배출되기 때문에 As 함유량이 높아진 것으로 사료된다. 경사각이 높아질수록 원통의 각도에 영향을 받아 As를 함유한 광물이 원통을 따라 올라가지 못하고 하부로 배출되는 양이 계속 증가하여 As 제거율은 떨어진 반면 정화산물의 산출율은 증가함을 확인하였다.

3.2. 세척수량에 따른 영향

MGS에서 원통의 회전에 따른 원심력에 의해 무거운 광물입자는 경사진 상부로 이동하고 가벼운 입자들은 경사하부로 이동시켜 주는 과정에서 첨가된 세척수의 영향을 받아 분리가 일어나게 됨으로, 세척수는 분리효율을 결정하는 중요한 인자로 작용하게 된다.⁸⁾ 따라서 주입되는 세척수량에 따른 분리효율을 확인하기 위하여 세척수량을 2~7 l/min.까지 변화시키면서 실험을 수행

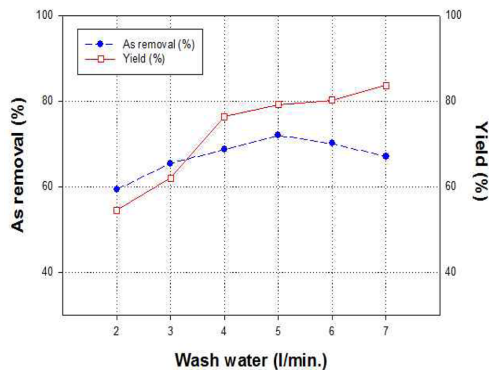


Fig. 5. Effect of wash water in MGS (Dp : 20%, Speed 224 rpm, Feed rate 265.24 g/min., Slope 3°).

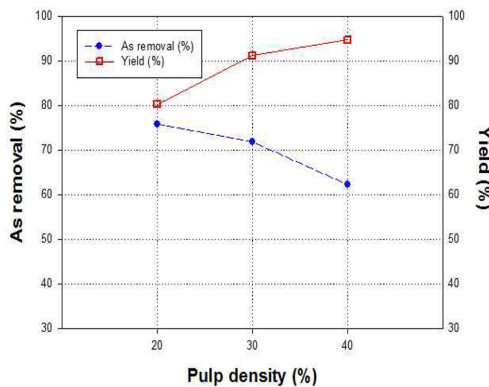


Fig. 6. Effect of pulp density in MGS (Speed 224 rpm, Feed rate 265.24 g/min., Slope 3°, Wash water 5 l/min).

하였으며, 이에 대한 결과는 Fig. 5와 같다.

실험 결과 세척수량이 5 l/min.일 때 As 제거율과 산출율이 각각 72.03%와 79.22%이었으며, 세척수량이 이보다 증가하게 되면 정화산물의 산출율은 증가하나 As 제거율은 감소됨을 확인하였다. 이는 세척수를 적정량으로 주입할 경우 분리되지 않은 가벼운 입자들에 대한 세척효과가 높지만 그 이상의 세척수가 첨가될 경우 원통 내에 체류한 세척수의 양이 많아지고, 이에 따른 하향류 압력이 강해져 비중에 따른 분리효과가 떨어져 원통의 아래쪽으로 As를 함유한 광물입자까지 배출되어 제거효율이 감소한 반면 산출율은 점점 증가하는 것으로 생각된다.

3.3. 광액농도에 따른 영향

MGS의 원통 내부에서 처리할 수 있는 시료의 양이

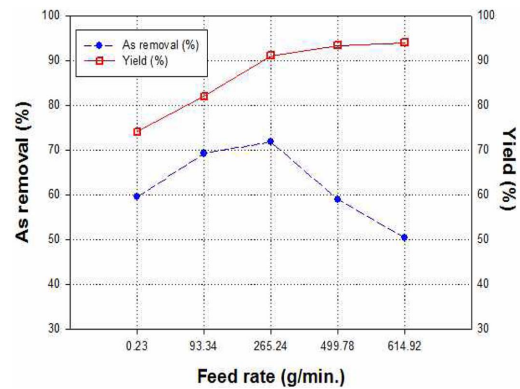


Fig. 7. Effect of feed rate in MGS (Dp 30%, Speed 224 rpm, Slope 3°, Wash water 5 l/min).

한정되어 있으며, 이에 따라 분리효율을 극대화 시킬 수 있도록 광액농도(pulp density)에 따른 선별효율을 확인하기 위해 광액의 농도를 20~40% 까지 변화하여 실험하였으며, Fig. 6은 이에 대한 결과를 나타낸 것이다.

광액농도를 20%로 실험을 실시한 경우 As 제거율은 75.89%로 가장 높았으나 산출율이 80.25%로 낮음을 확인하였으며, 광액농도 30%인 경우 As 제거율 71.88%, 산출율 91.25%를 나타냈고, 광액농도를 40%로 증가시켰을 경우, As 제거율이 가장 낮았으나 산출율은 가장 높게 나타남을 확인하였다.

이는 광액농도가 증가함에 따라 원통 내에 광물의 양이 많아져 세척수에 따른 세척효과가 충분히 일어나지 못해 As를 함유한 상당량의 광물이 원통하부로 배출되기 때문에 제거효율이 떨어지는 것으로 사료된다. 또한, 산출율은 광액농도가 짙을수록 제대로 분리되지 않은 일부 As를 함유한 광물까지 세척수에 의해 하부로 배출되기 때문에 산출율은 오히려 증가함을 확인하였다. 한편, 광액농도 20%와 30%의 As 제거율은 약 4%정도 차이가 나지만, 산출율이 10%이상 차이가 나기 때문에 광액농도는 30%가 적정 광액농도임을 확인하였다.

3.4. 급광량에 따른 영향

MGS는 연속공정 장비로 시간에 비례하여 처리량의 한계가 있어 원통 내부에 투입되는 급광량에 따라서 처리효율에 영향을 준다. 따라서, 급광량에 따른 선별효율을 확인하기 위해 급광량을 0.23~614.92 g/min.까지 변화시켜 실험한 결과 Fig. 7과 같았다.

급광량이 가장 적은 0.23 g/min.인 경우 As 제거율

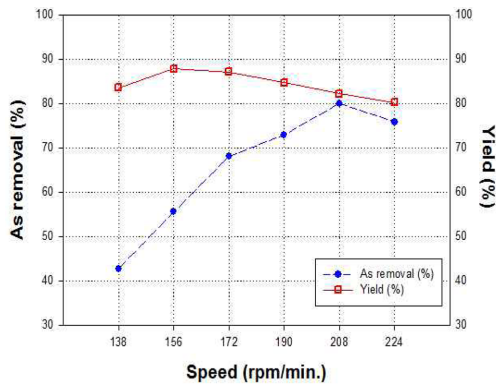


Fig. 8. Effect of drum rotational speed in MGS (Dp 20%, Feed rate 265.24 g/min., Slope 3°, Wash water 5 l/min).

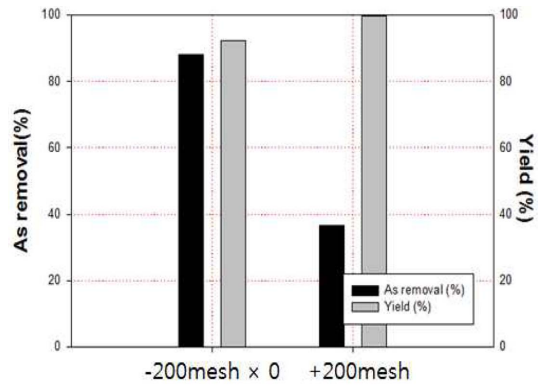


Fig. 9. The optimum factor of experiments in MGS (Dp 30%, Speed 208 rpm, Feed rate 265.24 g/min., Slope 3°, Wash water 5 l/min).

59.52%, 산출율 74.11%였으며, 급광량이 614.92 g/min. 까지 증가시켰을 경우 As 제거율 50.37%, 산출율 94.01%로 산출율은 계속 증가하였으나, As 제거율은 증가하다 감소됨을 확인하였다. 이는 급광량이 증가할수록 원통 내부의 처리량보다 양이 많아져 세척효과가 떨어지고, 충분히 분리효과가 일어나지 못함으로 사료된다. 또한, 처리량이 많아짐에 따라 As 함유량이 높은 일부 광물입자까지 정광으로 배출되어 As 제거율이 떨어지고 산출율은 증가함으로 판단된다.

실험 결과를 토대로 보았을 때 급광량이 265.24 g/min. 인 경우 가장 높은 As 제거율 71.88%와 함께 산출율 91.25%를 유지할 수 있어 제거효율이 가장 좋음을 확인하였다.

3.5. 드럼 회전속도에 따른 영향

MGS는 원통을 회전시켜 드럼내부의 광물을 원심력에 의해 비중별로 분리가 일어나므로 드럼의 회전속도에 따라서도 원심력의 크기가 달라져 분리효율이 영향을 받게 된다.¹¹⁾ 즉, 드럼의 회전속도에 따라 입자들이 비중별로 위치하는 현상이 보다 강하게 이루어지게 된다. 드럼 회전속도에 따라 As 제거효율을 확인하기 위해 드럼 회전속도를 138~224 rpm 까지 변화를 주어 실험을 실시하여 Fig. 8과 같은 결과를 얻었다. 그 결과, 드럼 회전 속도가 증가 할수록 As 제거율은 증가함을 확인하였으나 산출율은 156 rpm 부터 점차 감소됨을 확인하였다.

이는 원심력이 클수록 바깥으로 밀려나는 힘이 커지게 되어 비교적 As 함량이 높아 무거운 비중의 광물이

드럼의 상부로 배출되어 As 제거율은 높아지며, As를 함유한 광물과 그 밖의 광물까지 함께 배출됨에 따라 산출율은 저하됨을 확인할 수 있었다. 따라서 제거율과 산출율을 동시에 고려해 보았을 때, 208 rpm의 경우, 산출율은 82.25%로 비교적 다른 조건보다는 낮으나 As 제거율 80.06%로 가장 높았으며, 정광 내의 As 함유량은 69 ppm까지 낮아져 가장 좋은 조건임을 확인하였다.

3.6. 최적 조건에 따른 비중선별 실시

앞선 실험에 의해 As 제거율과 산출율을 고려하여 도출된 가장 좋았던 조건을 토대로 +200 mesh와 -200 mesh x 0 시료를 대상으로 비교실험을 실시하여 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다.

경사각 3°, 세척수량 5 l/min., 광액농도 30%, 드럼 회전 속도 208 rpm, 급광량 265.24 g/min.의 조건을 적용하여 -200 mesh x 0의 시료를 대상으로 실험을 실시한 결과 As 제거율과 산출율이 각각 88.21%와 92.25%인 결과를 얻었으며, 정광으로 회수된 산물을 분석해 본 결과 As 함유량이 43 ppm 까지 제거되었음을 확인하였다.

반면, +200 mesh 시료를 대상으로 실험을 수행한 결과는 As제거율과 산출율이 각각 36.60%와 yield 99.75%로 비교적 낮은 비소 제거율을 보였으며, 정광 내의 As 함유량은 136 ppm이었다. 이러한 실험결과를 종합해 보았을 때 MGS를 사용한 비중 선별법만으로도 비교적 높은 As 제거효율을 얻을 수 있음을 확인하였다. 한편, MGS를 사용하여 비중선별을 할 경우 체(seive)를 통해 입도를 조절하여 입도범위를 좁혔을 때 선별효율이 높았으나, 다양한 입도로 구성된 원광을 대상으로

실험을 실시한 경우 분리 효율이 낮아 비중선별의 선별 한계를 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 강원도 상동광산 미립의 광미를 대상으로 다중비중선별기(Multi-gravity separator, MGS)를 적용하여 비중선별을 통해 As 제거 가능성을 확인하고자 광물학적 특성 조사 후, 각각의 실험인자를 적용하여 실험을 수행하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 원 시료를 대상으로 입도분석 결과, 대부분이 미립으로 구성되어 있음을 확인하였으며, XRD분석에서는 As함유 광물이 동정되지 않았지만 원자흡광분석을 통한 As 함유량을 측정된 결과, 원 시료의 As 함유량은 291 ppm이고, 미립으로 갈수록 As 함량은 높음을 확인하였다. 한편 실험대상인 -200 mesh로 입도 조절된 시료의 As 함량은 327 ppm임을 확인하였다.

2) MGS의 드럼 경사각을 조절하여 실험을 실시한 결과 경사각이 3°일 때 As 제거율이 78.08%로 가장 좋았으며 세척수는 5 l/min. 첨가한 경우 As 제거효율이 가장 높음을 확인하였다.

3) 광액농도에 따른 실험한 결과, 광액 농도 20%일 때 As 제거율은 가장 좋았으나 As 제거율과 산출율을 동시에 고려 한 결과, 광액농도 30%가 가장 좋은 광액 농도임을 확인하였다.

4) 드럼 회전속도에 따른 영향을 확인하기 위해 드럼 회전속도에 변화를 주어 실험을 실시한 결과, As제거율과 산출율을 동시에 고려하였을 때 드럼 회전속도 208 rpm에서 As 제거율과 산출율이 각각 80.06%와 82.25%로 가장 좋은 조건이었으며, 급광량이 증가할수록 일부 미립의 광물들이 분리되지 못하고 동반 배출되어 As 제거율이 감소되는 것으로 사료된다.

5) MGS 실험 결과 As 제거효율이 가장 좋았던 조건을 종합하여 +200 mesh와 -200 mesh의 산물을 대상으로 실험을 한 결과 각각 136 ppm, 43 ppm까지 제거됨을 확인하였으며, As 제거 효율을 높이기 위해서는 입도조절을 통해 처리할 대상의 입도범위를 좁혀야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 조선대학교 학술연구비의 지원

을 받아 수행되었으며, 연구비를 지원해준 조선대학교에 감사드립니다.

References

1. Jeong, H.S., Lee, W.C., Cho, H.G., Kim, S.O., 2008 : "Study on Adsorption Characteristics of Arsenic on Magnetite", *J. Miner. Soc. Korea*, Vol. 21, No. 4, pp. 425-434.
2. Kong, M.H, Kim, Y.M., Roh, Y., 2011 : "Geochemical and Mineralogical Characterization of Arsenic-Contaminated Soil at Chonam Gold Mine, Gwangyang", *Econ. Environ. Geol.*, Vol. 44, No. 3, pp. 203-215.
3. Jung, M.Y., Choi, Y.W. and Jung, M.C., 2006 : "Properties of the Tailings from Sangdong Mine and Its Recycling", *J. of the K Society for Geosystem Engineering*, Vol. 43, No. 5, pp. 486-497.
4. Garcia, O. Jr., Bigham, J.M. and Tuovinen, O.H., 1995 : Sphalerite oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans*, *Canadian Journal of Microbiology*, Vol. 41, pp.578-584.
5. Guerra, E. and Dreisinger, D.B., 1999 : A study of the factors affecting copper cementation of gold from ammoniacal thiosulfate solution, *Hydrometallurgy*, Vol. 51, pp.155-172.
6. Luttrell G.H., Honaker R.Q. and Phillips D.I., 1995 : "Enhanced Gravity Separators: New alternatives for Fine Coal Cleaning", *12th International coal preparation conference*, Coal Preparation Conference, Lexington, Kentucky, pp.1267-1272.
7. Roy S., 2009 : "Recovery Improvement of Fine Iron Ore Particles by Multi Gravity Separation", *The Open Mineral Processing Journal*, 2009, 2nd, pp. 17-30.
8. Falconer A., 2003 : "Gravity separation : Old technique/ New methods", *Physical separation in Science and Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp.31-48
9. Aslan N., 2008 : "Multi-objective optimization of some process parameters of a multi-gravity separator for chromite concentration", *Separation and purification Technology*, Vol. 64, pp. 237-241.
10. Udaya Bhaskar K., Rao K.K., Gocindarajan B., Barnwal J.P., Rao T.C., 2005 : "Studies on multi-gravity separator for rejection of acid insolubles in a copper concentrate", *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, Vol.5, No.1, pp.35-47.
11. Aslan N., 2007 : "Modeling and optimization of Multi-Gravity Separator to produce celestite concentrate", *ScienceDirect, Powder Technology*, Vol. 174, pp.127-133



김 준 희

- 조선대학교 에너지자원공학과 공학사
- 조선대학교 대학원 에너지자원공학과 석사

김 민 규

- 현재 조선대학교 대학원 에너지자원공학과 석사과정
- 당 학회지 제22권 6호 참조



김 우 램

- 조선대학교 에너지자원공학과 공학사
- 조선대학교 대학원 에너지자원공학과 석사과정

한 오 형

- 현재 조선대학교 에너지·자원공학과 교수
 - 당 학회지 제22권 6호 참조
-