

## 상동광산 광물찌꺼기의 비소제거를 위한 부유선별에서 인산염 첨가의 영향

황민수 · 김소연 · <sup>✉</sup>강현찬

동아대학교 공과대학 에너지·자원공학과

### The Effect of Phosphate Addition in Flotation to Remove As in Tailings from Sangdong Mine

Min Su Hwang, So Yeon Kim and <sup>✉</sup>Heon Chan Kang

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea

#### 요 약

As의 평균함량이 285 mg/kg인 상동광산 광물찌꺼기의 As제거를 위한 부유선별에서 인산염 첨가에 따른 영향을 알아보기 위해 제3인산나트륨(이하 T.S.P)을 분산제로 첨가하여 부유선별을 실시하였다. 먼저 분산제 없이 부유선별을 진행한 결과, As제거율은 88.7%, 부상물의 무게비는 2.52%였고 추가적으로 T.S.P를 첨가하여 부유선별을 실시한 결과 각각 92.74%, 2.26%로 As제거율은 증가하고 부상물의 무게비는 감소하였다. 두 실험의 부상물을 대상으로 입도분석을 진행한 결과, T.S.P를 첨가하지 않은 부상물은 평균입도가 19.34  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ 이하의 양이 전체의 40.2%인 반면 T.S.P를 첨가할 경우, 각각 176.8  $\mu\text{m}$ , 6.5%였으며 이를 통해 미립입자의 부유가 억제되었음을 확인하였다. 또한 X.R.F 분석을 통해 두 실험 부상물의 실리카( $\text{SiO}_2$ )함량을 비교해본 결과, T.S.P를 첨가하지 않은 경우 42.74%, 첨가한 부상물의 경우 29.56%로 실리카계열의 친수성입자가 효과적으로 분산되어 부유가 억제되는 결과를 확인하였다.

**주제어** : 상동광산, 광물찌꺼기, As, 제3인산나트륨, 분산

#### Abstract

Froth flotation was performed to study the effect of phosphate addition in the experiment to remove As from tailing of Sangdong Mine. The experiment without Trisodium phosphate (T.S.P) showed that the removal rate of As was 88.7% and weight-ratio of floating material was 2.52%. By contrast, the experiment with T.S.P showed that the removal rate of As was 92.74% and weight-ratio of floating material was 2.26%. In flotation without T.S.P, the average particle size of float material was 19.34  $\mu\text{m}$  and the amount less than 10 $\mu\text{m}$  was 40.2%. On the other hand, in flotation with T.S.P the average particle size of float material was 176.8  $\mu\text{m}$  and the amount less than 10 $\mu\text{m}$  was 6.5%. The result of X.R.F analysis presented that contents of  $\text{SiO}_2$  was 42.74% in float material of the experiment without T.S.P. In contrast, contents of  $\text{SiO}_2$  was 29.56% in float material of the experiment with T.S.P.

**Key words** : Sangdong mine, Tailings, As, Trisodium phosphate, Dispersing

· Received : August 7, 2014 · Revised : September 29, 2014 · Accepted : October 8, 2014

<sup>✉</sup>Corresponding Author : Heon Chan Kang (E-mail : hckang@dau.ac.kr)

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, 37 Nakdong-Daero 550 beon-gil, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

Tel : +82-51-200-7768 / Fax : +82-51-200-7771

©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.** Chemical composition of Raw sample (unit : %)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Sangdong W-Mo mine tailing	60.89	8.06	12.53	10.68	1.74	1.34	0.07	0.59	0.52	0.20

## 1. 서 론

상동광산은 강원도 영월군 상동읍 구래리에 위치하는 중석광산으로 1916년부터 개발이 시작되어 약 80년간 가행되었으며 우리나라 중석 총생산량의 80%이상, 세계 중석 생산량의 약 10%이상을 차지하는 단일광산으로는 세계 최대 규모의 광산이었다<sup>1)</sup>. 1994년에 폐광되었으며 선광 처리 후 발생한 광물찌꺼기의 양은 약 1200만톤으로, 차단형 매립방식 형태로 구폐제담과 신폐제담에 나뉘어 적치되어 있다<sup>2)</sup>. 그러나 이러한 차단형 매립방식의 적치장은 시공이 용이하나 시설의 노후화, 적치장 관리의 불안전, 기후 등의 영향으로 토사 붕괴의 위험은 물론 이들의 유실로 인한 주변 지역으로의 오염물질 확산 등 광해 재발의 가능성이 농후하다<sup>3)</sup>. 실제로 환경부에서 실시한 폐금속광산 토양오염실태 조사에 따르면 상동광산 광물찌꺼기 적치장 주변과 선광장 토양에서 독성 중금속인 As함량이 농경지 기준 우려기준치를 초과하는 것으로 조사 되었으며<sup>1)</sup> 이는 상동광산 광물찌꺼기 적치장으로부터 중금속을 함유한 광물찌꺼기가 비산, 태풍, 우수 등에 의해 유실되어서 주변 토양에 분산 및 퇴적됨으로써 토양은 물론, 농경지 및 수계 등 생태계에 위협요소가 되고 있음을 말해준다<sup>4)</sup>. 따라서 상동광산 광물찌꺼기 내 중금속 및 특히 As의 근본적인 처리를 통한 무해화 공정이 시급한 실정이다. 대부분의 무해화 기술은 흡착 또는 침전에 의한 오염매질로부터의 분리 또는 고정화에 의한 매질로부터의 용출 억제 등에 주력하고 있지만<sup>5)</sup> 원천적인 중금속 제거 기술로는 부유선별법이 타 방법에 비해 중금속 제거 효과가 큰 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 하지만 상동광산 광물찌꺼기의 경우 중석광석 원광을 습식분쇄하여 부유선별을 거쳐 WO<sub>3</sub>를 70%까지 농축하는 과정과 화학처리를 실시하였으므로 발생한 슬러리는 미분말로써, Median경(D<sub>50</sub>)이 10~30um로 매우 미립의 입자들로 이루어져 있는 것으로 조사되어 있다<sup>7)</sup>. 이러한 미립자들은 부유선별에서 복잡한 문제를 일으킬 수 있다. 즉, 친수성 광물 입자들이 광액 속에서 분산되지 못하고 응집되어 있으면 이들이 기포에 우선적으로 붙어서 목적으로 하는 광물과 기포의 접촉을 방해하고 또는 친수성 광물 입자들이 포수작용을 받지 않았음에도 불구하고 기계적인 요인에 의

**Table 2.** Heavy metal concentrations measured in Raw sample (unit: mg/kg)

	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Countermeasure standard	75	12	450	600	900
Worrisome level	25	4	150	200	300
Raw sample	285	1.96	52.82	48.65	123.45

해 기포 사이에 끼어서 부유하는 문제가 발생 할 수 있다. 이러한 경우 친수성 광물 입자들이 충분히 분산되어 있다면 기포들 사이로 물과 함께 흘러 내려갈 수 있을 것이다<sup>8)</sup>. 상동광산 광물찌꺼기 부유선별의 경우 잘은 입도의 친수성 맥석광물이 함께 부유되는 것을 방지하기 위해서 이들이 응집되지 못하도록 분산상태에 두는 것이 효율적이라고 사료된다. 따라서 분산제 첨가를 통한 맥석 미립자의 분산효과가 필요하다고 판단되어 광물찌꺼기의 As제거 부유선별에서 유제품의 분산제로 사용되는 인산염인 Trisodium Phosphate(이하 T.S.P)의 첨가에 따른 영향을 알아보려고 본 실험을 진행하였다.

## 2. 실험시료 및 실험방법

### 2.1. 실험시료

실험에 사용된 시료는 강원도 영월군 상동읍에 위치한 상동중석광산 구폐제담에 적치되어 있는 광물찌꺼기로서 선행조사 결과에 따르면 구폐제담 광물찌꺼기는 As의 오염이 매우 심각하고 As의 존재형태로는 황화광물인 황비철석(FeAsS)의 형태로 존재하고 있는 것으로 알려져 있다<sup>9)</sup>. Table 1은 시료의 X.R.F분석 결과로써, SiO<sub>2</sub>의 함량이 60.89%으로 대부분을 이루고 있었으며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또한 10% 내외로 높은 함량을 나타내었다. 이는 상동광산 광물찌꺼기의 경우 실리카 계열 광물들의 함량이 높고 Ca계열의 광물도 다량 포함되어 있는 시료임을 보여준다. 다음으로는 실제 시료의 As함량과 여타 중금속들의 함량을 파악하기 위해 토양오염공정 시험법으로 화학분석을 진행하였고 결과는 Table 2와 같다. 분석결과 Cd, Cu, Pb, Zn의 경우 함량이 토양오염공정 1지역 우려기준치 미만으로 함유되어 있어 위험성이 적었으나 As의 경우 함량이 약 285 ppm

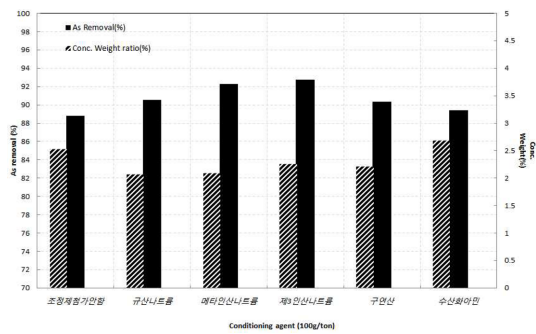
**Table 3.** Particle size distribution of Raw sample

Size (mesh)	+60	60-100	100-140	140-200	200-270	270-325	325-400	400-500	-500	Total
Weight (%)	1.51	1.91	3.39	2.71	7.97	4.43	8.24	15.13	54.71	100.00

으로 1지역 우러기준치는 물론, 대책 기준치조차 크게 초과함으로써 상동광산 광물찌꺼기의 As오염의 정도가 매우 심각하며 이에 따라 광물찌꺼기의 As제거를 위한 공정이 필요함을 확인 할 수 있었다. Table 3은 원광시료를 충분히 해쇄하여 체가름을 통해 입도분석을 진행한 결과로서 500 mesh이하의 입도를 가진 시료가 전체의 50%이상으로 대부분이 매우 미세한 입자들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 상동광산 광물찌꺼기의 경우 선광과정에서 WO<sub>3</sub>를 최대로 회수하기 위해 여러 번의 분쇄 및 마광 후 요동데이블, 부유선별과 화학적 처리 공정을 거쳤고 또한 다양한 공정에서 광물찌꺼기가 발생하였기 때문에<sup>8)</sup> 여타 금속광산 광물찌꺼기에 비해 상대적으로 입도가 작은 것으로 사료 되어진다.

### 3. 실험방법

광물찌꺼기 내에서 황화광물인 황비철석의 형태로 존재하는 As를 제거하기 위한 기초 부유선별을 실시하였다. 선행 연구결과<sup>9)</sup>를 바탕으로 포수제로는 황화광물 포수제로 잘 알려진 Potassium amyl xanthate(이하 K.A.X)를 300 g/ton 첨가하여 사용하였고 기포제는 DF250을 200 g/ton, 광액의 pH는 6, 광액의 농도 30%, 교반속도는 1500 rpm으로 부유선별 효율에 영향을 주는 인자들을 고정시킨 후에 부유시간과, 광액의 온도(30±2°C) 등을 일정하게 선정하여 부유선별을 진행하였다. 다음으로는 각각의 조정제를 첨가하여 분산작용을 통한 실리카 계열 친수성 광물들의 부유를 억제하고, As제거효율을 높이기 위하여 앞선 실험과 동일한 조건에서 유제품의 분산제로 사용되는 인산염인 T.S.P를 포함하여 실리카 계열의 분산 및 부유억제에 효과적인 Sodium silicate, Sodium meta phosphate(이하 S.M.P)와 중금속 제거를 위해 토양세척에서 사용되는 Citric acid, Hydroxyl amine을 각 실험별로 100 g/t 첨가하여 그에 따른 효과를 보고자 각 시약별 부선실험을 진행하였다. 실험이 진행된 후 급광시료와 회수된 부상물, 침강물 시료는 여과, 건조 후 토양오염공정시험법으로 AAS를 이용해 화학분석을 진행하였고 시약의 효과를 확인하기 위하여 실체현미경을 이용한 관찰과 XRF분석, 입도분석을 진행하였다.



**Fig. 1.** The removal rate of As and floating material weight ratio according to the regulator types.

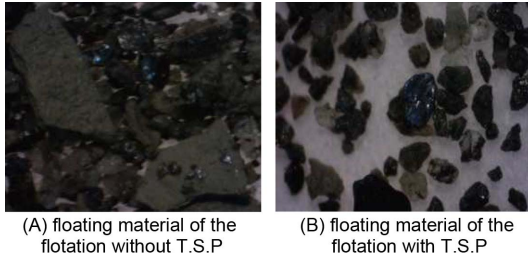
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1. 부유선별 결과

Fig. 1은 각 조정제 종류에 따른 부유선별 실험의 As 제거율과 부상물의 무게비를 나타낸 것이다. 먼저 조정제를 첨가하지 않은 부유선별에서는 As제거율이 88.78%로 나타났으며 부상물의 무게비는 2.52%였다. 반면에 각각의 조정제를 첨가한 실험에서는 전체적으로 As제거율이 첨가하지 않았던 실험에 비해 증가하였고 특히 T.S.P를 첨가한 실험에서 As제거율이 92.74%로 가장 크게 증가하였으며 다음으로 S.M.P, Sodium Silicate, Citric Acid, Hydroxyl Amine 순으로 As제거율이 높았고 대개 인산염계열의 조정제가 As제거를 증가에 효과적이었다. 부상물 무게비의 경우 Hydroxyl Amine을 첨가한 실험을 제외하고, 모든 실험에서 조정제를 첨가하지 않은 부유선별의 부상물 무게비보다 줄어들었으며 이는 조정제의 첨가를 통해 As의 농축이 더 잘 이루어졌다고 할 수 있다. 실험결과 T.S.P를 첨가한 실험이 가장 효과적이었는데 T.S.P는 Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>의 화학식을 가지는 인산염의 한 종류로서 유제품의 분산제로 사용될 뿐만 아니라 청관제, 세척제, 윤활제, 세정제, 얼룩제거제 및 식품에도 사용되어지는 화합물이다. 무기질 이온을 이용한 분산제의 작용기작은 분산제의 종류에 따라 약간씩 다르지만 대부분 입자표면의 전기적 반발력을 증가시켜 분산의 안정화를 유지시키며 T.S.P와 같은 중합인산염의 경우도 수용액속에서 해리되어 입자 표면에 쉽게 흡착하여 전하를 띠는 무기질 이온 물질로 알려져 있다<sup>10)</sup>.

**Table 4.** As contents of Tailing according to the regulator types (unit: mg/kg)

Regulator type (100g/ton)	None	Sodium Silicate	S.M.P	T.S.P	Citric Acid	Hydroxyl Amine
Countermeasure standard	75					
Worrisome level	25					
Tailing	19.5	18.6	17.0	16.4	19.0	21.1



**Fig. 2.** Floating material images using stereoscopic microscope.

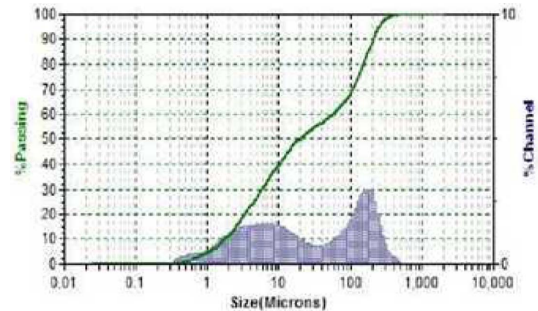
**4.2. 토양오염공정기준치에 따른 각 실험별 무해화정도**

Table 4는 각 실험별 침강물의 As함량을 나타낸 것이다. 조정제를 첨가하지 않았던 부유선별의 경우 침강물의 As함량이 약 19.5 ppm였으며 조정제를 첨가한 모든 실험에서도 침강물의 As함량을 1지역 우려기준치인 25 ppm 이하로 낮출 수 있었다. 특히 T.S.P를 첨가한 실험의 경우 침강물 As함량이 16.4 ppm으로 가장 성적이 좋았으며 토양 세척제인 Hydroxyl Amine을 첨가한 부선을 제외하고는 각 조정제를 첨가할 경우 부유선별 후 침강물 As함량이 더욱 낮아지는 결과를 확인하였다.

**4.3. T.S.P 첨가에 따른 부상물 현미경 관측**

각 실험들 중에 As제거효율이 가장 우수했던 T.S.P의 첨가에 따른 영향을 알아보았다.

Fig. 2는 T.S.P를 첨가하지 않은 부선실험과 첨가한 부선실험에서의 각각의 부상물을 실제현미경으로 관찰한 사진이다. 첨가하지 않은 부선의 부상물을 살펴보면 미립입자들이 뭉쳐서 형성된 응집체들을 쉽게 관찰할 수 있다. 반대로 T.S.P를 첨가한 부상물을 보면 응집체가 상대적으로 적게 형성된 것을 확인 할 수 있다. 이러한 응집체들은 작은 미립자들이 표면전위와 반발력이 작을 때, 입자들이 서로 근접하여 총 전위가 작아짐에 따라 입자들 간의 충돌이 일어나게 되는데 이러한 경우에 분산을 안정화시키는 입자 표면에 보호막이 없어짐에 따라 응집체는 형성되게 된다<sup>10)</sup>. 따라서 T.S.P를 첨가한 경우 상대적으로 부상물에서 응집체가 적게 발견



**Fig. 3.** Particle size analysis of floating material in the experiment without T.S.P.

**Table 5.** Particle size analysis of floating material in the experiment without T.S.P

Tile(%)	10	20	30	40	50	10um below(%)
Size(um)	1.77	3.34	5.81	9.99	19.34	
Tile(%)	60	70	80	90	95	40.2
Size(um)	56.65	107.6	153.1	205.9	248.8	

되는 이유는 T.S.P가 광액 속에서 해리됨으로써 생성되는 인산음이온( $PO_4^{3-}$ )이 석영과 같은 실리카계열 친수성 광물들의 표면에 전하밀도를 높게 형성하게 하여 미립 입자들의 정전기적 인력을 방지함으로써 응집체의 형성이 상대적으로 감소한 것으로 사료되어진다.

**4.4. T.S.P 첨가에 따른 입도분석**

Fig. 3과 Table 5는 T.S.P첨가에 따른 미립의 맥석입자들이 분산 및 억제작용을 통해 부유가 억제되었는지 확인하기 위하여 T.S.P를 첨가하지 않은 실험의 부상물의 입도분석을 진행한 결과를 나타낸 것이다. 평균입도는 19.34 um로 상당히 작은 입자들이 대부분인 것을 확인하였다. 또한 실제 부유선별에서 응집으로 인해 부선 효율을 저하에 영향을 미칠 수 있는 입도의 범위는 보통 10 um 이하의 입자들로 알려져 있으며<sup>8)</sup> 본 실험에서 부상물의 이러한 입도 구간의 양을 확인해본 결과 T.S.P를 첨가하지 않은 실험의 부상물에서는 10 um이하의 양이 약 40.2%로 절반에 가까운 양이었으며 이는 부선

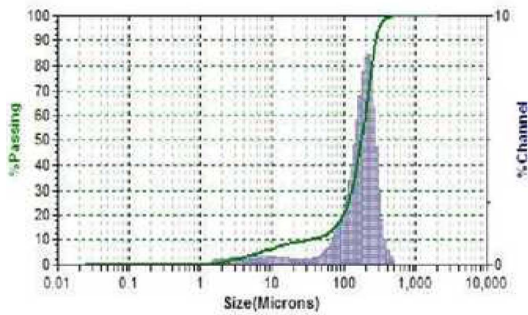


Fig. 4. Particle size analysis of floating material in the experiment with T.S.P.

Table 6. Particle size analysis of floating material in the experiment with T.S.P

Tile(%)	10	20	30	40	50	10um below(%)
Size(um)	33.1	97.2	12.97	155.0	176.8	
Tile(%)	60	70	80	90	95	6.5
Size(um)	197.2	218.5	243.4	279.4	311.6	

효율을 저하 시킬 수 있는 입도구간의 맥석입자들이 함께 동반 부유하였음을 확인 할 수 있다. 반면 Fig. 4와 Table 6은 T.S.P를 첨가한 부상물의 입도분석 결과로써 부상물 평균입도가 176.8 um로 매우 커지는 것을 확인하였고 10 um이하의 양도 부상물 전체의 약 6.5%로, 상대적으로 크게 감소하였다. 따라서 T.S.P를 첨가함에 따라 미립입자의 부유가 분산을 통해 억제되는 결과를 확인 할 수 있었다.

4.5. T.S.P 첨가에 따른 부상물 X.R.F 분석

다음으로는 T.S.P첨가로 인한 미립자들의 분산을 통해 두 부상물의 실리카계열(SiO<sub>2</sub>) 함량의 변화를 파악하기 위해 X.R.F분석을 실시하였다. Table 7은 그 결과를 나타낸 것으로 조정제 첨가 없이 실시한 부선의 경우 부상물에서 SiO<sub>2</sub>함량이 42.74% 정도로 상당히 높은 함량을 나타낸 반면, T.S.P를 첨가한 부선의 경우 부상물의 SiO<sub>2</sub>함량이 29.56%로 상대적으로 크게 감소함을

Table 7. Chemical composition of floating material (unit : %)

	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
(A) none	42.74	19.74	15.08	10.26	6.68	1.99	0.77	0.66	0.56
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
(B) T.S.P addition	29.56	19.95	30.71	5.206	6.25	1.05	0.97	0.23	0.35

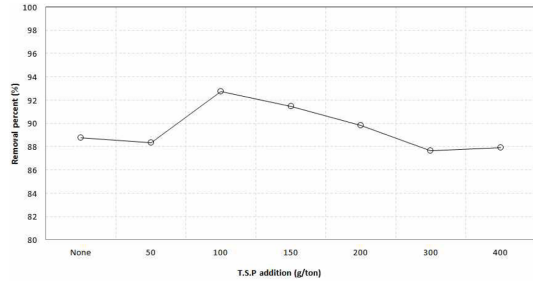


Fig. 5. The removal rate of As according to T.S.P addition.

확인할 수 있다. 즉 광물찌꺼기의 As제거를 위한 황화 광물 부선에서 T.S.P를 조정제로 첨가함에 따라 실리카 계열 미립입자의 응집체 형성을 억제하고 분산작용을 통해 우발적인 부유를 방지하는 결과를 확인하였다. 따라서 As제거율을 향상시키고 부상물의 무게비를 감소시키는 조정제로서 T.S.P가 효과적인 것으로 판단된다.

4.6. T.S.P 첨가량별 부유선별 결과

광물찌꺼기의 As제거를 위한 부유선별에서 각 조정제의 첨가를 통해 분산작용을 통한 미립입자의 부유 억제에 대한 효과를 알아보기 위해 T.S.P를 100 g/ton첨가하여 실험을 진행했으나 부선실험에서 음이온 포수제를 사용할 경우, T.S.P가 수용액속에서 해리되어 발생하는 인산염이온(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)이 포수제의 광물표면에 대한 흡착을 방해할 수도 있으므로 적정 첨가량을 선정하기 위해 추가적으로 T.S.P 첨가량별 실험을 진행하였다. 앞선 실험에서와 동일 조건에서 T.S.P 첨가량을 50 g/ton에서 400 g/ton까지 변화를 주면서 실험을 진행하였고 그에 따른 As제거율을 Fig. 5에 나타내었다. 결과를 보면 T.S.P를 50 g/ton 첨가하였을 경우 T.S.P를 첨가하지 않은 실험과 As제거율이 크게 차이가 나지 않았지만 100 g/ton을 첨가할 경우 As제거율이 향상되었으며 그 이상을 첨가할 경우 오히려 As의 제거율이 감소되는 경향을 확인하였다. 따라서 As제거를 위한 부유선별에서 T.S.P를 조정제로 첨가할 경우 분산효과를 통해 실리카계열의 맥석입자들의 우발적인 부유를 억제하는 효과를 확인하였지만

100 g/ton을 초과하여 과하게 첨가할 경우 오히려 As제거 효율이 감소하므로 적정첨가량에 유의해야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

상동광산 광물찌꺼기의 부유선별에서 인산염첨가의 영향에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 친수성 맥석미립자의 분산을 통해 As제거율을 높이고 부상물의 무게비를 줄이기 위해 유제품의 분산제로 사용되는 인산염인 T.S.P를 포함하여 실리카 계열의 분산 및 억제에 효과적인 Sodium silicate, S.M.P와 중금속 제거를 위해 토양세척에서 사용되는 Citric acid, Hydroxyl amine을 첨가하여 부유선별한 결과, T.S.P를 첨가한 부선의 경우 As제거율이 92.74%, 부상물 무게비 2.26%로 가장 효과적이었다.

2. T.S.P를 첨가한 부선의 부상물을 실체현미경으로 관찰한 결과 응집체의 양이 T.S.P를 첨가하지 않은 실험의 부상물보다 상대적으로 적었다.

3. T.S.P 첨가 없이 진행한 부유선별의 경우 부상물의 평균입도가 19.34 um, 10 um이하의 양이 약 40.2%로 작은 미립자들이 많은 부유한 반면 T.S.P를 첨가한 경우 부상물의 평균입도는 176.8 um, 10 um이하의 양은 약 6.5%로 상대적으로 미립자의 부유가 억제되었음을 확인 하였다.

4. 실제 각 실험 부상물의 실리카(SiO<sub>2</sub>)함량 비교해 본 결과, T.S.P를 첨가하지 않은 경우 부상물의 실리카(SiO<sub>2</sub>)함량은 약 42.74%로 석영과 같은 실리카계열 맥석입자가 많이 부유했음을 확인하였고 T.S.P를 첨가함으로써 실리카(SiO<sub>2</sub>)함량이 약 29.56%로 크게 감소함을 확인하였다.

5. 추가적으로 T.S.P첨가량에 따른 부유선별을 진행한 결과 100 g/ton에서 As제거율이 가장 좋았으며 첨가량을 100 g/ton 초과하여 첨가할 경우 점진적으로 As제거 효율이 감소하는 경향을 확인하였다.

6. 평균 As함량이 285 ppm인 상동광산 광물찌꺼기의 As제거를 위한 부유선별에서 T.S.P를 첨가하지 않은 경우 침강물의 As함량이 19.5 ppm이었으나 T.S.P를 첨가함으로써 침강물의 As함량을 16.4 ppm까지 더욱 낮출 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(과제번호: 13RDRP B066470)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Yong-Su Choi et al, 2003: Survey of contamination of soil in abandoned mine, Ministry of Environment.
2. Man Hee Kang, 2004: A study on vertical variation of elements and possibility of recycling for tailings from the sangdong W mine, Korea, A master's thesis in seymung university.
3. Mine Reclamation Corp, 2010: Result report of Project on Harmlessness of Tailing of SongCheon Mine, pp. 1-3, Korea.
4. Am Jang, Yong su Choi, Kyoung woog Kim, In s. Kim, 1999: Characteristics of Heavy Metals in Tailing Wastes from Closed Metal Mine Area, J. of Korean Society of Environmental Engineers, 21(1), pp. 41-52.
5. Jung woo Kang, Tae bum Choi, Yong ho Seon, Yoon young Chang, 2003: Stabilization of Contaminated Soils by Heavy Metals using Ca-Phosphates, J. of Korean Society of Environmental Engineers, 25(5), pp. 554-559.
6. Jong mun Cha, Jay hyun Park, Heon Chan Kang, 2012: Mineralogical Characteristics and Removal of Heavy Metals from Gum-poong Mine Tailings, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 21(6), pp. 51-57.
7. Moon young Jung, Yun wang Choi, Myung chae Jung, 2006: Properties of the Tailings from the Sangdong Mine and Its Recycling, J. of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 43(5), pp. 486-497.
8. Kang moon Lee, 1995: Chapter3. Chemichophysical sorting processing, Mineral Processing Engineering, pp. 277-279, Bando Publishing, Korea.
9. Min sik Kim, Sang ho Lee, Mi jeong Park, Hong il Choe, In jae Yang, Heon chan Kang, 2013: Study on the Removal As from Tailing of Sangdong Mine using Froth Flotation, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 22(5), pp. 43-49.
10. Jong deuk Kim, 2000: Chapter6. Non-equilibrium dispersing, Theory of interface phenomenon, pp. 293-516, Arche Publishing, Korea.



**황 민 수**

- 동아대학교 에너지·자원공학과 공학사
- 현재 동아대학교 에너지·자원공학과 석사과정



**강 현 찬**

- 동아대학교 금속공학과 공학사
- 동아대학교 금속공학과 공학석사
- 동아대학교 금속공학과 공학박사
- 현재 동아대학교 에너지·자원공학과 교수



**김 소 연**

- 강원대학교 에너지·자원공학과 공학사
  - 현재 동아대학교 에너지·자원공학과 석사과정
-