

## 유기 및 무기응집제를 이용한 산성광산배수 침전 연구

오택근 · 황원정 · 이종운\* · †차종문

동아대학교 에너지·자원공학과, \*전남대학교 에너지자원공학과

### Precipitation of Acid Mine Drainage Using Coagulants and Flocculants

Taek-Geun Oh, Won-Jeong Hwang, Jong-Un Lee\* and †Jongmun Cha

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

\*Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

#### 요 약

산성광산배수(Acid mine drainage; AMD)를 처리하기 위한 자연정화시설의 반응조는 긴 체류시간을 위해 넓은 면적이 요구되며, 집중호우로 인해 유량이 급격히 늘어나는 여름에는 체류시간 부족으로 반응이 충분히 일어나지 못하고 많은 오염물질이 유출수로 빠져나가는 현상이 발생한다. 본 연구에서는 국내 부지 및 환경 특성으로 인해 넓은 면적이 요구되는 자연정화시설을 설치하기에 어려움이 있는 폐광산의 AMD에 응집제를 사용하여 빠른 시간 내에 오염물질을 침전시키고 탁도를 개선하는 연구를 진행하였다. W광산에서 배출되는 AMD에 무기응집제 PAC (Poly Aluminium Chloride)와 유기응집제인 PAM (Polyacrylamide) 성분이 포함된 고분자응집제를 사용하여 AMD의 상등수 및 여액의 증감속 농도와 침전된 슬러지의 형태를 파악하기 위해 입도분석, ICP-OES, SEM-EDS 분석을 실시하였다.

**주제어** : 산성광산배수(AMD), 무기응집제, 유기응집제, 탁도, 슬러지

#### Abstract

The passive treatment was required a large area for the treatment of acid mine drainage (AMD), and pollutants were discharged with mine drainage by the increased flow rate in summer. This study was performed to improve the turbidity and to precipitate the pollutants quickly using coagulants and flocculants in AMD of abandoned mine sites that were difficult to build the passive treatment system. The coagulant PAC (Poly aluminium chloride) and flocculant PAM (Polyacrylamide) were selected to improve turbidity in W mine waters. We also tested the particle size analysis, ICP-OES and/or SEM-EDS for water and sludge samples.

**Key words** : Acid mine drainage (AMD), Coagulant, Flocculant, Turbidity, Sludge

#### 1. 서 론

폐광된 광산은 다양한 형태의 광해를 유발하게 되며

특히 지하에 있던 황화광물이 대기와 물에 노출되어 발생하는 산성광산배수(acid mine drainage)를 배출하게 된다. 이러한 산성광산배수는 하천을 산성화시키고, 적

· Received : February 4, 2016 · Revised : March 30, 2016 · Accepted : April 15, 2016

†Corresponding Author : Jongmun Cha (E-mail : jmcha@dau.ac.kr)

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, 37 Nakdong-Daero 550 beon-gil, Saha-gu, Busan, 49315, Korea

©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.

갈색 수산화철의 침전물을 형성시키며, 산림훼손, 지반 침하 등 주변 수질 및 토양의 환경에 큰 피해를 주고 있다.<sup>1-3)</sup>

광산배수량이 많고 오염 부하가 큰 경우에는 적극적인 수처리(active treatment) 방법을 이용하는데 응집·침강법이 주로 사용되고 있다. 응집·침강법은 pH 조절에 의한 유해한 중금속을 침강시켜 제거한다. 자연정화법은 자연의 생물학적, 화학적 반응을 이용하는 방식으로 산성의 광산배수를 중화시켜 중금속 이온을 침전시켜 제거하는 방식으로 광산배수량이 적은 곳에 적용할 수 있는 효과적인 기술이다.<sup>1,4)</sup> 하지만 국내는 계절마다 강우량의 차이가 크기 때문에<sup>5)</sup> 정화능력이 저하된 자연정화시설이 여러 존재한다.

국내 광산배수 정화 공정 중 침전조의 용존 물질을 침전시키기 위해서는 넓은 면적의 침전조를 설치하여야 하나, 좁은 작업장 부지 특성 측면에서는 용존 물질을 빠른 시간 내에 침전시키기 위해 응집제를 투입하는 방안을 고려할 수 있다. 응집제는 수중에 분산되어 있는 고체 입자를 플러리로 형성시켜 침전과 여과 등 고액 분리가 용이하게 되도록 첨가하는 약품이다. 응집제를 투입함으로써 전기화학적으로 안정한 미세 입자의 안정성을 파괴시키고 물리적인 급속 교반에 의해서 입자를 서로 접촉시켜 작은 플러리를 형성시켜 완속 교반에 의해 플러리를 성장시켜서 중력 침전을 통해 수중의 미세 입자를 제거할 수 있다.<sup>6,9)</sup> 또한 수중의 미세입자가 침전되면서 상등수의 탁도가 개선된다. 응집제를 첨가함으로써 용존 물질의 응집 작용으로 형성된 플러리의 여과 및 탈수 효과가 상승한다.<sup>10-11)</sup> 응집제는 크게 무기계 응집제와 유기계 고분자 응집제로 구분된다. 무기응집제는 전위의 중화로 인하여 반발력이 없어지고 반데르발스인력에 의하여 소규모의 1차 플러리를 생성시키는 응고(Coagulant)작용을 한다. 응고작용에 의해 형성된 미세 플러리는 입자크기 및 침강속도가 증가되나 입자의 직경이 상대적으로 작은 상태이므로 조대화된 플러리의 형성이 필요하다. 이 작용을 응집(Flocculation)이라고 하며, 이때 첨가되는 약품을 유기 고분자 증집제라고 한다.<sup>8,9)</sup> 대부분의 응집제는 유해 위험성이 작고 상온 상압 하에서

화학적으로 안정한 것으로 보고되고 있으며, 현재까지는 생체 축적성이 없는 등 독성이 없는 것으로 알려져 있다. 국내에서는 아직 광산배수에 관한 응집제 적용 연구가 매우 적은 실정이다.<sup>12-13)</sup>

본 연구에서는 국내 부지 및 환경 특성으로 인해 자연정화시설을 설치하기에 어려움이 있는 폐광산의 산성 광산배수를 응집제 사용을 통하여 빠른 시간 내에 용존 물질을 침전시키기 위한 목적으로 실험을 진행하였다. W광산의 유출수에 무기응집제와 유기응집제를 단일로 투여한 후 교반하여 탁도 개선에 따른 응집제 적정량을 찾기 위한 실험과 응집제에 따른 중금속 침전특성 연구를 진행하였다.

## 2. 현장 개요 및 실험 방법

### 2.1. 현장 개요

강원도 강릉시에 위치한 W광산 자연정화시설의 갱내수와 유출수의 기본적인 현장 수질을 측정하였다(Table 1).

W광산 자연정화시설 갱내수의 pH는 3~4인 산성이며 최종방류수의 pH 또한 3~4로 변화가 거의 없었으며 최종 방류되는 수질의 철이온은 15.7 mg/L이며 산도는 346.87 mg/L로 정화가 원활히 이루어지지 않는 실정이다.

### 2.2. 실험 시료 및 방법

#### 2.2.1. 실험 시료

본 연구에서는 W광산의 유출수에 하천 및 수질정화 처리에 널리 사용되고 있는 무기응집제와 유기응집제를 선택하였다. 무기응집제로는 액상 폴리염화알루미늄(PAC) 17%와 유기 고분자 응집제로는 Nalco사의 9601PULV(PAM)를 선정하였다. PAC의 조성은  $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]m$  ( $1 \leq n \leq 5, m \leq 10$ )이며 분자량은 약 240이고 산화알루미늄( $Al_2O_3$ )의 함량은 10~11%이다. 유기고분자응집제 PAM은 음이온 고분자 응집제를 사용 하였으며 분자량은 약 300만이다. 응집제를 광산배수 시료에 바로 첨가하면 미세한 농도를 조절할 수 없었기에 1:1,000 비율로 희석한 응집제를 제조하였다.

Table 1. Water quality measurements of W mine water

		Rate of flow (t/day)	pH	EC ( $\mu$ S/cm)	Eh (mV)	Turbidity (NTU)
W mine	Inflow	332.64	4.25	1211	130	1.92
	Outflow	-	3.43	1126	175	2

2.2.2. 실험 방법

응집제의 특성상 적정량을 주입해야 응집 및 침전효과를 얻을 수 있기에 산성광산배수 수질에 적용 가능한 응집제의 적정량을 찾는 실험을 진행하였다. 먼저 채취한 W광산 수질시료 1L에 1:1,000비율로 희석한 PAC을 1 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm 만큼 첨가한 후 100 rpm으로 완속교반을 15분간 실시하였다. 다음으로 10분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간 동안 침전을 시켜 각 시간마다 탁도, pH를 측정하였다. 자연정화시설의 침전조에서는 반응시간을 48시간을 기준으로 하지만 본 실험에서는 응집제를 사용하였기에 용존 물질이 응집 반응을 하고 침전되는 시간을 3시간으로 가정하고 실험을 진행하였다. 마찬가지로 유기 고분자 응집제(이하 PAM)와 증류수를 1:1,000비율로 희석하여 응집제 시료를 제조하였다. PAM은 1L 광산 수질시료에 희석한 PAM을 1 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm 첨가하고 300 rpm으로 급속교반을 3분간 실시한 후 10분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간 동안 침전시켰다. W광산 광산배수는 pH가 3~4사이로 매우 낮아 응집제를 첨가하여도 응집 및 침전효과를 볼 수가 없었으므로 W광산 배수에 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 먼저 첨가하여 pH를 중성으로 상승시킨 후에 응집제를 첨가하는 실험이 진행되었다. 침전된 슬러지를 채취하여 입도 분석을 실시하였고, 상등수와 침전된 슬러지의 중금속 농도를 측정하기 위해 ICP-OES분석을 실시하였다. 또한 침전된 슬러지의 입자 형태를 보기 위하여 건조한 슬러지 시료로 SEM-EDS 분석을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 무기 응집제 첨가 실험

W광산의 경우 pH가 3~4 정도로 낮아 산성을 띄고 있고 탁도도 낮아 응집제 PAC 및 PAM을 사용하더라도 효과를 크게 볼 수가 없었다. 이렇게 W광산과 같이 pH가 매우 낮은 산성광산배수를 배출하는 현장에는 주로 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 사용하여 pH를 중성으로 만들고 응집제를 사용하여야 응집 및 침전 효과를 볼 수 있다. 중화제(소석회)의 양은 pH가 중성으로 올라갈 때까지 주입하였다. W광산 배수의 경우 원수와 무기응집제 PAC을 첨가한 시료 모두 중화제를 첨가하였는데 중화제만 첨가한 시료와 중화제+PAC를 첨가한 시료의 탁도 차이는 크게 나지 않았다(Table 2, Fig. 1~2). Fig. 1에서 시간이 지날수록 탁도가 점점 낮아지는 것을 확인 할 수 있었으며, 180분이 경과하였을 때 무기 응집제 PAC 44 ppm의 양을 첨가한 시료의 탁도가 비교적 우수했다(Fig. 2).

3.2. 유기 응집제 첨가 실험

W광산 광산배수에 유기 고분자 응집제 PAM을 첨가하였을 때 플럭의 크기가 무기응집제 PAC를 첨가한 것과 큰 차이를 보였다. Table 3에서 보는 바와 같이 중화제만 첨가한 원수시료보다 중화제와 응집제를 함께 첨가한 시료의 탁도가 우수한 것을 확인할 수 있었다. 10분이 경과하였을 때 탁도가 50%이상 감소하였다. 또한 180분이 경과하였을 때 모든 시료가 한국의 먹는

Table 2. Turbidity and water quality of the wastewater at W mine as a function of time after adding the PAC

Coagulant dose(ppm)		10min	30min	60min	120min	180min
Raw water	Turbidity	4.75	2.71	1.48	0.81	0.63
	pH	7.11	7.1	7.07	7.05	7.09
42	Turbidity	4.7	2.96	2.01	1.24	1.09
	pH	6.96	6.97	6.9	6.93	6.99
44	Turbidity	4.52	2.01	1.05	0.53	0.41
	pH	6.92	6.95	6.96	6.96	6.96
46	Turbidity	4.72	2.24	1.29	0.92	0.46
	pH	6.96	6.93	6.96	6.94	6.97
48	Turbidity	4.74	2.94	1.59	1.09	0.59
	pH	7.07	7.07	7.05	7.08	7.08

Turbidity (NTU)

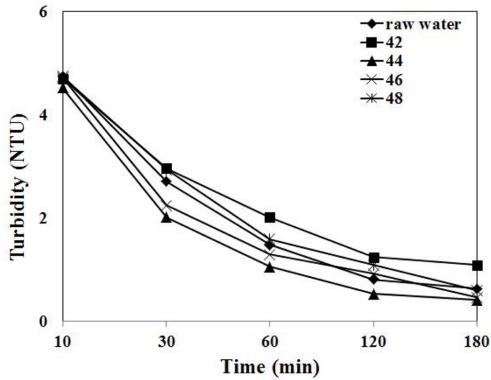


Fig. 1. Turbidity of the wastewater at W mine as a function of time after adding PAC.

물 탁도 기준인 1 NTU 이하로 나타났다. 유기응집제 PAM을 첨가하고 교반을 하였을 때 응집 효과가 즉시

일어났으며 시간이 지날수록 서서히 슬러지가 침전하였다(Fig. 3). 또한 180분이 경과하였을 때 유기응집제 PAM 10 ppm의 양을 첨가한 시료의 탁도가 비교적 우수하였다(Fig. 4).

중화제만 첨가한 시료(a)와 유기 고분자 응집제 PAM 10 ppm의 양을 추가로 첨가한 시료(b)는 육안으로 크게 비교가 되었다(Fig. 5). 광산배수 내 존재하는 슬러지의 응집이 매우 강하게 일어난 것으로 보아 고분자 응집제 PAM을 사용할 때 슬러지의 탈수 및 여과 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.3. 입도분석 결과

응집제를 첨가하였을 때 입도크기가 어떻게 변화하는지에 따라 슬러지의 탈수 및 여과 효과가 달라질 가능성이 있기에 응집제 첨가 후 침전된 슬러지의 입도분석을 실시하였다. 응집제를 첨가한 시료의 입도크기가 원

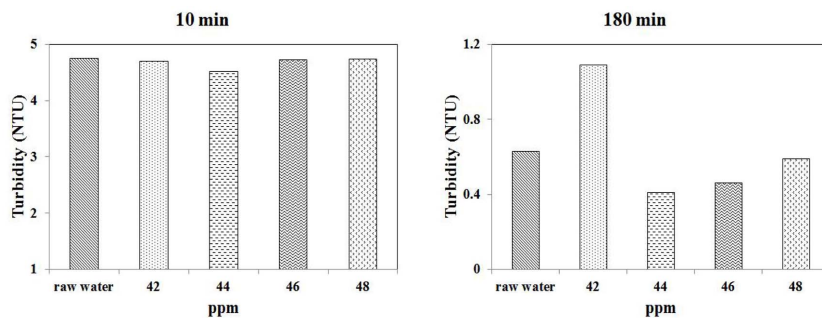


Fig. 2. Turbidity of W mine wastewater after adding PAC.

Table 3. Turbidity and water quality of the wastewater at W mine as a function of time after adding the PAM

Flocculant dose (ppm)		10 min	30 min	60 min	120 min	180 min
Raw water	Turbidity	5.32	2.7	1.75	0.99	0.74
	pH	6.94	6.98	7.01	6.99	6.98
5	Turbidity	2.09	0.96	0.87	0.77	0.53
	pH	6.79	6.74	6.79	6.81	6.83
10	Turbidity	0.66	0.54	0.46	0.31	0.28
	pH	6.89	6.93	6.91	6.95	6.93
15	Turbidity	1.42	0.58	0.51	0.5	0.44
	pH	6.67	6.71	6.71	6.69	6.72
20	Turbidity	0.62	0.61	0.46	0.33	0.3
	pH	6.96	6.97	6.98	7.03	7.01

Turbidity (NTU)

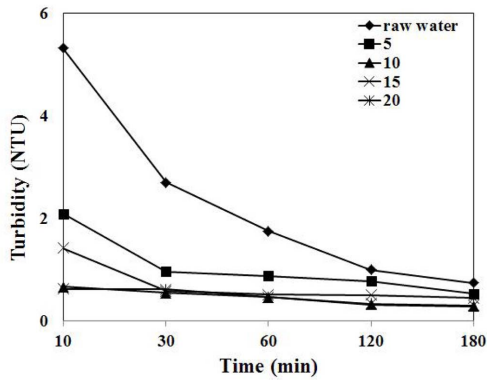


Fig. 3. Turbidity of the wastewater at W mine as a function of time after adding PAM.

수의 입도크기보다 더 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 특히 PAM을 첨가하였을 때 입도크기가 다른 응집제에 비해 매우 커지는 것을 확인할 수 있었다.

3.4. ICP-OES 분석 결과

응집제를 첨가하여 슬러지를 침전시킨 후, 상등수에 존재하는 중금속 이온과 침전된 슬러지의 중금속 침전

Table 4. Particle size distribution of the sludge samples at W mine (unit:  $\mu\text{m}$ )

Sample	d = 10%	d = 50%	d = 90%
Raw water	10.75	58.40	110.7
PAC	13.79	73.83	145.9
PAM	77.43	237.8	412.3

d = 10%: 10% cumulative under size particle size distribution  
 d = 50%: 50% cumulative under size particle size distribution  
 d = 90%: 90% cumulative under size particle size distribution

여부를 확인하기 위하여 ICP-OES 분석을 실시하였다. 현장에서 채취한 슬러지의 XRF분석 결과 슬러지에서 Fe 성분이 대부분 존재하였다. 응집제를 첨가하여 용존 물질 대부분을 침전시켜 탁도가 낮아졌으므로 상등수에는 Fe 농도가 거의 존재하지 않고, Fe 이온이 슬러지로 많이 침전된다고 예상할 수 있다.

W광산의 경우 전체적으로 Fe농도가 상등수에는 거의 존재하지 않으며 Fe이온이 슬러지로 대부분 침전되는 것을 확인할 수 있었다. 본 광산은 수질 오염 기준 중 오염물질 배출허용기준에서 “가”지역으로 해당되며 Fe 배출기준이 10 ppm이하였다. 중화제만 첨가한 원수의

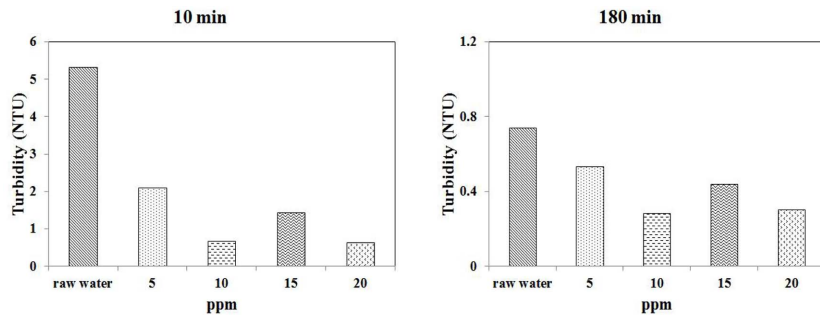


Fig. 4. Turbidity of W mine wastewater after adding PAM.

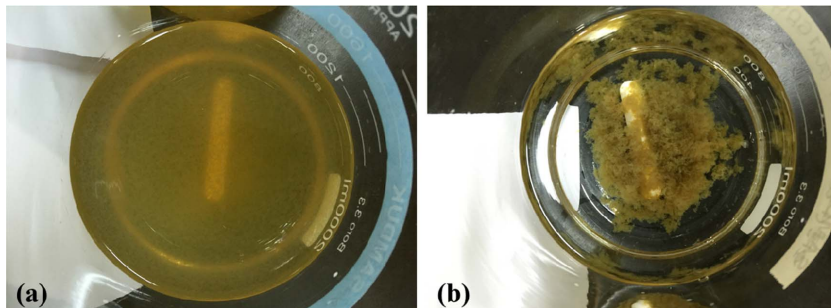
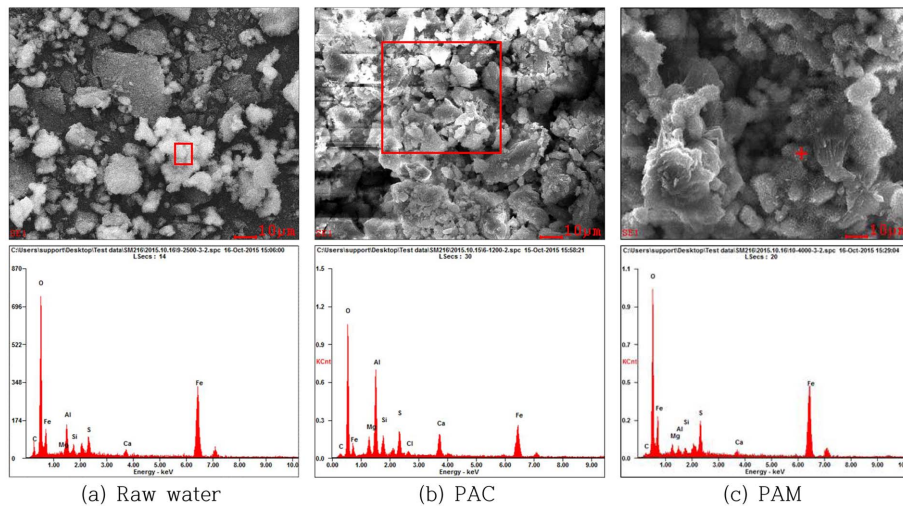


Fig. 5. Comparison only addition of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sample (a) with addition of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and PAM sample (b).

**Table 5.** Heavy metal concentration of water and sludge samples at W mine

Sample		Fe	Mn	Al	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Water (mg/L)	Mine water	121.44	4.15	35.95	N.D.	0.05	N.D.	0.03	0.16
	Discharged water	28.48	3.63	29.25	N.D.	0.01	0.01	0.01	0.12
	Raw water	N.D.	3.15	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	PAC	N.D.	2.84	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	PAM	N.D.	1.13	0.06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01
Sludge (mg/kg)	Raw water	140,631	3,642	107,365	3.71	64.51	62.87	96.35	414.61
	PAC	141,447	3,938	108,437	4.34	54.00	58.76	61.30	381.44
	PAM	154,469	3,089	85,454	2.27	59.72	32.08	80.07	317.84

**Fig. 6.** SEM-EDS analysis of precipitated sludges at W mine.

상등수에는 Fe 농도가 거의 존재하지 않는 것으로 보아 W광산 같이 pH가 매우 낮은 광산배수를 처리할 때 중화제만 첨가하는 것으로 Fe 농도 제거에 충분히 효과가 우수할 것이라고 사료된다.

### 3.5. SEM-EDS 분석 결과

광산배수 내에 존재하는 Fe이온들이 응집제를 첨가하여 슬러지로 침전될 시에 어떠한 입자 모양으로 침전되는지 확인하기 위하여 SEM-EDS분석을 실시하였다. ICP-OES분석 결과를 보면 광산배수 내에 존재하는 Fe이온이 대부분 슬러지로 침전되는 것으로 판단할 수 있다.

PAC를 첨가하였을 때 슬러지 형태가 각진 모양으로 형성되어 있으며, PAM을 첨가한 시료는 PAC를 첨가한 시료에 비해 둥근 모양의 입자를 가지고 있다. W광산 갱내수 및 슬러지에 Al이온이 Fe이온과 함께 다량 존

재하는 것으로 확인되었으며 ICP-OES 분석 결과와 유사한 것으로 판단된다. PAC를 첨가하였을 때 슬러지에서 Al의 농도가 비교적 높게 나타난 이유는 무기응집제 폴리염화알루미늄(PAC)이 슬러지와 함께 응집되어 침전된다고 사료된다. 중화제인 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)가 W광산 수질시료에 반응 후 침전되어 슬러지에 Ca의 peak가 나오는 것으로 판단된다(Fig. 6).

## 4. 결 론

본 연구에서는 유기 및 무기응집제인 유기 고분자 응집제(PAM)와 폴리염화알루미늄(PAC)을 이용하여 산성 광산배수에 적합한 각 응집제의 적정량을 선정하고 산성광산배수의 탁도를 개선하며 광산배수 내에 용존하고 있는 중금속의 침전과 침전된 슬러지의 입자 형태에

대해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. W광산 광산배수의 경우 pH가 3~4사이로 낮기 때문에 무기응집제 및 유기응집제를 원수에 투입하여도 효과가 없었다. pH를 중성으로 만들기 위해 소석회 ( $\text{Ca(OH)}_2$ )를 첨가하여 pH를 중성까지 상승시킨 뒤에 응집제 PAC과 PAM을 첨가하였다. PAC를 첨가할 때 44 ppm의 양이 0.41 NTU의 탁도를 가지며 효과가 비교적 우수했고, PAM 10 ppm 첨가하였을 때 탁도가 0.28 NTU로 효과가 비교적 우수하였다.

2. 산성광산배수에 응집제를 첨가하면 침전되는 슬러지의 입도가 더 커지는 것을 확인 할 수 있었으며 PAC를 첨가하면 침전된 슬러지의 입도가 약 1.3배, PAM을 첨가하면 약 4~9배 증가했다. 응집제를 첨가하면 슬러지의 입도가 조대화 되기 때문에 여과효과가 상승할 것이라 판단된다.

3. 상등수 수질 분석 결과 소석회와 응집제를 함께 첨가한 시료와 소석회만을 첨가한 시료를 비교하였을 때 수질 농도는 큰 차이는 없었다. 슬러지 분석 결과 중화제와 응집제를 첨가할 때 광산배수 내 존재하는 Fe 및 중금속 이온의 침전이 우수하였다.

4. SEM-EDS분석 결과 응집제 PAC을 사용하면 슬러지의 입자 모양이 각진 모양을 나타내었으며, PAM을 사용하면 약간 둥근 모양의 슬러지 입자형태를 가진다고 판단할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국광해관리공단의 지원을 받아 수행되었습니다.

### References

- Hyun-Ho Kwon and Gwang-Su Nam, 2013: *Mine Reclamation Prevention Engineering*, 2<sup>nd</sup> Ed., Dong Hwa, Kyung Gi, Korea, pp. 255-263.
- Sang-Woo Ji, Young-Wook Cheong, Gil-Jae Yim, Kyeong-Jo Kim and Hyun-Sung Park, 2012: "The Treatment Efficiency of the Oxidation/Settling Ponds in the Passive Mine Water Treatment Systems in South Korea", *The Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol. 49, No. 6, pp.788-798.
- Cheon-Young Park, Oh-Hyung Han, Dae-Yewn Shin and Young-Ui Hong, 2009: Seasonal Characteristics Variation of the Geochemical Components of Acid Mine Drainage and Yellow-colored Iron Hydroxide in the Abandoned GwangYang Gold Mine, South Korea, *The Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol. 46, No. 2, pp. 190-206.
- Young-Do Jo, Hyung-Seok Kim, Ji-Whan Ahn, 2007: "Precipitation Characteristics of Heavy Metal Ions in Coal Mine Drainage", *J. Miner. Soc.*, Vol. 20, No. 2, pp. 125-134.
- Gi-Ok Hong, Myung-Seok Seo, Deok-Kyun Na, Jong-Heom Kwak, 2006: "The Proportion and Fluctuations Trend of Rainy Season and Localized Heavy Rain in Korea Precipitation", *2006 Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, Korean Meteorological Society, Ilsan KINTEX, October 11-13, pp. 46-47.
- Yong-Su Park, A Study on the Pre-treatment Installation of Sewer Plant of Inclined Settler and Coagulation Agitator, MS Thesis, Suwon University.
- Seong-Won Lee, 2006: A Study on Conditioning using Polymers and Improvement of Dewaterability of Alum Sludge, Kwangwoon University, Korea.
- Kyu-Bong Sim, 2007: A Study of Al(III) Coagulation Characterization under Various Coagulation Condition, MS Thesis, Bukyong National University, Korea.
- Sun-Jon Lee, 2002: Effects of Single and Blended Coagulants on Organic Matters Removal in Coagulation Process, MS Thesis, Konkuk University, Korea.
- Young-Jun Song, Gye-Seong Lee, Kang-Ho Shin, Youn-Che Kim, Bong-Won Seo, Si-Nae Yoon, 2012: "Adsorption of Heavy Metals on Sludge from the Treatment Process of Acid Mine Drainage", *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, Vol. 21, No. 4, pp.35-43
- Gye-Seong Lee, Young-Jun Song, 2010: "Characterization of Leaching of Heavy Metal and Formation of Acid Mine Drainage from Coal Mine Tailings", *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, Vol. 19, No. 2, pp.54-62
- Jung-Seock Kang, Gil-Jae Yim, Eui-Young Seo, Young-Wook Cheong, Sang-Soo Kang, Gyoung-Man Kim, Chamteut Oh and Sang-Woo Ji, 2014: "The Improvement of Turbidity and the AMD Neutralization Applicability Assessment of the Dolomite Mine Dust Screen Water", *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, Vol. 51, No. 3, pp.366-376.
- Jung-Seock Kang, So-Keul Chung, Young-Wook Cheong, Eui-Young Seo, Gil-Jae Yim and Sang-Woo Ji, 2013: "Coagulation of Suspended Solids and Neutralization Capacity of Sludge in a Settling Pond of O Limestone Mine, *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, Vol. 50, No. 2 (2013) pp. 204-211.



오 택 근

- 동아대학교 에너지·자원공학과 공학사
- 동아대학교 에너지·자원공학과 공학 석사



황 원 정

- 동아대학교 에너지·자원공학과 공학사
- 동아대학교 에너지·자원공학과 공학 석사
- 현재 광주과학기술원 환경분석센터 연구원



이 종 운

- 서울대학교 자원공학과 공학사
- 서울대학교 자원공학과 공학석사
- 서울대학교 자원공학과 공학박사
- 현재 전남대학교 에너지자원공학과 교수



차 종 문

- 서울대학교 자원공학과 공학사
- 서울대학교 자원공학과 공학석사
- 미국 Colorado State University 토목환경공학과 공학박사
- 현재 동아대학교 에너지·자원공학과 교수

## 학회 공지사항

- 항상 본 학회에 관심을 가져 주신데 대해 회원 여러분께 진심으로 감사드립니다.
- 당 학회의 이사회 및 편집위원회를 통하여 학회운영의 어려움을 해결하는 방안으로 ‘논문심사료 폐지’에 대한 논의가 있었고, 학회 재정여건상 폐지하는 것이 바람직하다고 결정되었습니다.
- 그간 논문 심사료는 논문 심사가 우편발송으로 진행되는 여건상 꼭 필요한 부분이었으나, 현재는 모든 심사가 이메일과 온라인시스템으로 진행되고 있는 점을 고려하여 폐지하는 쪽으로 결정하였습니다. 심사위원들께서 논문 심사에 많은 시간과 노력을 들이시는 점을 알기에 어렵게 결정하였습니다. 너그러운 이해를 구합니다.
- 2016년 하반기(7월)부터 접수되는 논문에 대해서는 심사료를 지불하지 않을 계획임을 알려드리며 양해하여 주시기를 부탁드립니다.