

《原著》

## 침전 및 여과를 통한 H 광산배수 내 미세부유물질 및 용해성 중금속의 제거 : 현장실험을 중심으로

오민아<sup>1</sup> · 김원기<sup>1</sup> · 오승진<sup>1</sup> · 김덕민<sup>2</sup> · 이상훈<sup>3</sup> · 이재영<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 환경공학부

<sup>2</sup>한국광해관리공단 광해기술연구소

<sup>3</sup>가톨릭대학교 환경공학전공

## Removal of Fine Suspended Solids and Soluble Heavy Metals in H Mine Drainage using Settling and Filtering : Field Application

Minah Oh<sup>1</sup> · WonKi Kim<sup>1</sup> · Seungjin Oh<sup>1</sup> · DukMin Kim<sup>2</sup> · SangHoon Lee<sup>3</sup> · Jai-Young Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, The University of Seoul

<sup>2</sup>Mine Reclamation and Technology Center, Mine Reclamation Corporation

<sup>3</sup>Department of Environmental Engineering, The Catholic University of Korea

### ABSTRACT

Fine suspended solids and soluble heavy metals generated from mine drainage could destroy environment as the aesthetic landscapes, and depreciate water quality. Therefore, this research is focused on process development applied the actual field for controlling fine suspended solids and heavy metals, and so that bench-scale tests were performed for field application based on advanced researches. The field of mine drainage in this research was in H mine located Taebaek-si, Gangwon-do. The inclination plates were mounted 2 kinds of arrangement (octagon and radial types) in circle type settling basin. The inclination plates could be helped to settle of suspended solids; decreased 34% of suspended solids and 50% of turbidity in effluent. Radial type of inclination plates showed the results that is more efficient to settle of suspended solids (average to 3.45 mg/L) compared to octagon type. In the experiments to decrease retention time of mine drainage in settling basin from 6 hrs to 1.5 hrs, suspended solid concentration was exceeded to 30 mg/L as the standard for suspended solid at 10 days after the operation under the retention time of 3hrs and 1.5hrs. In the tests for filtration, granular activated carbons were indicated the better effective to filtering and absorption of fine suspended solid and soluble heavy metals than anthracite.

**Key words :** Mine drainage, Filtering, Settling, Fine suspended solid, Soluble heavy metals

### 서론

우리나라에는 전국에 걸쳐 4,800여개의 휴폐광산이 분포하고 있으며, 이들 대부분은 오염방지시설이 제대로 갖춰지지 않은 채 방치되어 있어 광미나 폐석 적치장으로부터 주변 농경지뿐만 아니라 하천, 지하수에까지 중금속을 포함한 각종 오염물질의 확산이 증폭되고 있는 실정이다(An et al., 2010; Jang and Kwon, 2011). 또한, 휴폐광산에서는 과거 채광이나 선광 및 제련과정 등의 활동으

로 배출된 광산 폐기물들과 광산배수가 광산주변에 그대로 방치되어 있어 집중강우 등에 의한 광산 하부와 농경지, 수계의 환경오염을 일으키고 있다는 것이 정밀조사를 통해 드러났다(Kim et al., 2011a). 이에 광산지역 오염토양 및 수질에 대한 이해를 높이고, 오염물질 제어 공법을 적용하는 등 문제점 해결을 위한 노력을 하고 있으나, 광미나 광산슬러지의 처리, 산성광산배수의 중화 및 고농도 중금속의 처리 등으로 편중되어 연구의 범위가 한정된 경우가 대부분이다(Ji et al., 2007; Kim et al., 2011b).

\*Corresponding author : leejy@uos.ac.kr

원고접수일 : 2013. 10. 25 심사일 : 2013. 11. 5 게재승인일 : 2013. 11. 5

질의 및 토의 : 2014. 2. 28 까지

그러나 최근 광산배수를 처리하여 방류하는 과정에서 산성광산배수나 중금속 등과는 다른 경로로 발생하는 미세부유물질로 인해 방류 하천 내 일부구간의 심미적 경관을 손상시키고, 용수로서의 가치를 떨어뜨린다는 우려가 발생하고 있다(Oh et al., 2009). 이에 관련 부처에서는 상기 문제에 대한 심각성을 인지하고, 그 동안 광산지역의 주 오염물질로 분류되지 않아 정화에서 도외시되던 미세부유물질을 제거하는 효율적인 방법을 연구하는 동시에 일반적으로 광산배수 내에서 용해되어 존재하다 유속이 느려지는 수계하류의 산화환경에서 침전되어 엘로우보이 등(Lee et al., 2008)의 현상을 유발하는 용해성 철, 망간을 비롯한 중금속의 정화에 대한 연구를 독려, 실내 규모의 연구가 진행되어왔다(Oh et al., 2012; Lee et al., 2012). 본 연구는 선행된 실내 규모의 반응조를 scale-up 하여 현장에 설치, 규모의 변화에 따른 침전 및 여과공정의 정화효율을 비교 분석하고, 현장에서 발생할 수 있는 제반 문제를 인지, 이에 대한 해결점을 도출하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

#### 2.1.1. 경사판을 이용한 원형침전조

본 연구에 사용된 원형침전조는 125 L/hr의 용량으로 제작하였으며, 미세부유물질의 침전효율의 향상을 위해 장치된 경사판은 각각 2기의 원형침전조에 나선형(Park et al., 2005)과 팔각형(Lee, 2012)의 형태로 배치하여 제작되었다(Fig. 1). 본 연구에서는 상이하게 장치된 경사판을 통해 동일한 원형침전조 내 경사판의 유무와 경사판의 배치에 따른 침전효율 변화를 알아보고자 하였다.

#### 2.1.2. 충전 여과매질

경사판이 설치된 각각의 원형침전조 후단에는 위어(weir)를 통해 유출되는 침전조 상등수 내 잔류할 수 있는 미세부유물질 및 용해성 중금속을 여과/흡착하기 위한 여과조를 설치하였다. 여과조에는 하단부터 유공 블럭, 주문진규사, 입상 활성탄 또는 안트라사이트(anthracite)를 충전하여 하수처리시설에서 대표적으로 사용되는 입상 활성탄과 안트라사이트 두 여과매질의 광산배수 정화시 적용가능성을 알아보고 매질 간 여과효율을 비교하고자 하였다.

## 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 경사판 유무에 따른 침전효율

경사판의 설치가 광산배수 내 미세부유물질의 침전에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 이 때 설치된 경사판의 각도는 일반적으로 하수처리시설에서 사용되는 경사판의 경사각인 60°로 고정하였으며(Oh et al., 2012), 침전조 내 광산배수의 체류시간은 6시간으로 동일하게 운행하였다. 실험은 60시간동안 진행하였으며, 모니터링은 부유물질농도와 탁도(HI-93703, Hanna, USA) 항목에 대하여 수질오염공정시험방법에 따라 6시간 간격으로 진행하였다. 60시간이 지난 후 각각의 유출수 내 부유물질에 대한 습식입도분석(LMS-30, Seishin, Japan)을 수행하여 경사판의 설치가 미세부유물질의 침전에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 해당 광산배수의 초기 물리화학적 특성 및 중금속함량에 대한 자료는 Table 1에 제시하였다.

#### 2.2.2. 경사판의 형태에 따른 침전효율

나선형과 팔각형의 경사판이 각각 설치된 원형침전조의 침전효율 비교를 위한 실험을 진행하였다. 각각의 침전조에는 750 L/day의 유량(침전조 내 체류시간 6시간)으로

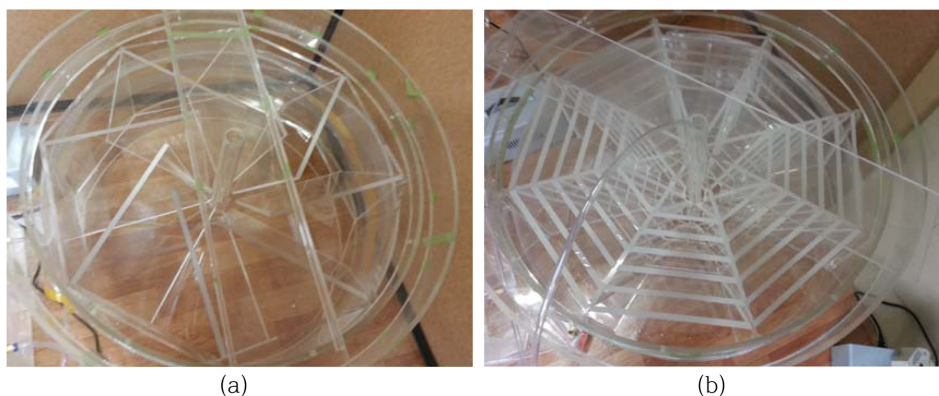


Fig. 1. Settling basins mounted (a) radial inclination, (b) octagon inclination.

**Table 1.** The physico-chemical characteristics of H mine drainage

Classification		Measurement	Standard (Unit)
pH		8.22 ± 0.29	5.80~8.60
ORP		181.61 ± 9.57	- (mV)
EC		906.14 ± 57.20	- (μS/cm)
SS		329.71 ± 38.87	30.00 (mg/L)
Turbidity		597.33 ± 97.96	- (NTU)
Concentration of heavy metals	As	N.D.	0.05 (mg/L)
	Al	4.31 ± 0.11	- (mg/L)
	Cd	N.D.	0.02 (mg/L)
	Cu	0.48 ± 0.03	1.00 (mg/L)
	Pb	N.D.	0.10 (mg/L)
	Zn	N.D.	1.00 (mg/L)
	Fe	56.44 ± 8.12	2.00 (mg/L)
	Mn	12.12 ± 1.68	2.00 (mg/L)

N.D.: Not Detected

광산배수가 동일하게 유입되었고, 4주일에 걸쳐 침전효율 및 침전조 부하량 변화 추이를 관찰하였다. 이 때 부유물질과 탁도 항목에 대하여 2주일간은 2일에 1회, 다음 2주일간은 4일에 1회씩 모니터링을 실시하였다. 각 항목의 시료채취 및 분석은 수질오염공정시험방법에 준하여 수행되었다.

### 2.2.3. 유입 유량 변화에 따른 침전효율

일반적으로 광산배수 내 부유물질 및 슬러지 처리를 위해 이용되는 원형침전조의 경우 침전조 내 광산배수의 체류시간을 6시간으로 고정하여 운영하고 있지만, 본 연구에서는 경사판 설치를 통해 침전효율을 높이는 것이기 때문에 체류시간을 줄일 경우 발생할 수 있는 부유물질의 침전효율 및 침전조 부하율 변화를 알아보고자 하였다. 이에 기존의 체류시간인 6시간에서 3시간, 1.5시간으로 줄여 운행하고자 광산배수의 침전조 내 유입 유량을 750 L/day에서 1,500 L/day, 3,000 L/day로 증가시켜 4주간 운행하였다. 모니터링은 부유물질 및 탁도 항목에 대해 2일에 1회 수행하였다.

### 2.2.4. 매질의 종류에 따른 여과효율

상기 실험에 사용된 원형침전조 후단에 각기 다른 두 매질을 충전한 여과조를 설치함으로써 매질의 종류에 따른 미세부유물질 여과 및 용해성 중금속의 흡착에 대한 실험을 진행하였다. 원형침전조에서 유출되는 상등수는 750 L/day의 유량으로 여과조에 유입되며, 여과조를 통과한 유출수는 4주일간 pH, 산화환원전위, 전기전도도, 온도, 탁도, 부유물질 농도 및 중금속 농도에 대하여 수질오

염공정시험방법에 준한 분석을 실시하였다. pH, 전기전도도, 산화환원전위, 온도는 휴대용 multi-meter(730P, istek, Korea)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 중금속 농도에 대한 분석은 Microwave로 전처리 후, ICP-OES (GENESIS, SPECTRO, USA)를 이용하여 수행하였다. 또한, 4주간의 운행이 종료된 후, 여과조 내 매질을 채취하여 전자주사현미경 분석(S-4800, HITACHI, Japan) 및 에너지 분산 성분분석(EDX S-10, Oxford, England)을 수행함으로써 여과매질에 부착 또는 흡착된 미세부유물질을 관찰하고 그 미세부유물질의 구성성분에 대해 분석해 보고자 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 경사판 유무에 따른 침전효율

경사판이 설치되지 않은 원형침전조의 경우, 6시간의 체류시간 후 위어를 통해 유출되는 부유물질의 평균농도는 9.10 mg/L를 나타내었고, 경사판을 설치한 원형침전조에서는 6.01 mg/L의 부유물질 농도를 나타내어 평균 34%의 침전효율 증가를 보였다. 이는 침전조 내 경사판을 설치할 경우 경사판을 설치하지 않았을 때와 비교하여 최소 26% 이상의 부유물질 침전효율이 증가할 수 있다는 선행 연구(Yang, 2002; Oh et al., 2012)와 유사한 결과이다. 탁도 항목의 경우에도 비슷한 경향을 나타내었는데, 경사판을 설치하지 않은 침전조는 평균 17.21 NTU의 탁도를 나타낸 반면 경사판을 설치한 침전조 유출수의 탁도는 8.46 NTU로 50% 이상이 감소하였다(Fig. 2).

운전 종료 후 각각의 침전조 유출수를 대상으로 습식

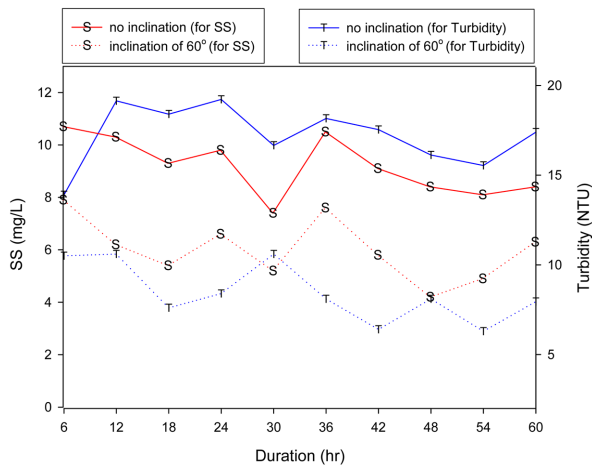


Fig. 2. The SS and turbidity variation according to set inclination.

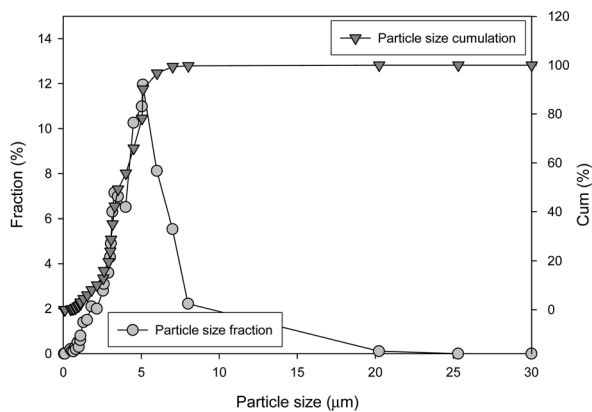


Fig. 3. The particle size distribution from settling basin with the inclination.

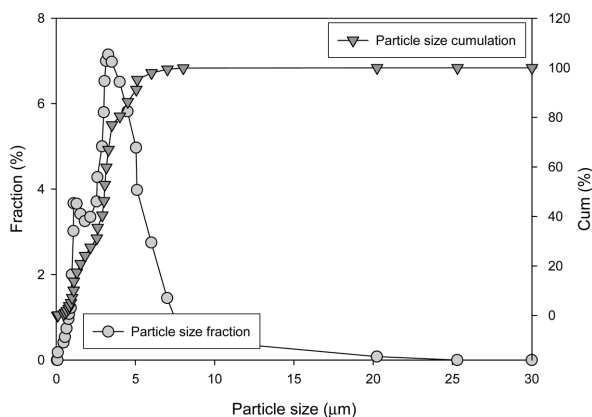


Fig. 4. The particle size distribution from settling basin without the inclination.

입도분석을 수행한 결과, 경사판이 설치된 침전조 유출수가 그렇지 않은 침전조 유출수에 비해  $5.00\ \mu\text{m}$  이하에 해당하는 미세입자가 차지하는 비율이 낮은 것으로 나타났다(Fig. 3, Fig. 4). 이 때 경사판이 설치된 침전조와

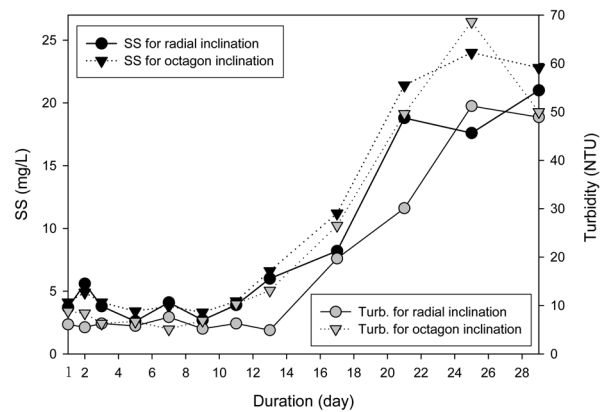


Fig. 5. Comparison of SS and turbidity from settling basin mounted different inclinations.

경사판이 설치되지 않은 침전조 유출수에서 분석된 부유물질의 평균입경은 각각  $5.13\ \mu\text{m}$ ,  $3.21\ \mu\text{m}$ 에 해당한다.

상기 실험결과를 통해 침전조 내 경사판 설치는 광산배수 내 존재하는 부유물질 및 탁도를 침전시켜 제거하는데 효과적이며, 특히 광산배수 처리의 새로운 문제로 대두되고 있는 미세입경에 해당하는 부유물질을 침전 제거하는데 효율적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

### 3.2. 경사판의 형태에 따른 침전효율

동일한 원형침전조에 나선형 경사판과 팔각형 경사판을 각각 배치하여 4주간 운행한 침전조 유출수 내 부유물질 농도 및 탁도 변화는 Fig. 5와 같다. 부유물질 농도의 경우, 두 종류의 경사판 모두에서 초기 침전조 운행 2주간 안정된 침전효율을 나타내는 듯 보였으나, 이후 부유물질 농도가 급격히 증가하는 현상을 관찰할 수 있었다. 이는 침전조 내에 적정 부하 이상의 부유물질이 이미 침전된 상태에서, 광산배수가 침전조로 유입될 때 발생하는 난류로 인해 이미 침전되었던 슬러지가 재부유하는 현상이 나타났기 때문으로 사료 된다(Fig. 6). 따라서 효과적인 침전조 운영을 위해서는 2주 주기의 침전조 하부 슬러지 제거 작업이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 2주간  $5.00\ \text{mg/L}$  수준으로 안정된 침전효율을 보이던 두 경사판 침전조의 부유물질의 농도는 2주 후 차이를 보이기 시작하였는데, 팔각형 경사판 침전조의 부유물질 농도가 나선형 경사판 침전조에 비해 평균  $3.45\ \text{mg/L}$ , 최대  $6.40\ \text{mg/L}$  높은 것으로 나타났다. 팔각형 경사판 침전조의 경우 나선형에 비해 경사판과 경사판 사이의 간격이 좁아 부유물질이 경사판 사이에 침전될 수 있는데 이 때 침전되어 쌓인 슬러지가 상부의 위어(weir)로 유출될 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다. 상기 두 결과에



Fig. 6. Re-suspending the settled sludge in settling basins.

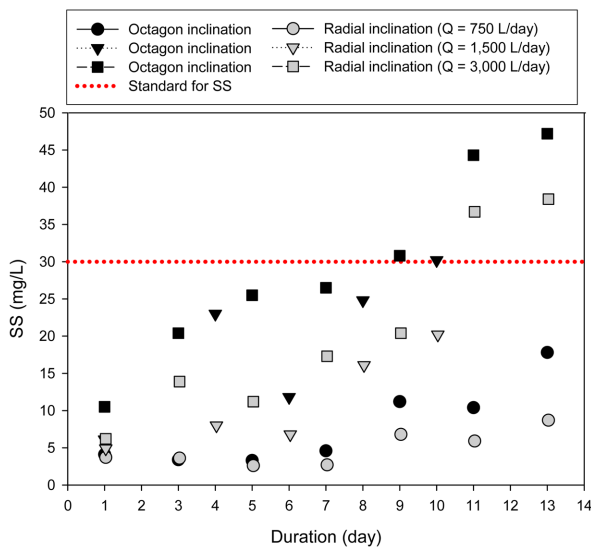


Fig. 7. SS variation related to flow rate with different inclinations.

대해서 탁도 항목 역시 부유물질 농도와 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.3. 유입 유량 변화에 따른 침전효율

침전조 내 광산배수의 유입 유량을 증가시켜 운행한 후 침전조 유출수의 부유물질 결과는 Fig. 7과 같다. 단, 초기 4주간 침전조를 운행하기로 했던 계획과 달리 1,500 L/day의 유량으로 운전한 2번째 cycle의 경우, 11일째 침전조 위에 내 이물질 유입으로 인한 막힘 현상이 발생, 침전조가 역류하여 운행을 중단하였고, 3,000 L/day의 유량으로 운전한 3번째 cycle의 경우에는 운행 2주 후 침전조 내 부유물질의 침전 부하량이 포화 정도를 넘어서는 경향을 나타내어 역시 운행을 중단하였다. 따라서 본 실험에서는 각 cycle을 2주간 운행한 결과를 비교, 검토하였다. 먼저 팔각형 경사판 침전조 유출수에서의 각 유량별 부유물질 농도는 운행 첫째 날 4.10, 6.10, 10.50

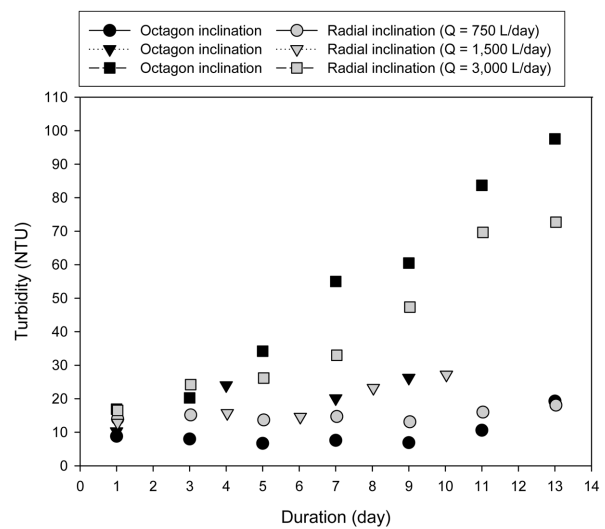


Fig. 8. Turbidity variation related to flow rate with different inclinations.

mg/L로 큰 차이를 보이지 않았으나, 운행 일주일 후 유량을 1,500, 3,000 L/day로 증가시켜 운행한 cycle 2와 cycle 3은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 [별표 13] 수질오염물질의 배출기준 중 청정지역 배출기준에 해당하는 30.00 mg/L를 초과하는 결과를 나타내었다. 나선형 경사판 침전조 유출수의 경우 팔각형과 유사한 부유물질 농도 증가의 경향을 나타내었으며, cycle 3의 운행 11일째 부유물질의 청정지역 배출기준을 초과하였다. 상기 동일 실험에 대한 탁도 항목에 대한 결과는 부유물질과 매우 유사한 결과를 보였으며, Fig. 8에 제시하였다.

### 3.4. 매질의 종류에 따른 여과효율

입상 활성탄과 안트라사이트를 주 매질로 한 여과조를 운행한 결과, 시간이 지남에 따라 pH나 산화환원전위, 전기전도도 항목에 대해서는 두드러질만한 변화를 나타내지 않았다. 또한 매질의 종류에 따른 물리화학적 특성 역시

차이가 관찰되지 않았는데, 이는 활성화 과정에 차이가 있을 뿐 두 매질 모두 탄화된 탄소를 기반으로 하는 매질이기 때문인 것으로 생각된다. 부유물질과 탁도를 비롯한 기타 중금속의 제거효율은 입상 활성탄이 안트라사이트에 비해 여과 효율이 뛰어난 것으로 나타났다(Fig. 9, Fig. 10). 이러한 결과는 안트라사이트에 비해 입상 활성탄이

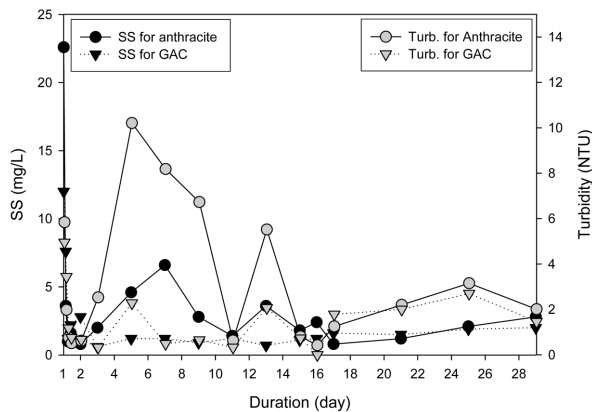


Fig. 9. Comparisons of SS and turbidity between anthracite and GAC as filtering media.

가진 기공의 수가 많으며, 때문에 표면적이 매우 넓어 미세부유물질은 물론 용해성 중금속을 흡착하는 능력이 뛰어나기 때문인 것으로 판단된다(Eckenfelder, 1989). 그러나 입상 활성탄의 경우 안트라사이트에 비해 그 가격이 고가인 점을 감안하여, 입상 활성탄의 여과/흡착 효율대비 안트라사이트의 경제성에대한 비교 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

여과조 운영이 완료된 매질에 부착 또는 흡착된 미세부유물질을 확인하고 그 구성성분을 알아보기 위해 수행한 전자주사현미경 분석 및 에너지 분산 성분분석 결과는 Fig. 11, Fig. 12에 제시하였다. 전자주사현미경 분석을 통하여 입상 활성탄과 안트라사이트의 표면을 관찰할 수 있었으며, 표면에 부착된 부유물질 역시 확인하였다. 입상 활성탄의 경우, 표면에 미세한 기공 및 굴곡이 많아 매질을 통과하는 미세부유물질이 군집을 이룬 형태로 흡착되어 있었다. 반면 입상 활성탄에 비해 매끈한 표면을 가진 안트라사이트는 입상 활성탄에 흡착된 것보다 입경이 큰 부유물질이 산발적으로 부착된 형상을 나타내었다. 전자주사현미경 분석으로 포착된 부유물질에 대한 에너지 성

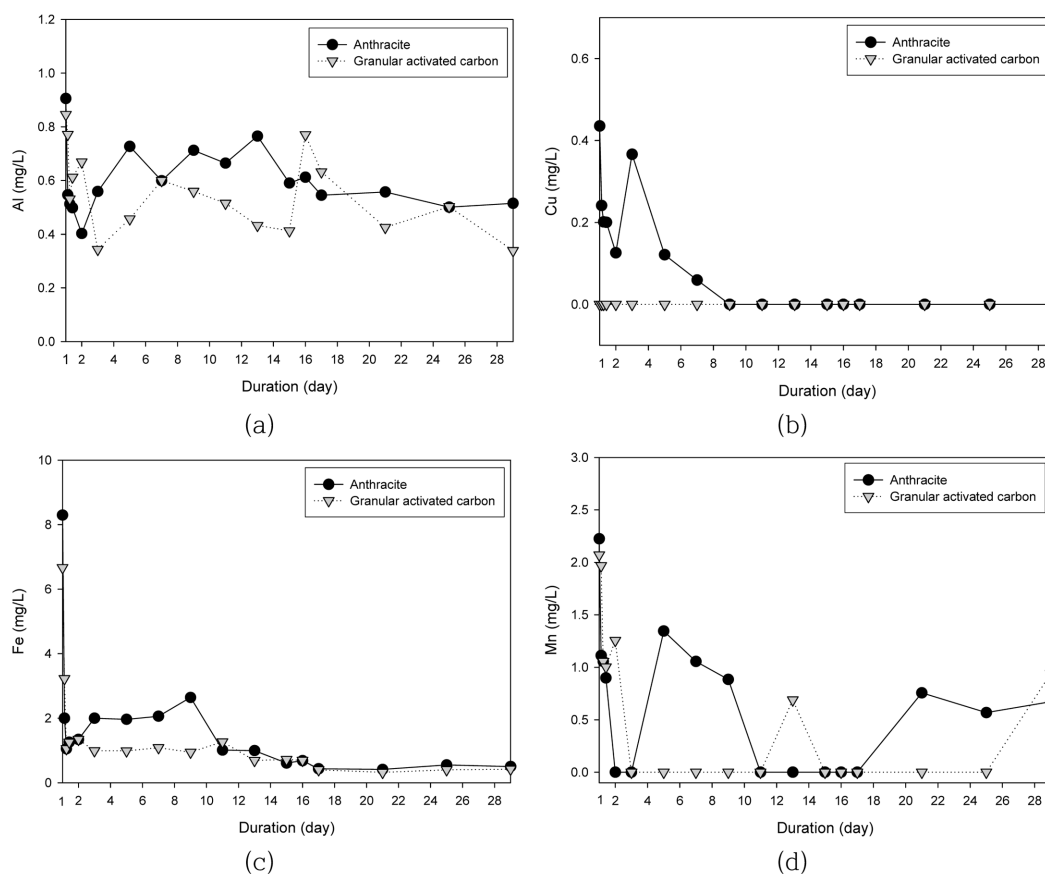
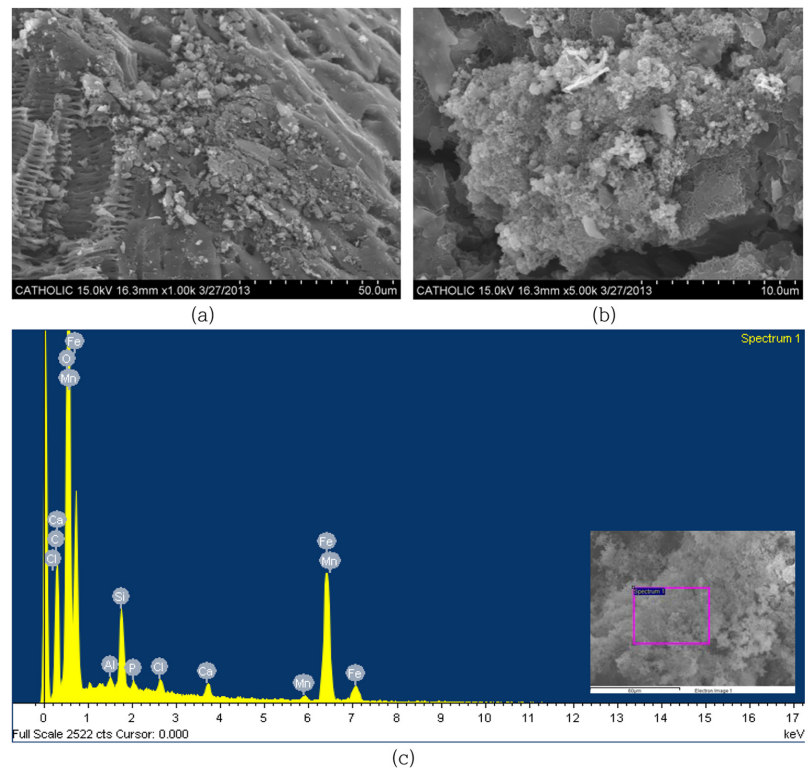
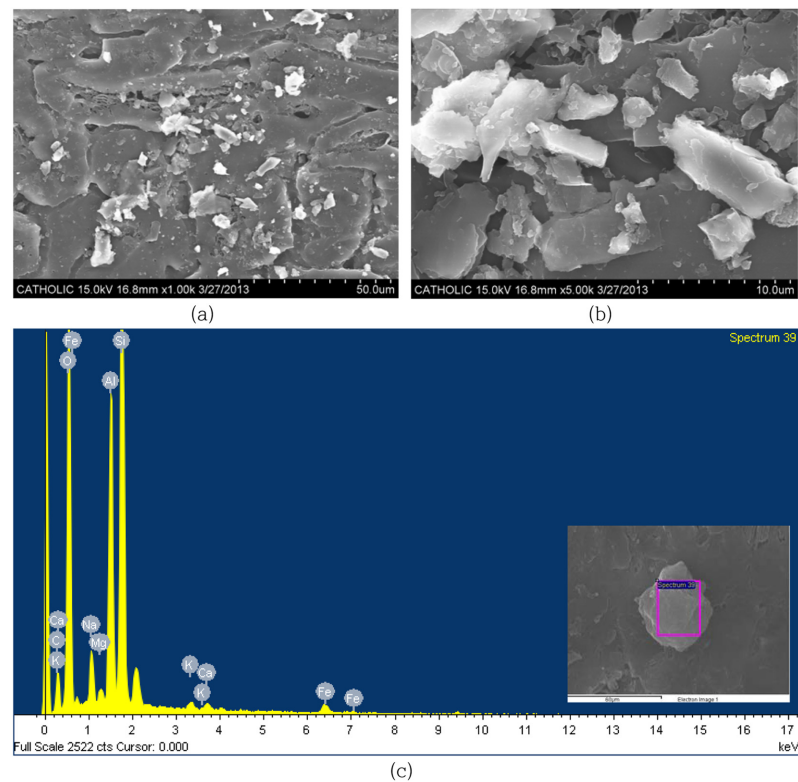


Fig. 10. Comparison of heavy metals between anthracite and Granular activated carbon as filtering media, (a) Al, (b) Cu, (c) Fe, (d) Mn.





**Fig. 11.** Surface of filtering media using scanning electron microscopy, (a) granular activated carbon (50 μm), (b) granular activated carbon (10 μm), (c) Component analysis of attached solid from granular activated carbon using energy dispersive X-ray spectroscopy.



**Fig. 12.** Surface of filtering media using scanning electron microscopy, (a) anthracite (50 μm), (b) anthracite (10 μm), (c) Component analysis of attached solid from anthracite using energy dispersive X-ray spectroscopy anthracite (50 μm)

분 분석을 수행한 결과, 두 여과매질에 부착된 부유물질 모두 철 성분이 주를 이루는 것으로 나타났다. 이는 해당 광산배수 내 철 함량이 높은 특성과 일치하는 결과이다. 또한 입상 활성탄에 부착된 부유물질에서 망간의 함량이 높았던 것과 대조적으로 안트라사이트에 부착된 부유물질의 구성성분에 망간이 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 분석된 중금속 제거효율과 관련지어 설명할 수 있는데, 안트라사이트를 이용한 여과조에서 망간 제거율이 낮았음을 고려할 때 매질에 흡착, 제거된 망간이 거의 없었기 때문인 것으로 판단하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 그 동안 광산배수 처리에서 도외시 되었던 광산배수 내 미세부유물질의 제거를 위한 침전 및 여과공정 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 침전조 내 경사판 설치는 광산배수 내 존재하는 부유물질 및 탁도를 제거하는 데 효과적이며, 특히 광산배수 처리의 새로운 문제로 대두되고 있는 미세입경에 해당하는 부유물질을 침전 제거하는데 효율적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

2. 경사판 침전조의 경우 최소 2주에 1회 경사판 및 침전조 하부에 침전된 슬러지의 배출이 요구되며, 팔각형으로 배치된 경사판 침전조와 나선형으로 배치된 경사판 침전조의 침전효율을 비교한 결과 운행시간이 길어질수록 나선형 경사판 침전조의 침전효율이 높은 것으로 나타났다.

3. 침전조 내 광산배수의 유입유량을 2배, 4배로 증가시켜 운행한 결과, 팔각형과 나선형 경사판 침전조 모두 4배로 유량을 증가시켜 운행했을 때 운행 10일 만에 부유물질의 청정지역 방류수질 기준인 30 mg/L를 초과하는 것으로 나타났다.

4. 미세부유물질 여과 및 용해성 중금속의 흡착 효율은 미세 기공이 많고 표면적이 넓은 입상 활성탄이 안트라사이트에 비해 높은 것으로 나타났다. 그러나 입상 활성탄의 경우 안트라사이트에 비해 그 가격이 고가인 점을 감안하여, 입상 활성탄의 여과/흡착 효율대비 안트라사이트의 경제성에대한 비교 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

추후 연구에서는 상기 결과를 바탕으로 필요한 추가실험을 실시하고, 침전/여과 공정을 장기적으로 운행함으로써 발생할 수 있는 제반의 문제를 해결하여 실제 광산배수 내 미세부유물질의 제거를 위한 현장적용기술에 대한

연구를 진행할 계획이다.

#### 사 사

이 연구는 2013년 한국광해관리공단으로부터 기술개발 사업비를 지원받아 수행된 사업으로 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- An, J.M., Lee, H.J., Park, I.S., Kim, K.H., and Choi, S.I., 2010, A Study of Fe Removal Efficiency of Acid mine Drainage by Physico-chemical Treatment, *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.*, **47**(4), 530-538.
- Eckenfelder, W.W., 1989, Industrial Water pollution Control, 2<sup>nd</sup> Edition, *McGraw-Hill Inc.*, New York, NY, 131-163.
- Jang, M. and Kwon, H., 2011, Pilot-Scale Tests to Optimize the Treatment of Net-Alkaline Mine Drainage, *Environ. Geochem. Health*, **33**, 91-101.
- Ji, S., Cheong, Y., Yim, G., and Yoo, K., 2007, Analysis of Patents on Mine Drainage Treatment Technologies, *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.*, **44**(3), 262-268.
- Kim, A.Y., Ko, M.S., Kim, J.Y., Kim, K.W., Bang, S., K., Sim, Y., and Park, H.S., 2011, Removal Technology for Arsenic in Mine Drainage with the Consideration of Its Geochemical Characteristics, *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.*, **48**(2), 145-154.
- Kim, H.J., Chon, H.T., Lee, J.U., and Roh, Y., 2011, Adsorptive Removal of Aqueous Arsenic Using Nanoparticles of Iron Hydroxides, *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.*, **48**(4), 438-447.
- Lee, B.H., 2012, Evaluation of Settling Characteristics at Lamellar Secondary Clarifier, *J. Kor. Soc. Wat. Wastewat.*, **26**(3), 471-478.
- Lee, G., Faure, G., Bigham, J.M., and Williams, D.J., 2008, Metal Release from Bottom Sediments of Ocoee Lake No.3, a Primary Catchment Area for the Ducktown Mining District, *J. Environ. Qual.*, **37**, 344-352.
- Lee, S.H., Kwon, H.H., Oh, M., Lee, J.Y. and Kim, D.M., 2012, Feasibility Tests for Treating Fine Suspended Solids from Mining Drainage using Various Media by Column Methods - A Case from H Coal Mine, *J. Soil Groundwater Env.*, **17**(6), 112-118.
- Oh, M., Kim, W.K., Kim, D.M., Lee, S.H., and Lee, J.Y., 2012, Settling and Filtering Process for the Treatment of Fine Suspended Solids and Soluble Heavy Metals in H Mine Drainage, *J. Soil Groundwater Env.*, **17**(6), 102-111.
- Oh, S.H., Lee, S.H., and Kim, S., 2009, A Study of the Treatment System of Mine Water of the Ventilation Adit in the Ye-



nhwa Mine using Heterogeneous Oxidation, *J. Kor. Soc. Geosystem Eng.*, **46**(5), 602-613.

Park, N.S., Kim, W.G., An, H.W., Kim, J.H., Bae, C.H., and Hoe, H.C., KR-A-10-2005-0112541, 12, 01, 2005.

Yang, W.Y., 2002, A Study on the Sedimentation Efficiency Character of Inclination Plate Settler, *J. Kor. Cadastre. Inform. Assoc.*, **4**, 55-64.