

# 거룡광산 유역의 계절별·거리별 중금속 거동특성 분석

박기정\*, 정민재\*, 홍의전\*, 김영\*, 윤제영\*

\*고려대학교 환경공학과

e-mail:jyyoon@korea.ac.kr

## Analysis of Seasonal, Distance Variation of Heavy Metals for Geopung Mine Basin

Gi-jung Pak\*, Min-jae Jung\*, Ui-jeon Hong\*, Young Kim\*, Jae-yong Yoon\*

\*Dept. of Environmental Engineering, Korea University

### 요 약

산성광산배수(Acid Mine Drainage)는 낮은 pH, 높은 Sulfate, 상대적으로 높은 Fe, Al, Mn 등의 중금속 농도가 특징으로 다양한 오염인자를 가지고 있으며, 각각의 오염인자가 오염에 미치는 영향이 매우 다양하게 나타난다. 특히 산성광산배수는 유역 내 시각적, 생태학적 문제를 일으켜 많은 환경오염을 야기하고 있으며, 많은 중금속을 용출시켜 주변 하천의 생태계를 파괴하게 된다. 이러한 산성광산배수에 의한 환경피해의 심각성은 이미 국·내외에서 널리 인식되고 있으며, 이를 효과적으로 관리하기 위해서 산성광산배수의 거동 매커니즘 조사에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 금강수계 거룡광산 유역 장연천을 대상으로 하여 광산주변 표토, 계절별·거리별 하천수 및 저질토에서의 오염특성을 조사하고 그 영향을 평가하고자 하였다. 연구결과 하천수의 경우 대부분의 중금속 농도가 오염물질의 축적이 가장 많을 것으로 예상되는 5월에 높은 농도를 보였으며, 강우가 시작되는 6월, 7월까지 건기에 비해 높은 농도를 유지하다가, 강우가 지속됨에 따라 희석되어 농도가 감소되는 현상을 나타냈다. 저질토의 경우도 비슷한 양상을 나타냈다. 거리별 영향의 경우 하천수는 산성광산배수가 유입되는 상류에서 지속적으로 높은 농도를 나타냈으나, 저질토의 경우 건기에는 비슷한 양상을 나타내다가 우기에 강우의 영향으로 하천 하류에서 전체적으로 농도가 높아지는 경향을 나타냈다.

### 1. 서론

국내에는 금속광산(906개), 석탄광산(379개) 및 비금속광산(1,173개)을 포함하여 총 2,500개소의 크고 작은 광산들이 개발되었으나, 이들 중 약 80%가 적절한 복원시설이 설치되지 않은 채 휴광 또는 폐광된 상태로 방치되어 주변 생태계에 영향을 주고 있다. 특히 휴·폐광산에서 발생하는 갱내수 및 침출수로 인하여 수계는 지속적으로 오염되어왔으며, 버려진 석탄이나 폐광석 더미에서부터 발생하는 산성광산배수(AMD, Acid Mine Drainage)는 최근 심각하게 대두되고 있는 환경문제 중 하나이다. 산성광산배수(AMD)는 폐광산 또는 광산폐기물이 방치된 곳에서 유출수 및 공기와의 접촉에 의한 다양한 황화광물의 산화에 의해서 발생하며 낮은 pH, 높은 Sulfate, Fe, Al, Mn 등의 높은 중금속 농도가 특징으로 다양한 오염인자를 가지고 있으며, 수계에 미치는 영향이 크다. 산성광산배수는 유역 내 시각적, 생태학적 문제를 일으켜 많은 환경오염을 야기하고

있으며, 많은 중금속을 용출시켜 주변 하천의 생태계를 파괴하게 된다. 이러한 휴·폐광으로부터의 산성광산배수에 의한 환경피해의 심각성은 이미 국·내외에서 널리 인식되어, 다양한 각도에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

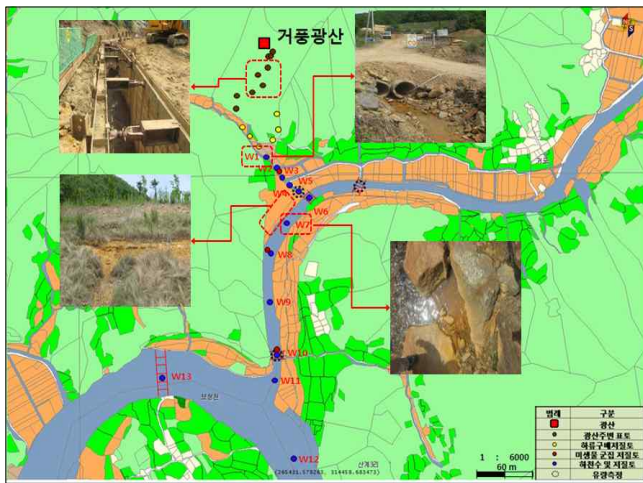
국외의 경우 지난 30여 년간 폐금속광산 유역의 중금속 오염도에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 광산주변 환경에 영향을 미치는 중금속들의 이동과 확산에 관련된 연구와 더불어 잠재적이고 실제적인 영향 평가와 관리가 이루어지고 있다. 그러나 국내의 경우 대부분의 연구가 토양, 하천수 등을 중심으로 오염현황을 파악하는데 중점을 두고 있는 실정으로 광산주변 및 산성광산배수의 거동 매커니즘을 조사하여, 그 오염도를 평가함과 동시에 산성광산배수를 효과적으로 관리하기 위한 지속적인 모니터링 시스템을 구축이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 금강수계 내 보청천 유역에 위치한 거룡광산 유역을 대상으로 하여 광산주변 표토, 하천수 및 저질토에서의 계절별·거리별 중금속 오염도

장기 모니터링을 통해 중금속 항목별 거동 특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 연구방법

본 연구의 대상유역인 거풍광산 유역은 충청북도 보은군 청성면에 위치하고 있으며, 구리·아연 광산으로 현재는 폐광되어 광해방지 사업이 진행되고 있다. 총 유역면적은 24.8 km<sup>2</sup>, 유로연장은 3.5 km로서 역삼각형 모양의 유역 형상을 가지며, 강우시 광산 주변에서 발생한 산성광산배수가 하류의 장연천으로 흘러들어 다시 보청천과 합류하는 형태를 가진다.

중금속별 거동특성 파악을 위해서 표토의 경우 갱구, 광물찌꺼기, 폐(광)석 적치장 주변 9개 지점, 저질토의 경우 갱구와 인접지류 유입지점 사이 6개 지점 및 광산 인접 하천(장연천) 하류방향으로 12개 지점에서 구리, 납, 카드뮴, 수은, 비소, 니켈, 아연을 계절별로 모니터링 하였으며, 물시료의 경우 하천 하류방향으로 총 12개 지점에서 비소, 카드뮴, 구리, 납, 수은, 아연, 니켈을 1월부터 11월까지 월별로 모니터링 하였다(그림 1). 분석 기기는 토양오염공정시험법 및 수질오염공정시험법에 준하여 AAS 또는 ICP-MS를 이용하였다.



[그림 1] 거풍광산 유역 샘플링 지점

## 3. 연구결과

### 3.1 광산주변 표토

광산 주변은 주로 구리, 카드뮴, 아연으로 오염되어 있었으며, 분석결과 모든 지점에서 구리, 카드뮴, 아연의 우려기준 혹은 대책기준을 초과하는 횟수는 각각 41.2%(대책기준 포함), 11.8%(대책기준 포함),

35.3%(대책기준 포함)로 나타났다.

### 3.2 저질토

저질토 시료 분석 결과 갱구와 인접지류 유입지점 사이에서 구리, 카드뮴, 아연의 우려기준 혹은 대책기준을 초과하는 횟수는 각각 55.6%(대책기준 포함), 22.2%(대책기준 포함), 72.2%(대책기준 포함)로 나타났다. 하천에서의 경우 구리, 카드뮴, 아연의 우려기준 혹은 대책기준을 초과하는 횟수는 각각 51.1%(대책기준 포함), 44.7%(대책기준 포함), 51.1%(대책기준 포함)로 나타났다. 토양오염 우려기준 및 대책기준을 초과한 위 3가지 항목은 광산주변 및 광산부지와 인접지류 유입지점 사이에서 초과한 항목과 동일하며, 이를 통하여 강우 등의 영향으로 광산부지에 존재하는 오염원 확산이 광산부지와 인접지류 유입지점 사이(광산으로부터 약 50m)를 거쳐 하천까지 이루어졌다고 판단된다.

### 3.3 물시료

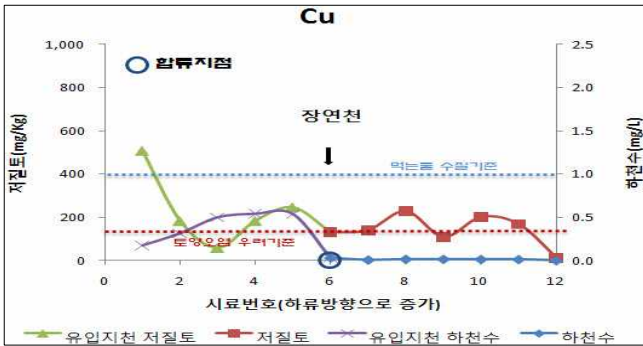
하천수에서의 중금속 오염도 분석 결과 장연천은 산성광산배수의 영향에 의해 구리, 납, 아연, 카드뮴 등 다양한 중금속에 의해 심각하게 오염되어 있었다. 수질기준 초과 항목은 아래와 같다(표 1).

[표 1] 거풍광산 물시료 중금속별 기준 초과 항목

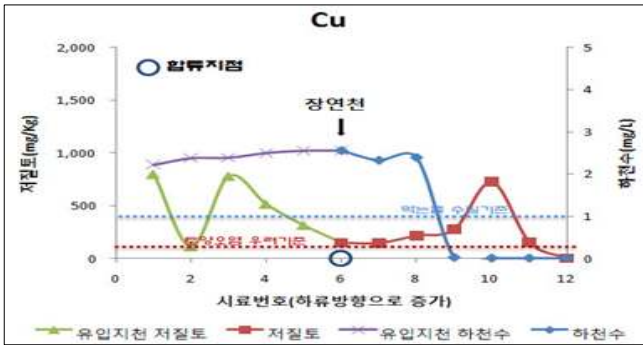
기준	항목	하천수
시료	시료수	141
먹는물 수질기준 초과	초과시료	46
	초과항목(횟수)	구리(23), 납(11), 아연(43)
하천수 수질기준 초과	초과시료	3
	초과항목(횟수)	pH(3)
먹는물 및 하천수 수질기준 동시 초과	초과시료	62
	초과항목(횟수)	납(2), 카드뮴(57), pH(37)

### 3.4 계절별 하천수/저질토 거리별 영향

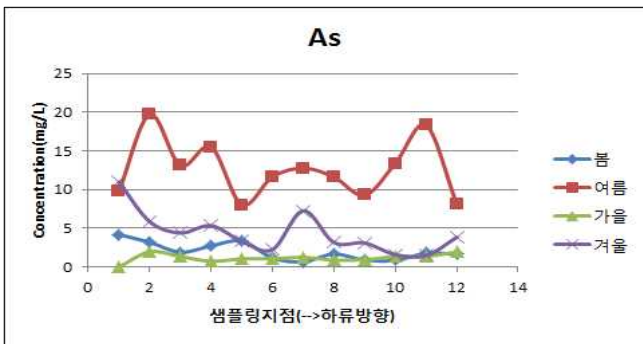
거풍 광산유역 오염도 분석 결과를 이용하여 하천수 및 저질토의 오염물질별, 거리별 영향을 파악하였다. 분석 결과 일반적으로 산성광산배수가 직접적으로 유입되는 하천 상류에서 하천수 및 저질토 대부분의 중금속의 농도가 높았으며, 하류방향으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 강우가 영향을 미치는 우기의 경우 하천수 및 저질토의 농도 범위가 하류방향까지 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 동일지점에서 대부분의 우기시 하천수의 오염물질 농도가 비강우시 오염물질 농도보다 높은 경향을 타나냈다(그림 2 ~ 그림 5).



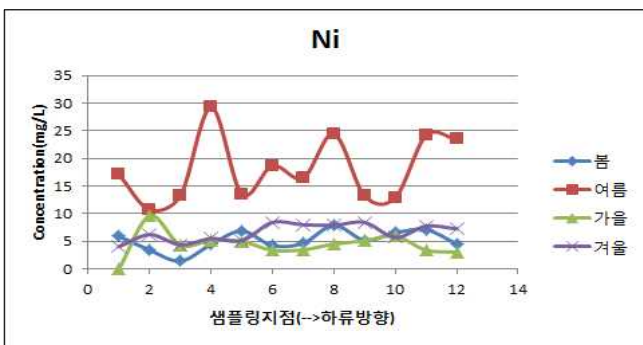
[그림 2] 거풍광산 유역 4월 오염물질별/거리별 오염도(건기)



[그림 3] 거풍광산 유역 7월 오염물질별/거리별 오염도(우기)



[그림 4] 거풍광산 유역 계절별/거리별 오염도(비소)



[그림 5] 거풍광산 유역 계절별/거리별 오염도(니켈)

이는 강우에 의해서 광산 주변에 광범위하게 존재하는 산성광산배수 및 광미 등의 오염물질의 유입량 증가, 강우강도 증가에 따른 산성광산배수 내 고형

물 형태로 존재하는 중금속이 물리·화학적인 영향에 의해 용출되어 산성광산배수로 용해되기 때문인 것으로 파악되며, 오염물질의 확산 범위는 강우의 강도 및 하천 유속 등에 의해 결정되는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 금강수계 내 보청천 유역에 위치한 거풍광산 유역을 대상으로 하여 광산으로부터 하천에 이르기까지 오염된 중금속이 환경적 요인에 의해 어떠한 거동특성을 가지는지 파악하기 위해서 광산 주변 표토, 하천수 및 저질토에서의 계절별·거리별 장기 중금속 오염도 분석을 실시하였다.

① 과거 광산 활동으로 적절한 조치 없이 방치된 광산 폐기물의 유실과 산성광산배수로 인하여 주변 하천수, 농경지 및 하천퇴적 토양의 중금속 오염문제가 발생되고 있으며, 광산 폐기물과 산성배수에 다량 함유된 유해 중금속의 용해성과 이동성은 지하수, 수계 및 지질환경을 2차적으로 오염시키는 주된 오염원으로 부각되고 있음.

② 이를 위해 계절별·거리별 중금속 오염도를 분석한 결과 강우의 영향이 크지 않은 건기의 경우 일반적으로 산성광산배수가 직접적으로 유입되는 하천상류에서 하천수 및 저질토 대부분의 중금속의 농도가 높았으며, 하류방향으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 나타냄.

③ 그러나, 강우의 영향이 큰 우기의 경우 건기에 비해 하천수 및 저질토의 농도 범위가 하류방향까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

④ 하천에서 지속적으로 검출되는 오염물질은 강우에 의해 발생한 산성광산배수 및 산성광산배수와 함께 하천으로 흘러내려오는 광산주변 오염토사의 영향인 것으로 파악되며, 강우의 강도 및 하천 유속 등에 의해 하부수계로의 오염도 확산 범위가 결정된다고 볼 수 있음.

⑤ 대상유역 수계 오염이 주로 강우시에 발생되기 때문에 하천으로 유입되는 오염부하량의 저감을 위해서는 강우시에 수계에 영향을 미치는 산성광산배수의 부하량 및 유입토사에서의 중금속의 부하량에 대한 영향을 평가할 수 있는 조사가 필요함.

⑥ 특히 광산의 오염 특성 및 지형적인 특성 뿐 만 아니라, 강우강도 및 강우 지속시간 등 환경적 요인에 의해 수계 오염을 결정하는 주요한 영향인자가

다양하게 나타나며, 이에 대한 해석 및 정량적인 평가를 위해서는 광산 주변의 오염현황 및 지형 특성, 환경적 영향 인자 등을 모두 고려한 방지대책 수립이 필요함.

#### 사사

본 연구는 금강수계관리위원회·국립환경과학원 금강물환경연구소의 2011~2012년도 환경기초조사사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 정명채, “영월, 정선 및 평창지역 폐 석탄광 산성 광산배수의 환경오염 평가”, 자원환경지질학회, Vol.36, No.2, pp. 111-121, 2003.
- [2] Butler, B. A., Ranville, J. F., Ross, P. E., “Observed and modeled seasonal trends in dissolved and particulate Cu, Fe, Mn, Zn in a mining-impacted stream”, Water Research, Vol. 42, No. 12, pp. 3135-3145, 2008.
- [3] Canovas, C. R., Hubbard, C. G., Olias, M., Nieto, J. M., Black, S. and Coleman, M. L., “Hydrochemical variations and contaminant load in the Rio Tinto (Spain) during flood events”, Journal of Hydrology, Vol. 350, No. 1-2. pp. 25-40, 2008.