

광미야적장 주변 논토양 공극수의 지구화학적 특성

정주연¹⁾ · 이상훈²⁾

1. 서론

현재 2,000여개에 이르는 국내 휴·폐광산에 대해 복구사업이 단계적으로 진행되고 있으나 일부에 그쳐 아직도 대부분의 지역에서 야적광미, 갱구 등이 그대로 방치된 채 지속적으로 주변 환경을 오염시키고 있다 (환경부, 2001). 특히 잔류광미나 광석에서 용출되는 산성배수와 중금속배출로 인한 주변 수계 및 토양오염 잠재성은 중요한 오염요인중 하나이다. 폐광산을 오염원으로, 오염이 진행되는 과정을 광미를 오염원으로 주변 토양, 수계를 오염경로로 그리고 주변 토양 및 지하수를 최종오염지역으로 하는 3단계 모형으로 설명할 수 있다 (정예진, 이상훈, 2001). 따라서 폐광산으로 인한 오염과정을 포괄적으로 이해하려면 오염지역의 오염특성 분석과 함께 광미공극수를 통한 오염물질 발생을 정량, 정성적으로 분석하여 광산배수의 오염경로를 이해함으로써 가능할 것이다. 광산배수는 낮은 pH와 중금속 함량이 높은 특성을 보이는 경우가 많으며 주변 토양을 통하여 이동하면서 산-염기, 산화-환원 및 용출-침전 등의 복합적인 과정을 거치게 된다. 또한 이동경로를 통해 일어나는 토양공극수의 지구화학적 진화과정은 토양광물, 토양화학 및 토양수 성분 등에 영향을 받을 것으로 추정된다. 이러한 광산배수의 영향을 받은 토양공극수의 진화특성을 예측하고 규명하는 일은 매우 불균질한 토양의 특성상 어려운 과정이나 (Bain *et al.*, 2001) 오염물질의 이동경로를 이해하며 지하수 및 토양오염과정을 정확히 예측하고 오염지역의 특성을 정량적으로 이해하는 중요한 정보를 제공할 것이다.

본 연구는 폐광산주변 토양에서 추출한 토양공극수의 지구화학적 특성 규명을 통하여 광미로부터 용출되는 중금속의 이동 및 주변 오염과정을 이해하고자 한다. 토양화학에 비하여 토양수화학은 상대적으로 짧은 시간에 일어나는 반응과정에 대한 정보를 제공하며 원소들의 화학형태 분석을 통하여 원소들의 이동도 및 독성을 예측할 수 있다 (Wolt, 1994). 즉, 토양화학이 장기간에 일어나는 변화에 대한 정보를 제공한다면 토양공극수는 현재 일어나고 있는 반응과정 정보를 제공하며 원소 거동을 통하여, 생흡수성과 원소 이동도를 알 수 있다. 연구 대상이 된 덕음광산의 정보는 박영석과 김진의 연구가 있다 (박영석과 김진, 2000). 광미와 인접한 논토양의 토양과 토양수를 채취, 분석하였으며 이들의 지구화학적 고찰결과를 광미화학, 광미공극수 및 광미야적장 지하수화학과 비교하여 광미야적장에서 용출되는 화학원소들의 오염과정과 존재형태를 포괄적으로 이해하여 환경영향을 분석하고 향후 복원과 복구작업의 기초정보를 제공하고자 하였다.

2. 실험 및 분석

덕음광산 광미야적장은 북, 동쪽은 광미유출 방지댐을 경계로 서쪽은 농수로를 경계로 주변

주요어: 광미, 폐광산, 토양공극수, 중금속, 토양오염

1) 가톨릭대학교 생명과학부(chuyon77@empal.com)

2) 가톨릭대학교 생명과학부(slee@catholic.ac.kr)

논과 경계를 이룬다. 남쪽은 도로와 인접한다. 토양시료는 광미야적장과 인접한 논에서 거리별로 핸드오거드릴을 이용하여 채취하였으며 각 시료채취 지점에서는 다시 표면 (0-10cm), 중간 (10-30cm) 및 하부 (30-50cm)로 구분하여 채취하였다 (Figure 1). 채취된 토양시료는 비닐백에 밀봉하여 실험실로 옮겨졌으며 특별히 제작된 공극수 추출용 튜브와 수거컵을 이용, 원심분리기에서 토양공극수를 추출하였다. 이 때 회수율은 40% 이상으로 대표성있는 토양수 시료로 이용이 가능하였다. 추출된 공극수는 0.45 μ 시린지필터로 여과한 후 질산화 (양이온시료)를 거쳐 양이온은 ICP-AES (Jovin Yvon, JY-38 plus), 음이온은 이온크로마토그래피 (Dionex DX-120)를 이용하여 분석하였다. pH (Orion 410A, Eh (Orion 290A) 및 전기전도도 (Istek 47C)는 공극수 추출후 바로 측정하였다.

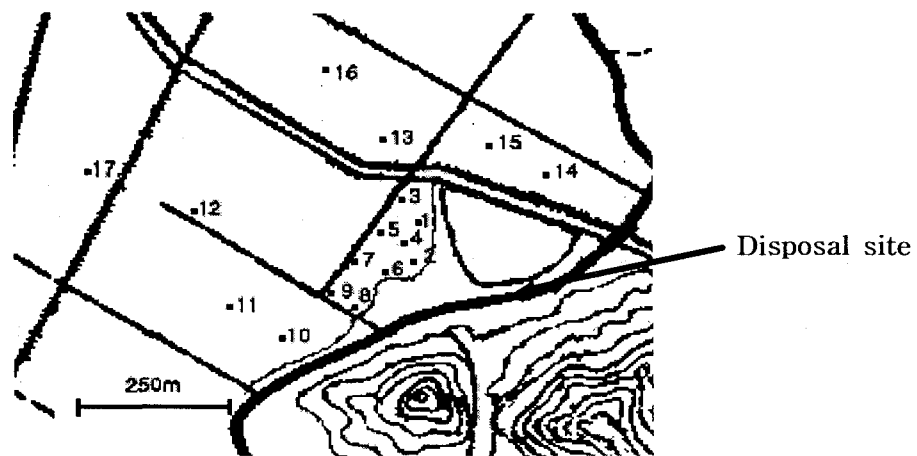


Fig. 1. Location of sampling points near mine tailing disposal site

3. 결과 및 토의

토양수화학 분석결과를 표 n에 나타내었다. 토양수의 pH는 3.53에서 5.94의 범위로 산성광산배수의 영향을 받았음을 나타낸다. 중금속의 농도범위는 Cd (0-0.39mg/l), Zn (0.38-121), Pb (0-5.15), Ni (0-2.56) 및 Cu (0-0.49)로 대부분 원소들이 넓은 농도범위를 가진다. Fe의 경우 0에서 350 mg/l의 범위이다. 원소들의 농도는 대부분 국내 또는 국외 음용수 기준을 초과하며 지하수나 수계로 인입될 경우 오염영향을 미칠 것으로 판단된다 (Table 1).

Al의 농도는 pH에 크게 좌우되며 특히 pH가 4이하로 감소하면서 농도가 크게 증가한다. 토양수내 중금속의 주공급원은 광미이다. 그러나 토양수의 pH가 감소하면서 Al-Si 광물이 용출되면서 광물격자에 혼재되어있던 중금속의 영향도 있을 것으로 추정된다. Cd, Zn, Pb 및 Zn 토양수중 농도는 pH에 의존하며 Ni 역시 상관관계는 적으나 pH 의존적인 관계를 보인다. 이들 2가 전이금속들의 pH 의존성은 전자수용체로 Lewis 산의 역할을 하는 것으로 설명할 수 있을 것이다. 토양수내 중금속 원소들의 농도변화는 광미 야적장과의 거리에 따라 변화하며 예상대로 오염원에서 거리가 멀어질수록 농도가 감소함을 보인다.

그러나 주 조정인자는 토양수 pH로 산성광산배수의 영향으로 인해 거리가 멀어질수록 중성

| Unit | ms/cm | | mg/l | | | | | | | |
|-----------|-------|--------------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|------|
| Sample ID | pH | Conductivity | Al | Fe | Cd | Cu | Ni | Pb | Zn | TOC |
| p1u | 4.51 | 1.97 | 0.1 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 62.1 |
| p1m | 5.16 | 2.89 | 0.1 | 8.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.3 | 29.2 |
| p1l | 5.98 | 8.96 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 4.3 | 29.8 |
| p3u | 4.27 | 2.67 | 0.3 | 11.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 3.2 | 70.0 |
| p3m | 4.44 | 7.51 | 0.4 | 43.6 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 2.3 | 104.0 | 48.7 |
| p3l | 4.77 | 10.32 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 1.4 | 121.0 | 46.0 |
| p4u | 3.74 | 5.55 | 7.1 | 350.0 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.6 | 8.0 | 86.8 |
| p4m | 3.87 | 6.84 | 16.6 | 68.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1.9 | 72.9 | 35.8 |
| p4l | 4.02 | 12.19 | 12.1 | 84.7 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | 0.7 | 79.0 | 39.1 |
| p5u | 5.59 | 1.47 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | N/A* |
| p5m | 5.47 | 5.37 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 5.7 | 21.5 |
| p5l | 5.45 | 1.82 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.1 | 19.4 |
| p7u | 5.01 | 0.96 | 0.0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 26.0 |
| p7m | 5.62 | 1.32 | 0.1 | 9.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 58.8 |
| p7l | 4.63 | 2.32 | 0.2 | 6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 29.3 |
| p9u | 5.03 | 2.26 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 6.1 | 21.1 |
| p9m | 3.53 | 3.76 | 9.6 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 2.6 | 5.2 | 19.2 | N/A* |
| p9l | 4.26 | 4.30 | 2.1 | 12.3 | 0.0 | 0.0 | 3.1 | 2.8 | 16.4 | N/A* |
| p12u | 5.94 | 3.86 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 33.2 |
| p12m | 7.18 | 2.43 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.9 |
| p12l | 7.23 | 2.94 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 67.3 |

Table 1. Chemical composition of soil solution extracted from paddy soils near mine tailing disposal site, Dukum mine (* not analysed)

에서 알칼리성으로 증가하며 이에 따라 중금속 농도 역시 감소한다. 같은 지점에서 토양수는 일반적으로 깊이가 증가하면서 전기전도도가 증가한다. 이는 용존이온 함량이 깊이에 따라 증가함을 나타내며 1) 심부로 가면서 환원환경 우세해짐에 따른 Fe/Mn 환원 용출과 중금속 함량 증가, 2) 표면시료의 더 높은 유기물 함량에 따른 중금속원소의 침전제거 등으로 설명이 가능하다.

광미야적장 주변 논토양에서 추출한 공급수의 중금속 농도는 오염원에 인접하지 않은 토양수에 비하여 부화되어있으며 중금속의 농도변화는 pH 의존적이다. 깊이에 따른 변화는 대부분의 지역에서 하부로 갈수록 농도가 증가함을 보이며 이는 시료채취 시기가 농작물이 자라지 않는 겨울철에 이루어져 더 이상의 물이 공급되지 않은 상태에서 오염물질이 하부로 이동하면서 나타난 결과로 예측할 수 있다. 토양연속추출 결과는 거리가 가까울수록 exchangeable 형태가 우세하며 점차 멀어지면서 reducible 또는 oxidisable 등의 형태가 우세해짐을 보여 토양과 수반되는 중금속들의 이동도와 독성도 역시 광미로부터 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

사사: 본 연구는 과학재단 목적기초 (R01-2000-0057) 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

- 정예진, 이상훈 (2001) 폐광산 복구지역 잔류광미로 인한 주변 지하수·토양오염가능성-시흥광산 사례. 자원환경지질, 34권, p.461-470.
- 박영석, 김진 (2000) 덕음광산 선광광미와 주변토양의 중금속에 대한 수평·수직적인 분산에 관한 연구. 자원환경지질, 33권, p.91-100.
- Wolt, J. (1994) Soil solution chemistry. John Wiley and Sons, 345p.
- 환경부 (2001) 환경백서. 환경부, 서울. 771p.
- Bain, J.G., Mayer, K.U., Blowes, D.W., Frind, E.O., Molson, J.W.H., Kahnt, R. and Jenk, U. (2001) Modelling the closure-related geochemical evolution of groundwater at a former uranium mine. Journal of contaminant Hydrology, 52, p.109-135