

광미 자연풍화에 따른 광미공극수의 지구화학적 진화와 지하수 오염영향
-시흥광산의 사례
(Geochemical evolution of mine tailing porewaters and groundwater
pollution - Case for Shiheung mine)

정예진, 이상훈*
한국과학기술연구원 환경공정연구부
* 가톨릭대학교 생명과학부
(slee@www.cuk.ac.kr)

Abstract

The Shiheung mine was closed in 1972 and has been abandoned since then. Although some restoration work has been done, there still remain mine tailings in and around the mine, posing a potential environmental hazard. Mine tailings and the porewater extracted from the tailing were investigated to see any evidence of elemental release and migration to adjacent groundwater and soil in the field. The pHs of the tailing range from 6.24 to 7.23. Calcite in the studied area seems to influence on such neutral pH range.

Depth profile of mine tailing demonstrate elements have been leached and removed as a consequence of weathering during disposal. This is also supported by the findings from porewater analysis, corresponding the trends in the mine tailings. The concentrations of Cu, Cd, Pb, Zn in the tailing porewater exceed the standard value of EPA for drinking water and this implies groundwater can be contaminated through infiltration of the porewaters, which ultimately will be discharged as leachate from the mine tailing. Groundwater samples collected near the mine area do not show high metal concentrations, except for Fe, which were detected over drinking water standard.

Key word: Abandoned mine, mine tailings, heavy metals, porewater,

1. 서 론

국내 휴, 폐광산의 대부분은 적절한 광해 방지 조치 없이 방치되거나 광미와 폐석이 완전히 제거되지 않아 이들로부터의 잠재적 오염가능성이 예견된다. 연구 대상 지역으로 선정된 시흥광산의 경우 1916년부터 금, 은, 동, 아연 등의 광물을 채광하기 시작, 1972년 폐광되었다. 1995년 이 지역에 대한 복구작업이 이루어져 광미 일부가 제거되었으나 광산주위와 주변 논 등에 여전히 폐석과 광미가 잔류하고 있다. 폐광주변의 잔류광미는 여전히 주변의 잠재오염원으로 작용하며 장기적인 오염영향을 야기한다 (Piers, 1998; Bain et al., 2000)

본 연구는 시흥광산을 중심으로 복구가 이루어진 후 잔류광미로 인한 주변 오염영향정도를 파악하기 위하여 실시하였다. 폐광산 주변의 광미 유출등에 의한 주변 오염 관련 연구는 비교적 많이 이루어졌으나 복구가 이루어진 이후의 사후평가에 관한 연구는 아직 이루어진 적이 없다. 또한 오염원, 오염경로 및 오염지역으로 연구대상을 나눌 경우 지금껏 오염경로와 오염원에 대한 연구는 상대적으로 소홀하였다고 할 수 있을 것이다. 본 연구는 오염원인 광미의 풍화과정에 따른 중금속 용출특성을 정량적으로 이해하고 지구화학적 특성에 따른 오염물질의 이동특성을 규명, 잠재적 오염영향을 평가하고자 한다.

2. 시료 채취 및 실험방법

야외에서 광미시료는 핸드 오거 드릴을 이용, 선광장에 방치된 광미와 논바닥에 퇴적된 광미를 깊이별로 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 중액과 원심분리방법을 이용, 공극수를 추출한 뒤 (Whelan and Barrow, 1980), 건조 후 2mm입도로 체질, 분쇄하여 화학 및 광물 분석에 이용하였다. 지하수 시료는 갭구 배출수와 주변 민가에서 채취하였다. 채취 현장에서 pH, 전기전도도를 바로 측정하였으며, 500ml 폴리에틸렌 병에 양이온과 음이온 용 각 1 개씩을 채취하였다. 실험실로 옮겨진 후 0.45 μ m membrane filter와 진공펌프를 이용하여 여과 후 양이온용 시료의 경우 농질산을 첨가하여 pH를 2이하로 유지하였다. 광미 및 토양의 pH, 수분함량 그리고 작열감량을 측정하였으며, X선 회절 분석을 통해 광물학적 특성을 분석하였다(Siemens, D5005). 광미의 주원소는 X-Ray Fluorescence (MXF-2001, SHIMAZU)로 미량원소는 ICP-AES (Jobin Yvon, Model JY- 38 plus)를 이용하였다. 추출된 공극수는 ICP-AES (Jobin Yvon, 138 Ultrace)를 이용, 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

광미시료의 X선 회절 분석 결과, 석영이 가장 많이 포함되며 점토광물로는 카오리나이트가 우세하였다. 그밖에 방연석, 섬아연석, 미량의 황철석이 확인되었다. 광미시료의 깊이에 따른 광물학적 차이는 거의 나타나지 않았다. 약 30여년간 풍화기간을 통하여 2차 광물이 형성되었을 것으로 예상되며 이는 SEM등을 이용한 추가관찰이 필요할 것으로 판단된다.

광미의 pH는 6.24~7.23 이며 작열감량은 2.04 ~ 3.31%의 범위로 일반 토양의 유기물 함량과 비슷하였다. 광미시료의 주 원소는 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 및 CaO로서 스카른 광상의 화학적 특성을 잘 반영한다. 즉, 석영과 탄산염 광물의 영향으로 인한 Si와 Ca 농도가 비교적 높음을 보인다. 중금속을 포함한 미량원소의 경우 각 원소의 평균함량이 Cu (3088ppm), Cd (75ppm), Pb (26213ppm) 및 Zn (11738ppm) 등의 값을 나타낸다. 광미의 깊이에 따른 농도차이의 관찰결과 상부 10 ~ 40 cm 채취시료의 평균과 하부의 50 ~ 80 cm 평균은 As, Cd, Ni, Pb 및 Zn의 경우 하부시료 평균이 상부시료 평균보다 낮은 값을 보여 원소의 용탈을 시사한다.

광미 공극수의 경우 용존 원소들의 농도는 전반적으로 깊이에 따라 농도가 증가하는 경향을 보인다(표1). 이는 광미를 통과하는 빗물이 점차 하부로 내려가면서 광미와의 접촉 시간이 길어짐에 따라 더 많은 원소들이 용출함을 시사하는 것으로 잔류광미에서 중금속들이 지속적으로 용출, 주변 환경으로 방출됨을 알 수 있다. 공극수의 중금속 평균농도를 살펴보면 Cd (0.25ppm), Cu (0.43ppm), Pb (0.90ppm) 그리고 Zn (58.45ppm) 등으로 국내 음용수 수질기준과 미국의 EPA 음용수 기준을 초과하고 있다 (EPA, 1999).

폐광산 갱입구 지하수 양이온의 경우 Cd와 Pb가 EPA 음용수 기준치를 약간 초과하였다. 민가에서 채취한 지하수 시료의 경우 EPA와 국내 음용수 기준 이하로 검출되었으며 Fe의 경우만 갱구지하수에서 가장 가까운 곳에 위치한 민가지하수에서만 EPA 음용수 기준과 국내음용수 기준의 2배를 넘는 0.7ppm이 검출되었다. 비록 기준치 이내이긴 하나 원소들이 대체적으로 오염원에서 거리가 멀어질수록 그 농도가 감소함을 보이며 이는 광미로부터 중금속이 용출, 인입된 후 거리에 따라 희석된 결과로 보인다.

깊이 (cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
Cd	0.09	0.07	0.24	0.38	0.40	0.43	0.35	0.13
Pb	1.92	0.96	0.46	0.55	0.67	0.44	1.50	0.69
Cu	0.44	0.36	0.42	0.38	0.71	0.37	0.34	0.43
Zn	49.70	56.00	51.20	56.40	64.60	62.40	71.20	56.00
SO ₄ ²⁻	907.0	392.0	449.0	434.0	266.0	667.0	1573.5	1057.8

표1. 깊이에 따른 광미 공극수 화학조성

4. 참고문헌

1. Bain, J.G., Blowes, D.W., Robertson, W.D. and Frind, E.D. (2000) Modelling of sulfide oxidation with reactive transport at a mine drainage site. Journal of Contaminant Hydrology, 41, p23-47.
2. EPA (1999), Quality criteria for water. USEPA, Washington D.C.
3. Piers, J.K (1998) Minewater remediation at a French Zinc mine; source of acid mine drainage and contaminant flushing characteristics. Geological Society of London. Special Publications. 128, p101-120.
4. Whelan, B.R and Barrow, N.J. (1980) A study of a method for displacing soil solution by centrifuging with an immiscible liquid. Journal of Environmental Quality, 9, p315-319.