

폐광지역 광미풍화에 따른 광산폐수의 지구화학특성과 지하수 오염영향

정예진¹⁾ · 이상훈²⁾

1. 서론

폐광지역으로부터의 대표적인 환경피해는 광미, 폐석의 용출을 통한 광산폐수의 지상 및 지하 방출로 인한 주변 지표수, 지하수 및 토양오염이라고 하겠다. 국내에 산재한 많은 휴·폐광산들이 아직도 적절한 복구가 이루어지지 않은 채 주변을 오염시키고 있으나 일부 지역의 경우 복구작업이 이루어지기도 하였다. 경기도 광명시에 위치한 시흥광산의 경우 광미적치장의 광미를 이송 후 바로 그 자리에 소각장을 건설함으로써 복구작업을 시행한 경우이다. 그러나 이 지역은 광산 주변에 아직도 광미가 일부 남아있으며 광산 가행기간 중 많은 양의 광미가 주변 논으로 이동, 퇴적되어 아직도 잠재적 오염원이라고 할 수 있는 광미가 상당량 지역에 잔류되어 있는 상태이다.

본 연구는 복구가 이루어진 지역의 잔류광미로 인한 지속적 오염가능성 여부를 알아보고 한다. 현재 국내에서 이루어진 폐광산 관련 연구는 광산 주변의 하상퇴적물, 토양 및 주변 토양 등 오염지역에 대한 조사가 주를 이루며 오염원이라고 할 수 있는 광미-물 반응간의 오염물질 형성과정과 오염물질의 이동 및 확산과정에 관한 연구는 상대적으로 소홀하였다. 또한 지금까지 국내에서 복구가 이루어진 지역에 대해 사후평가가 아직 이루어진 적이 없다. 본 연구는 오염원 - 오염경로 - 오염지역의 모형을 통해 휴·폐광산에 적치된 광미의 풍화과정에 따른 광산폐수의 지구화학적 진화과정과 중금속 용출과정을 정량적으로 이해하고 이에 따른 오염물질의 이동특성을 규명, 잠재적 주변 오염영향을 평가하고자 한다.

2. 실험 및 분석

광미시료는 폐광 주변에 잔류된 광미더미와 광산에서 하부로 약 1Km 정도 떨어진 논 바닥의 2곳에서 핸드오거드릴을 이용하여 광미시료를 깊이별로 채취하였다. 채취한 광미시료는 실험실로 옮겨져 TCE용액과 원심분리기를 이용하여 공극수를 추출하였다. 추출된 공극수는 ICP-AES와 IC를 이용, 중금속과 음이온을 분석하였으며 공극수를 추출한 후 광미시료는 건조, 2mm 체질을 거쳐 XRD를 이용한 광물분석과 XRF, ICP-AES를 이용하여 주원소와 미량원소를 분석하였다. 또한 야외에서 지하수 시료도 채취, 분석하였다.

야외시료 분석과 함께 실내에서 회분식 및 주상용출 시험을 통하여 광미의 용출특성을 분석하였다. 물분석 결과는 지구화학모델링 프로그램, PHREEQC을 이용하여 지구화학적 특성을 알아보았다.

3. 결과 및 토의

광미 공극수는 깊이에 따라 대부분 원소들의 농도가 증가하였다. 광미시료의 경우 공극수같은 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으나 깊이별로 볼 때 상부에서 채취한 시료의 원소농도가 하부에서 채취한 시료의 원소농도보다 대체적으로 낮아 풍화과정간 원소의 용출이 화학조성에 반영되었음을 시사한다. 따라서 잔류광미로부터 지속적 원소 용출이 있음을 알 수 있다. 이 지역은 스퀴르 광산의 특성으로 pH가 중성을 보이고 있으나 실내 용출 시험시 pH를 4 정도로 조정된 결과 중금속 농도가 100-400배 이상 증가하였으며 이는 산성비 영향 등으로 광미로부터의 중금속 용출이 크게 영향을 받을 수 있음

을 나타낸다.

공극수의 농도는 국내 및 미국 지하수 음용수 기준을 초과하며 이는 광미-물 반응결과에 의한 광미공극수가 지하로 인입될 경우 지하수가 오염될 가능성이 있음을 보인다 (표). 지하수에서의 중금속 농도는 Fe를 제외하고는 기준치 이내이나 오염원으로 생각되는 폐광산 부근에서 거리에 따른 감소를 보여 광미로부터 오염물질 인입이 시작된 것으로 생각된다.

표. 깊이에 따른 광미 공극수 화학조성 변화 (단위: mg/l, TCE 이용 추출)

깊이 \ 원소	10	20	30	40	50	60	70	80	평균	국내 기준	EPA 기준
Al	5.52	5.54	4.50	4.78	5.30	5.06	4.96	5.14	5.10	-	-
Cd	0.09	0.07	0.24	0.31	0.40	0.43	0.35	0.13	0.25	0.01	0.01
Cu	0.44	0.36	0.42	0.38	0.71	0.37	0.34	0.43	0.43	1.00	1.30
Mn	0.12	0.09	0.13	0.12	0.22	0.15	1.58	0.33	0.34	0.30	-
Pb	1.92	0.96	0.46	0.55	0.67	0.44	1.50	0.69	0.90	0.05	0.015
Zn	49.80	56.00	51.20	56.40	64.60	62.40	71.20	56.00	58.45	1.00	5.00

본 연구결과로 보아 이 지역의 잔류광미에서 추출된 공극수는 지하수 음용수 기준을 초과하는 중금속을 방출하여 장기간 방치시 지하수 오염가능성이 매우 클 것을 알 수 있으며 이는 광산 주변 민가에서 채취한 지하수 시료에서 나타난 결과로 증명된다. PHREEQC을 이용한 모델링 결과 광미로부터의 원소 용출은 Cu, Ca, S 등의 원소를 제외하고는 농도조정 고형물질을 나타내지 않고 있으며 이는 이들 원소가 아직 평형농도에 도달하지 않았으며 용출 원소 농도가 지속적으로 증가할 것임을 알 수 있게 한다.

주요어: 광미, 공극수, 지하수 오염, 광산폐수, 지구화학모델링

- 1) 한국과학기술원 환경공정연구부
- 2) 가톨릭대학교 생명과학부