

동위원소를 이용한 지하수 오염원 추적에 관한 연구

지상우, 김효범, 이지은, 유상희*, 전용원*, 김선준

한양대학교 지구환경시스템공학과, (재)자원산업연구원*
geochemistry@hanmail.net

<요약문>

Sulfur isotope composition was used to identify the sources of groundwater contamination near abandoned coal mines. From the analysis of mine adit drainages, tailing seepages, and spring waters near the abandoned Hambaek and Hanchang coal mines in Kangwon Province, it was inferred that the highly possible source of the contamination of spring water is acid mine drainage(AMD). Sulfur isotope composition showed that seepage from tailings seemed to have more effect on the groundwater contamination than mine adit drainage, which suggests the remediation and anti-contamination methods of tailing seepages not only mine adit drainage are required.

key word : AMD, groundwater contamination, Sulfur isotope

1. 서 론

우리나라 산업발전에 일익을 담당했던 광업은 산업형태 변화와 자원고갈로 인해 점차 쇠퇴하여 현재에는 2000여 개의 휴, 폐광산이 존재하고 있으며 이러한 광산은 인근 주변의 지표수 및 지하수를 지속적으로 오염시켜 수중생태는 물론 인근 생활용수 사용에도 지장을 주고 있다. 발생하는 광산배수의 대부분은 지하수보다는 하천수로 바로 유입되기 때문에 그 동안 수행된 폐광에 대한 환경오염관련 연구들은 대부분이 각 광산의 갱구로부터 유출되는 갱구유출수에 대한 조사 연구와 그 처리방안에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 폐광지역 주위의 지하수 오염에 대한 연구는 단순히 참고적으로만 조사될 뿐 자세한 연구가 거의 없었다. 이는 지하수에 대한 연구에 있어서 광산 특히 탄광의 경우 대부분 산악지방에 위치하기에 관정을 착정하여 연구를 수행하기에 어려움이 많기 때문이다. 따라서 폐광지역 지하수의 오염에 관한 연구는 광산 부근 침출수, 샘물 또는 주변 마을의 우물에 대하여 수행하는 방법을 택해야 한다. 최근 강원도 탄광 부근에 대한 조사결과 샘물의 오염현상이 발견되어 광산배수에 의한 지하수의 오염이 확인되었다⁽¹⁾.

본 연구에서는 샘물시료에서 광산배수의 영향으로 오염이 발견된 강원도 소재 함백탄광과 한창탄광 두 곳을 대상으로 지하수에 대한 오염원이 갱내에서 발생하는 유출수인지 주변에 산재하는 폐석에 의한 것인지를 규명해보고자 하였다. 오염지하수에 대한 정확한 오염원과 오염경로의 파악은 향후 폐광지역 오염방지 및 정화 대책을 세우는데 중요한 요소가 될 것이다.

2. 황동위원소

산성 배수 내의 용존 황은 주로 황산염 이온(SO_4^{2-})으로 구성되어 있는데, 그 대부분은 황철석의 산화 및 용해로부터 유래된 것이다. 생성되는 용존 황의 황 동위원소 조성은 1) 황철석의 황 동위원소 조성, 2) 황철석의 산화기작(무기적 산화 대 미생물에 의한 산화)에 따른 산화-환원 황 종간의 황동위원소의 분별(fractionation) 차이, 3) 산화 반응을 일으키는 미생물의 종류 등에 따라 결정된다⁽²⁾.

일반적으로 황철석 내 황과 같은 고상의 것이 산화되면 황동위원소의 분별은 매우 적거나 거의 없는 것으로 알려져 있다⁽³⁾. 황의 산화로 인해 황동위원소가 분별된다면, 황동위원소는 산성 배수내 용존 황의 기원뿐만 아니라 산성 배수의 발생기작을 밝히는 데도 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 그러나 만일 황동위원소의 분별이 없다면, 황동위원소를 이용하여 산성 배수 내 용존 황의 기원을 밝히는 것만 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 지하수의 오염원으로 예측되는 오염원들과 지하수의 황동위원소 조성($\delta^{34}\text{S}$)을 비교하여 지하수에 대한 정확한 오염원을 추적하고자 하였다.

3. 연구지역

함백탄광은 강원도 정선군 신동읍 방제리에 위치하는 폐탄광으로 갱구로부터 1500m 가량 떨어진 곳에 위치한 통기구에서 유출수가 나오고 있으며 그 중간지점에는 폐석이 적치장이 있다. 폐석 적치장 아래쪽으로 함백역(갱구에서 600m지점)이 있으며 함백역에 과거 약수로 쓰이던 샘물이 나오고 있다.

한창탄광은 정선탄전의 남단부인 강원도 평창군 미탄면 평안리에 위치하는 폐탄광으로 갱구로부터 서쪽으로 100m가량 떨어진 곳에 폐석적치장이 있고, 그 남쪽으로 갱구에서 약 200m 떨어진 곳에 위치하는 농가(삼막골)에 샘물이 있다. 이 샘물은 과거 식수로 사용하던 것이나 현재는 오염으로 이용하지 않고 있으며, 식수로는 광산보다 위 편 산에서 관을 연결하여 사용하고 있다.

4. 시료채취 및 분석

연구를 위해 2003년 4월 함백탄광과 한창탄광에서 갱구유출수, 폐석침출수, 샘물 시료가 각각 채취되었다. 또한 함백탄광에서는 또다른 갱구유출수로 볼 수 있는 통기구유출수가 채취되었다. 한창탄광에서는 지역의 강수시료로 판단 할 수 있는 인근 농가에서 식수로 사용하는 물이 채수되었다.

물시료는 현장에서 수소이온농도(pH), 산화-환원전위(Eh), 온도, 전기전도도, 용존산소를 측정하였으며 0.45 μm 의 Nitrocellulose Membrane Filter로 부유물질을 제거한 후 SO_4^{2-} 분석용 60ml를 냉장 보관하였다. 황동위원소 분석을 위해 500mL의 시료를 채수한 뒤 묽은염산을 사용하여 pH 4.5이하로 떨어뜨린 후 BaCl_2 를 과량 사용하여 BaSO_4 를 침전시키고 원심분리를 이용하여 이를 회수하였다. SO_4^{2-} 의 함량이 작은 한창탄광 식수는 4L씩 채수하여 전처리를 수행하였다.

SO_4^{2-} 농도는 한국기초과학지원연구원 부산분원의 IC(Ion Chromatography; Dionex series 500DX)를 이용하여 분석하였다. 동위원소 분석은 한국기초과학지원연구원 대전본원의 안정동위원소 질량분석기(Stable Isotope Mass Spectrophotometer; PRISM II / 영국 VG Isotech사)를 이용하여 분석하였다. 산소-수소 동위원소의 표준시료는 VSMQW(Viena standard mean ocean water)를 사용하였고, 분석정밀도는 $\pm 0.1\%$ 이다. 황동위원소의 표준시료는 CDT(Canyon Diablo Troilite)를 사용하였고 분석정밀도는 $\pm 0.2\%$ 이다.

5. 지하수 오염원 추적

Table 1은 채취된 시료들에 대한 현장측정값과 SO_4^{2-} 농도를 나타낸 것이다. 갱구유출수의 경우 SO_4^{2-} 농도가 함백탄광은 148.25 mg/l, 한창탄광은 567.42 mg/l로 분석되었다. 함백탄광이 갱구유출수나 통기

구유출수는 오염도가 낮게 나타났으나 폐석침출수와 샘플의 경우 매우 높은 오염도를 보이고 있다. 한창탄광의 경우에도 폐석침출수와 샘플이 높은 오염도를 보이는 것으로 나타났는데, 함백탄광의 샘플에서는 SO_4^{2-} 농도가 28.33mg/l로 비교적 낮은 값을 보였다. 이는 샘플이 오염되지 않았을 가능성보다는 슈위트마나이트와 같은 철 황산염 수산화물이 침전되면서 SO_4^{2-} 농도가 감소했을 가능성을 보여준다⁽⁴⁾.

Table 2. 함백탄광 및 한창탄광 물시료의 물리화학적 특성과 황산염이온 농도

		pH	ORP(mv)	TDS(ppm)	DO(%/ppm)	SO_4^{2-} (mg/l)
함백탄광 (방제갱)	갱구유출수	6.46	-19.6	0.01	65.4/6.85	148.25
	통기구유출수	6.66	-15.7	452.00	41.1/3.83	197.40
	폐석침출수	3.27	550.3	124.00	76.0/7.57	1528.81
	함백역뒤샘물	3.86	364.4	868.00	69.6/6.98	1416.92
한창탄광	식수	6.30	203.0	13.75	77.3/8.32	4.16
	갱구유출수	6.62	3.1	607.00	58.0/6.01	567.42
	폐석침출수	4.65	244.2	261.00	68.3/7.17	295.48
	삼막골샘물	4.19	213.6	266.00	68.4/7.30	28.33

광산배수 내 용존 황의 $\delta^{34}S$ 는 황산염 광물의 침전에 의해 별 영향을 받지 않으며, 오직 모 황철석의 $\delta^{34}S$ 값과 황철석의 미생물 및 무기적인 작용에 의한 산화 반응 동안의 황동위원소 분별에 의해 결정되는 것으로 생각할 수 있다⁽⁵⁾. 따라서 광산배수에 영향을 받은 지하수 내 용존 황의 $\delta^{34}S$ 는 그 기원이 되는 광산배수의 값을 거의 그대로 나타낼 수 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서 조사된 함백탄광과 한창탄광의 폐석침출수는 갱구유출수에 비해 낮은 $\delta^{34}S$ 값을 보인다. 또한 함백탄광의 값이 한창탄광의 값보다 더 낮은 값을 나타내는 바 함백탄광의 폐석내에 존재하는 황성분에 가벼운 동위원소가 좀 더 많은 양 존재하는 것으로 보여진다. 샘플시료의 $\delta^{34}S$ 값이 한창탄광에서는 폐석침출수의 구성과 비슷하게 나타났고, 함백탄광의 샘플은 폐석침출수의 값보다도 낮게 나타났다. 이는 지하수의 오염원이 갱구유출수 보다는 폐석침출수일 가능성이 크다는 것을 보여주며, 함백탄광의 경우 황의 산화과정에서 황동위원소의 분별이 일어났을 가능성도 보여준다. 황의 산화 반응에 의해 황동위원소가 분별되었다고 보고한 연구에서는 용존 황에 가벼운 동위원소가 부화된다 하였다⁽⁶⁾.

현재 다른 지역 탄광주변의 지하수에 대한 오염원에 대해서도 황동위원소를 이용한 추적을 적용하기 위해 강원도의 용배탄광과 풍원탄광, 전라도의 호남광업소 부근을 대상으로 시료가 채수되어 분석 중에 있다.

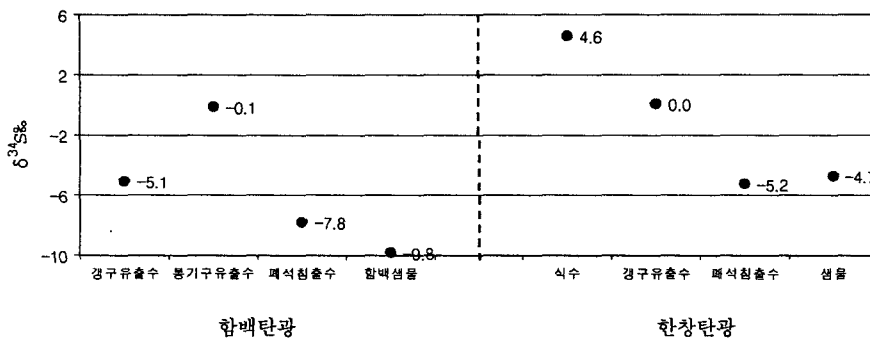


Fig. 1. 함백탄광 및 한창탄광 물시료 황동위원소 조성.

6. 결론

본 연구는 황동위원소를 이용하여 휴.폐광산 지역에서의 발생되는 지하수의 정확한 오염원을 추적하기 알아내기 위해 수행되었다. 함백탄광과 한창탄광 인근의 샘플은 낮은 pH를 나타내 광산배수에 의해 오염되었을 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이들에 대한 황동위원소 조성을 분석한 결과 지하수 오염원으로 갱구유출수보다 폐석침출수가 더 크게 작용하고 있는 것으로 나타나는 바 폐석침출수에 대한 정화 및 오염방지 대책 마련이 필요한 것으로 사료된다.

7. 참고문헌

- 1) 이강근, 2002, 지하수 활용을 위한 오염예방 및 저감기술 개발 연차실적 및 계획서, 과제번호 (3-5-1)
- 2) Krouse, H.R., 1980, Sulfur isotopes in our environment. In: Fritz, P. and Fontes, J.C. (eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, V.1, pp.435-472
- 3) Taylor, B.E., Wheeler, M.C. and Nordstrom, D.K., 1984b, Isotope composition of sulphate in acid mine drainage as measure of bacterial oxidation. Nature, 308, pp.538-541.
- 4) Yu, J.Y., Heo, B, Choi, I.K., Cho, J.P. and Chang, H.W., 1999, Apparent solubilities of schwertmannite and ferrihydrite in natural stream waters polluted by mine drainage. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63, pp.3407-3416.
- 5) 유재영, Max Coleman, 2000, 산성 배수 내 용존 황의 동위 원소 조성 : 영동 및 강릉 탄광 사례 연구, 지질학회지, Vol. 36, No. 1, pp.1-10
- 6) Nissenbaum, A. and Rafter, T.A., 1967, Sulfur isotopes in altered pyrite concretions from Israel. Journal of Sedimentary Petrology, 37, pp.961-962

8. 사 사

이 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:3-5-1)에 의해 수행되었다.