

폐탄광 부근 지하수의 오염에 관한 연구

지상우, 고주인, 유상희*, 전용원*, 김선준
한양대학교 지구환경시스템공학과, (재)자원산업연구원*
geochemistry@hanmail.net

요 약 문

Sampling of waters from each stage of treatment system, SAPS (Successive Alkalinity Producing System), and spring water near the Hanchang coal mine of Kangwon Province were carried out periodically and analyzed to evaluate the source and possible path of groundwater contamination by acid mine drainage(AMD). Chemical and sulfur isotope compositions showed that spring water was affected by seepage from mine tailings, and seepage of stonewall, a part of treatment system, was affected by both seepage from mine tailings and mine adit drainage. Through the treatment system no appreciable decrease of sulfur content was identified. And almost similar sulfur isotope compositions of water from each stage of the treatment system may suggest incomplete or very poor sulfate reduction by sulfate reducing bacteria.

key word : AMD, groundwater contamination, sulfur isotope, SAPS, sulfate reduction

1. 서론

폐탄광에서는 지하에 묻혀있던 황화광물들이 지표환경으로 노출되면서 산화되어 광산배수를 산성화 시켜 이른바 산성광산배수(Acid Mine Drainage)가 유출된다. 석탄산업합리화사업단의 보고에 의하면 1996년 현재 전국에 분포하는 폐탄광들 중 152개 탄광 206개 갱에서 하루 4만 8천톤 이상의 AMD가 발생되며 피해 오염구간이 153km에 이르고 있다⁽¹⁾.

한창탄광은 1993년 석탄합리화사업으로 폐광되었고, 석탄합리화사업단에서 2001년 6월 SAPS(Successive Alkalinity Producing System)를 이용한 자연정화처리시설을 시공하여 현재 운영하고 있다. 갱구에서 약 200m 떨어진 농가(삼막골)에서 과거 식수로 사용하던 샘의 오염현상이 인지되어 삼막골 샘물을 중심으로 한창탄광 부근 지하수에서의 오염원 및 오염경로를 규명함으로써 폐광에 의한 주변 지하수의 오염상황의 파악 및 오염의 지연 또는 궁극적인 제거방안에 관한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 시료채취 및 분석

2.1. 시료채취

시료채취는 2002년 2월, 6월, 7월, 9월, 10월 5회에 걸쳐 수행되었다. 시료는 한창탄광 자연정화처리시설의 유입수(HC1)와 SAPS조 2개를 통과한 처리수(HC2), 폐석침출수(HC4), 산화조 처리수(HC6), 소택지 처리수(HC8), 최종방류수(HC9), 하천수(HC10) 그리고, 부근 농가의 샘물(HC5)과 처리시설의 SAPS조 overflow(HC3), SAPS와 산화조 사이 석축의 침출수(HC7)가 각각 채수되었다. 9월시료 부터는 농가에서 식수로 사용하는 물로 광산 윗쪽의 산에서부터 끌어온 물(HC11)을 채수하였다.

물시료는 부유물 제거 후 양이온 분석용과 음이온 분석용으로 나누어 보관하였다. 양이온 분석용 시료의 경우 농질산을 가하여 pH2이하로 보관하였다. 수소이온농도(pH), 산화-환원전위(Eh), 온도, 전기전도도 등은 시료 채취시 현장에서 측정하였다. 황동위원소 분석을 위해서 250ml의 시료를 채수하여 묽은염산을 이용하여 pH를 4.5이하로 떨어뜨린 후 BaCl₂를 과량 가하여 BaSO₄를 침전시키고 원심분리 등을 이용하여 침전물을 회수하였다. 10월에 추가로 채취된 인근농가 식수로 이용하는 식수는 황산염이온의 함량이 미량인 관계로 4l를 채수하여 전처리를 수행하였다.

2.2. 분석

양이온은 기초과학지원연구원 서울본원의 ICP-AES를 이용하여 분석하였다. 음이온중 HCO₃⁻은 적정법으로 측정하였고, 기타 음이온은 기초과학지원연구원 부산본원의 IC를 이용하여 분석하였다. 황동위원소 분석은 기초과학지원연구원 대전본원의 Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer(표준시료 CDT(Canyon Diablo Troilite)사용, 분석정밀도 ±0.2‰)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수소이온농도(pH)

6월과 7월에는 유량의 차이가 거의 없었고, 8월말의 집중 호우 이후에 유량이 증가되었다. 9월에 채취한 폐석침출수의 pH가 매우 낮아진 것은 강수량의 증가로 인해 폐석더미 내의 황화물의 산도의 용출량이 증가한 이유인 것으로 보인다. 반면에 하천수의 pH는 높아졌는데, 이는 하천수의 증가에 의한 희석효과인 것으로 판단된다. 하천수의 pH는 10월에 다시 낮아지는데, 역시 유량의 감소로 석축침출수의 영향이 증가함에 기인한 것이다. 샘플시료와 석축침출수의 pH는 계절에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타나 지하수의 pH변화는 계절적인 영향이 거의 없는 것을 보여주며, 이는 AMD가 계절과 무관하게 지속적으로 지하수를 오염시킬 수 있음을 나타내고 있다고 할 수 있다(Fig.1.).

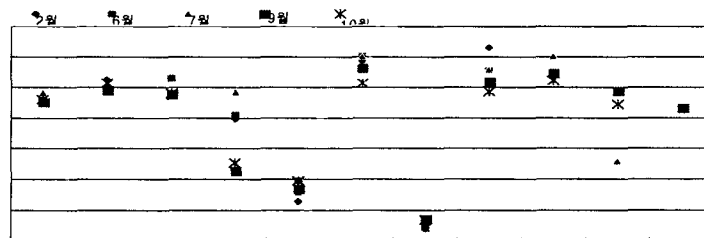


Fig. 1. 한창탄광 부근 수계 pH 변화

3.2. 화학조성

금속농도는 전체적으로 석축침출수에서 가장 높은 농도를 보인다(Fig.2.(a),(b)). Fe함량에 있어서 석축침출수에서 최고(6월) 640 mg/l에 이르는 높은 농도가 나타났다. Al함량 역시 석축침출수에서 6월에 53.8 mg/l로 가장 높았다. 갱유출수는 석회석 충전의 효과로 중성의 pH를 보이며, 금속 농도도 낮게 나타난다. 그러나 9월에 유량증가로 인해 석회석과의 반응이 적은 상태로 유출되면서 Fe 함량이 84.3 mg/l까지 높아졌다. 앞에서 언급한 대로 폐석침출수는 오히려 9월에 낮은 pH를 보였는데 이때 Al의 농도가 4.74 mg/l로 나타났다. 삼막골 샘플은 Fe가 거의 없고 Al 농도만 높게 나타나는데 지중에서의 유동 중에 Fe가 침전등을 통해 제거되고 안정영역이

다른 Al만 잔류하는 것으로 보인다. 반면 석축침출수는 갱유출수나 처리시설에서의 누수가 석축을 지나면서 석축을 구성하는 폐석들과 계속 반응을 하여 고농도의 금속을 함유하며 유출되는 것으로 보인다.

SAPS를 이용하는 가장 주된 이유는 버섯퇴비 등을 이용하는 유기물층이 SO_4^{2-} 를 환원 시킴으로써 SO_4^{2-} 를 제거 또는 감소시키는 것이다. 그런데, 처리시설을 통과하는 각 단계에서 SO_4^{2-} 농도가 거의 변화가 없는 것으로 나타나고 있다(Fig.2.(c)). 다른 처리시설에 대한 조사에서도 SO_4^{2-} 의 농도는 거의 변화가 없었으며 오히려 증가한 경우도 발견되었다⁽²⁾. 이는 SAPS의 유기물층 자체에서 SO_4^{2-} 가 용출되어 그 효과를 볼 수 없는 가능성과 유기물층에서 기대되는 황환원이 일어나지 않는 가능성을 제시한다⁽³⁾.

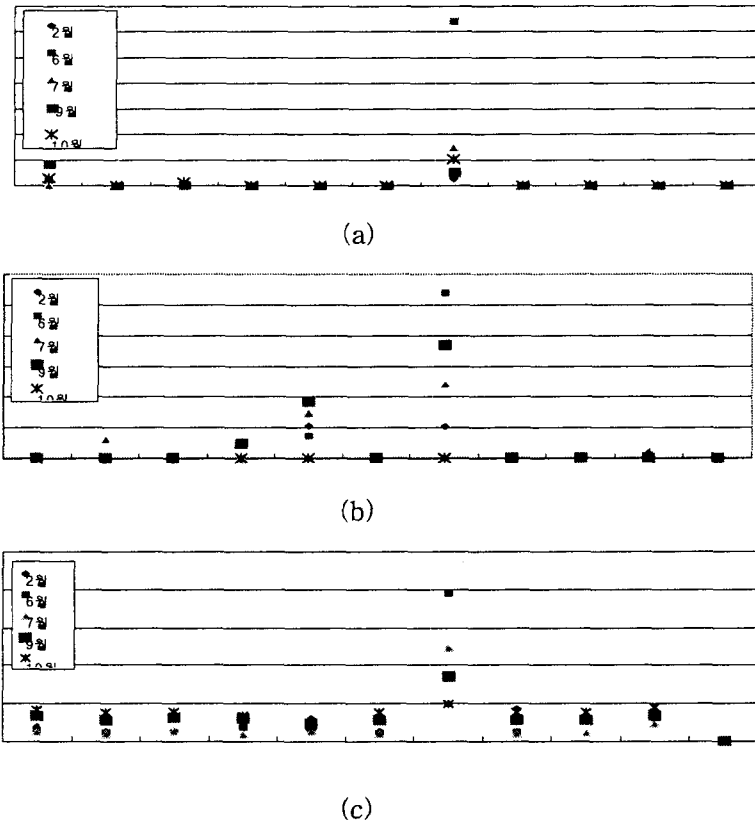


Fig. 2. 한창탄광 부근 수계 이온농도 변화 (a) Fe, (b) Al, (c) SO_4^{2-}

3.3. 황동위원소

갱유출수에 비해 폐석침출수의 $\delta^{34}S$ 값이 낮게 나타나고 폐석침출수와 삼막골샘물의 $\delta^{34}S$ 값은 거의 같게 나타나는데, 이는 삼막골샘물의 오염원이 갱유출수 보다는 폐석침출수일 가능성이 높음을 보여준다. 반면에 석축침출수의 경우는 폐석침출수와 갱유출수의 중간 값을 나타내고 있어 갱유출수와 폐석침출수 모두의 영향을 받고 있는 것으로 보여진다(Fig.3.). Krouse et al.(1970)에 의하면 황환원박테리아에 의한 황산염환원이 있는 경우 용존 황의 $\delta^{34}S$ 값은 원래의 조성보다 최대25% 정도 더 부화되게 된다. 따라서 SAPS조에서 황산염환원이 일어났다면 SAPS처리수의 $\delta^{34}S$ 값이 높아질 것이다. 9월 SAPS 처리수에서 갱유출수에 비해 2%의 $\delta^{34}S$ 가 부화된 것으로 나타났으나, 황환원박테리아에 의한 황산염환원의 결과로 보기에 작은 값이다. 용존 황의 $\delta^{34}S$ 값에 영향을 미칠만한 황산염 화합물의 침전도 생각해 볼 수 있겠으나, 침전에 의한 $\delta^{34}S$ 값의 변화는 미미한 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁾. 이는 SO_4^{2-} 환원이 일어나지 않고

있다면, 이를 뒷받침 할 수 있는 결과로 볼 수 있다. 인근 농가 식수의 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 6‰로 광산배수의 영향이 없이 이 지역 강수의 $\delta^{34}\text{S}$ 값을 반영한 것으로 판단된다. 최현수 등(2000)에 의해 제시된 강원도 지역 일부 지표수의 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 +7.4~8.4‰로서 식수의 동위원소 값과 1~2‰ 정도의 차이를 보이고 있다⁽⁵⁾.

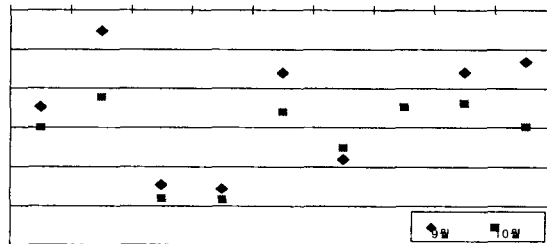


Fig. 3. 한창탄광 부근 수계 황동위원소 분포($\delta^{34}\text{S}$ 단위 : ‰)

4. 결론

1) 화학조성비와 황동위원소 조성을 통해 볼 때 삼막골샘물은 폐석침출수의 영향을 식축침출수는 폐석침출수와 갱유출수의 영향을 동시에 받고 있는 것으로 판단된다.

2) 연구지역에 있어서 갱유출수에 대한 처리시설이 가동중에 있으나 폐석침출수에 대한 대책이 없으며, 다른 폐광지역에서도 유사한 현상이 예상되는바 폐석침출수에 대한 정화 및 오염방지 대책 마련이 시급한 것으로 사료된다.

3) 처리시설에서의 SO_4^{2-} 농도 변화와 황동위원소 조성을 통해 볼 때 처리시설인 SAPS 조에서의 주된 처리기작인 황산염환원 반응이 제대로 이루어지지 않고 있을 가능성이 제시되었다.

5. 참고문헌

- (1) 배봉구, 1996, 석탄합리화사업단의 광해복구 및 환경개선 사업활동, 대한자원환경지질학회 추계학술여행 - 폐탄광일대의 지질환경 오염과 광해복구, pp.2-15
- (2) 정영욱 외, 2001, 폐금속광산 환경오염평가 및 정화기술 연구, 한국지질자원연구원 KR-01(연차)-07, pp.198
- (3) Kepler, D.A. and McCleary, E.C., 1994, Successive alkalinity-producing system(SAPS) for the treatment of acidic mine drainage, International land reclamation and mine drainage conference and the third international conference on the abatement of acidic drainage, v.1, p.195-204
- (4) 유재영, Max Coleman, 2000, 산성배수 내 용존 황의 동위원소 조성 : 영동 및 강릉탄광 사례 연구, 지질학회지, 제36권, 제1호, pp.1-10
- (5) 최현수, 고용권, 김천수, 배대석, 윤성택, 2000, 강원도 지역 탄산수의 환경동위원소적 특성, Econ. Environ. Geol. Vol.33, No.6, pp.491-504

6. 사사

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