

# 보은제일탄광 수계에 분포하는 수질과 토양의 오염도 평가

김기중<sup>1)</sup> · 이찬희<sup>2)</sup> · 이현구<sup>1)</sup>

## 1. 서 언

충북 보은군 회남면 조곡리와 분저리 일대에는 옥천누층군의 변성퇴적암에 속하는 문주리층, 창리층, 황강리층 및 국사봉층이 분포한다. 특히 국사봉층에는 모암의 주향연장을 따라 3~6매의 저품위 탄층이 단속적으로 배태되어 있어, 이를 대상으로 개발되었던 한도탄광, 부국탄광, 삼성제일탄광 및 보은제일탄광이 있다. 각각의 탄광주변에는 탄층을 따라 노두의 여러 곳에 갱도와 지표 채굴적이 산재한다. 노두에서 관찰되는 탄층은 수직 20 m 내외에서 10~300 cm의 폭을 보이거나 대부분 100 cm 미만이다. 이들은 안행상 구조를 보이며 보통 수십 m 정도 연장되나, 이를 추적하면 단속적으로 3 km 정도까지 확인할 수 있다.

현재 보은제일탄광 수계에는 갱도, 채굴적, 광폐석 및 선광잔해물이 방치되어 있으며, 폐갱도에서 유출되는 갱내수와 광폐석장의 침출수는 아무런 여과 없이 하천을 따라 대전, 충남, 충북 지역의 상수원인 대청호로 유입되고 있다. 이는 주변환경의 점오염원으로서 수계를 따라 이동되며 하천생태계와 반응을 통하여 독성 및 유해중금속을 부화시킬 것이다. 이 연구는 보은제일탄광 주변지역의 수질과 토양에 대한 오염도를 파악하기 위하여 수계의 상류에서 대청호까지 지하수, 지표수, 광산수, 경작토양을 대상으로 물리화학적 특성변화와 중금속의 오염도를 평가한 것이다.

## 2. 연구방법

보은제일탄광 수계에 분포하는 광산수, 지표수, 지하수와 호수를 대상으로 물리화학적 특성과 계절의 변화를 파악하기 위해 광산수로부터 하류방향으로 29개 지점을 설정하고 1998년 8월과 2002년 4월에 걸쳐 총 54개 시료를 채취하였다. 시료의 온도, pH, Eh와 EC는 시료채취와 동시에 측정하였다. 양이온 및 음이온 분석은 충남대학교 공동실험실습관의 ICP-AES (Perkin-Elmer Optima 3000XL) 및 ICP-MS (Perkin-Elmer Elan 6000), IC (Dionex 120)를 이용하였다. 음이온중  $\text{HCO}_3^-$ 는 0.05N의 HCl로 적정한 것이다. 이 결과는 분석과정에서 필수적인 신뢰도 측정을 이용하여 평가하였다.

또한 탄층의 모암, 수계의 퇴적물과 침전물, 경작지 토양을 채취하여 주성분, 미량성분 및 희토류 원소를 분석하였다. 토양시료는 1 m 간격의 격자 상으로 9지점에서 채취하고 이를 합하여 하나의 시료로 하였다. 하상퇴적물은 물의 흐름이 없는 곳에서 부유물과 유기물을 제거한 후에, 플라스틱 삽을 이용하여 1~10 cm 깊이로 채취하였다.

---

주요어 : 보은제일탄광, 수질오염, 토양, 중금속, 독성원소, 부화지수

1) 충남대학교 지질환경과학과 (kimgi777@hanmail.net)

2) 공주대학교 문화재보존과학과 (chanlee@kongju.ac.kr)

이 시료들은 100 mesh 미만의 입도로 체질한 것을 실내에서 자연건조하고 분말화하여 분석하였다. 침전물 시료들은 갯내수 및 하천수의 교란을 최소화하기 위하여 합성수지 병에 담아 실험실로 옮긴 후, 0.45  $\mu\text{m}$  공극의 질산염 섬유소 여과지로 여과하여 실온에서 건조한 것이다. 각 시료의 주성분 및 미량성분은 충남대학교 공동실험실습관의 ICP-AES 및 ICP-MS를 이용하여 분석하였다. 일부 시료의 희토류 원소는 캐나다의 ASTLABS에 의뢰하여 ICP-MS와 INNA로 정량한 것이다.

### 3. 연구결과

#### 3-1. 수 질

분석된 수질시료들의 pH는 2.81~8.10로서 산성에서 약알카리성까지 넓은 범위를 갖는다. 지하수에서는 5.90~7.42 (평균 6.72), 광산수는 2.81~8.10 (평균 6.96), 지표수는 6.30~7.94 (평균 7.27), 호수는 7.24~7.75 (평균 7.57) 이다. EC는 66~26,100  $\mu\text{S/cm}$ 로서, 지하수에서는 123~478 (평균 223)  $\mu\text{S/cm}$ 이며, 광산수는 368~26,100 (평균 3,243)  $\mu\text{S/cm}$  이다. 지표수는 87~1,018 (평균 326)  $\mu\text{S/cm}$ 이고, 호수에서는 112~345 (평균 184)  $\mu\text{S/cm}$  이다. Eh는 -48~235 mV의 범위로서 일반적인 자연수의 범위와 유사하다. 이 시료들의 pH 대한 Eh 및 EC 변화를 보면 pH에 대한 Eh는 음의 관계를 보였다. 광산수는 지표수, 지하수 및 호수에 비하여 높은 pH와 낮은 Eh를 나타낸다. pH와 EC는 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다.

광산수의 주성분 양이온 평균함량 (mg/l)은 Ca = 116.274, Mg = 90.389, Na = 4.84 이다. 지하수는 Ca = 14.062, Mg = 4.425, Na = 5.346이고, 지표수는 Ca = 24.224, Mg = 5.730, Na = 1.900로서, 광산수가 지표수, 지하수 및 호수에 비해 Ca와 Mg가 월등히 높다. 용존 음이온의 평균함량도 광산수에서 지하수, 지표수 및 호수로 가며 낮아지는 경향이 뚜렷하였으며, 광산수계에서  $\text{SO}_4$ 의 최대함량은 3,567 mg/l 이다. 일부 중금속의 평균함량 (mg/l)을 보면 광산수가 As (0.004), Cd (0.039), Cr (0.004), Cu (0.096), Pb (0.005), Zn (1.276)로서 지표수, 지하수 및 호수에 비해 상당히 높게 검출되었다. 또한 광산수에 영향을 받는 지표수 경우에 높은 함량의 중금속이 검출되는 것으로 보아 광산수가 유입되는 지표수에서는 오염의 확산이 진행되고 있음을 보여주었다.

수질의 화학적 유형과 진화 경향을 검토하면, 광산수의 양이온 특성은 Na+K가 결핍되어 Ca+Mg가 증가한 것을 볼 수 있고, 음이온은  $\text{HCO}_3 + \text{Cl}$ 이 결핍되어  $\text{SO}_4$ 가 증가하였다. 한편 지표수는 Cl이 결핍되어  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4$ 형에 걸쳐 분포한다. 따라서 연구지역의 양이온은 Ca+(Na+K) 형에서 Mg형으로 진화하고 음이온은  $\text{HCO}_3$  형에서  $\text{SO}_4$ 형으로 진화한다. 모든 수질은 pH에 대해  $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ , Ca+Mg 및 TDS는 양의 관계를 가졌으며, 광산수가 지표수, 지하수 및 호수에 비해 높았다. EC에 대한 TDS는 양의 관계로서 TDS가 높아질수록 EC가 증가하였다. 광산수에서 TDS와  $\text{HCO}_3$ /음이온 총량 및  $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ 는 양의 관계를 보였다.  $\text{SO}_4$ 와 TDS의 함량변화를 대표적인 오염원소와의 관계를 살펴보면 TDS에 대하여 As, Cu, Fe, Zn 모두 양의 관계를 보였으며, 광산수에서 TDS가 높아질수록 오염원소들이 증가하였다.

#### 3-2. 토 양

모든 토양시료에서 주성분 원소의 평균함량은 Al을 제외하고 기반암의 평균함량보다 높게 검출되었다. 특히 Fe는 침전물 (27.70 wt.%)이 기반암 (2.95 wt.%)보다 월등히

높게 검출되었다. 주요 미량성분의 함량 (ppm)은 As = 1~3,100, Cd = <0.5~118.2, Cu = 3~706, Pb = 5~73, Sb = 0.5~17.1, Zn = 54~12,856로서 넓은 조성범위와 아주 높은 함량을 갖는다. 모두 기반암보다 높은 값이며, 일부 퇴적물의 As 최대함량은 4,500 ppm에 달하였다. 또한 광산부근 침전물이 갖는 Zn의 최대함량은 12,856 ppm으로서 기반암의 평균함량인 234 ppm보다 높은 값을 보였다.

연구지역의 경작토양, 퇴적물과 침전물의 주성분, 미량성분, 희토류 원소의 자료를 이 지역 기반암의 평균조성으로 나누어, 각각의 부화지수를 구하였다. 부화지수는 다변수 자료를 단순화시키기 위한 방법으로 각 시료의 분석치를 주성분, 미량원소, 희토류 원소, 환경유해원소로 표준화하여 산술평균치로 하였고, 1이상인 경우는 오염지역으로 1이하의 비오염지역으로 나눌 수 있다. 주성분 원소의 평균 부화지수 값은 경작토양 = 2.57, 침전물 = 4.71, 퇴적물 = 2.07 이다. 희토류 원소의 경우 경작토양 = 23.70, 침전물 = 25.35, 퇴적물 = 26.57로서 높은 부화지수를 갖는다. 미량원소의 경우 경작토양 = 151.11, 침전물 = 472.70, 퇴적물 = 90.57로서 경작토양, 퇴적물과 침전물에서 높은 이상치를 갖는다. 환경 유해 원소의 경우는 경작토양 = 5.55, 침전물 = 17.16, 퇴적물 = 18.37 이다.

#### 4. 결 론

1) 보은제일탄광 수계의 수질분석 시료에서 평균 pH와 Eh (mV)는 지하수 = 6.72와 21, 지표수 = 7.27와 -6, 광산수 = 6.96과 15, 호수 = 7.57와 -22 이다. 광산수의 평균 EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )는 3,243로서 지하수 = 223, 지표수 = 326 및 호수 = 184보다 월등히 높은 값을 보였다.

2) 수질의 양이온은 Ca+(Na+K) 형에서 Mg형으로, 음이온은 HCO<sub>3</sub>형에서 SO<sub>4</sub>형으로 진화하였다. 연구지역에 방치된 광폐석에는 황화광물이 산재하며 EC와 TDS를 상승시키는 원인이 되었다. 광산수의 SO<sub>4</sub> 최대함량은 3,567 mg/l로서 지하수 66.551 mg/l와 지표수 64.376 mg/l보다 월등히 높았다.

3) 토양시료에서 검출된 환경적으로 높은 독성을 갖는 원소들과, 각각의 함량범위 (ppm)는 As = 1~4,500, Cd = <0.5~118, Cu = 3~706, Pb = 5~73, Sb = 0.5~17, Zn = 54~12,856로서 넓은 조성범위를 갖는다. 이 원소들은 모두 기반암의 함량보다 월등히 높은 값이며, 광산부근의 퇴적물과 침전물에서 최고의 함량을 갖는다.

4) 미량원소와 희토류 원소의 부화지수는 각각 경작토양 = 151.11과 23.70, 침전물 = 472.70과 25.35, 퇴적물 = 191.43과 26.57이며, 독성원소의 부화지수를 EPA 기준치로 표준화한 값은 경작토양 = 1.51, 침전물 = 4.30, 퇴적물 = 8.20 이다.