

## 남한지역 탄전별 광산배수의 특성에 관한 연구

지상우, 이상훈, 이현석, 유상희\*, 강희태\*, 김선준  
한양대학교 지구환경시스템공학과, (재)자원산업연구원\*  
geochemistry@hanmail.net

### 요 약 문

Coalfields in Korea have been grouped into thirteen based on mainly geophysical and geological structure, ten out of which have been developed. To classify the physico-chemical characteristics of mine drainage from each coalfield and, if possible, to clarify the intrinsic reasons of them. Sampling of waters from 59 mines in eight coalfields has been carried out. Higher pH of drainage water from the mines of the Cunchung coalfield belong to the Deading system, Mesozoic era than those belong to the Pyungan system, Proterozoic era is due to the low content of sulfides of neighboring strata. The drainage from coal beds overlying limestone bed mostly show high pH. Waters from the Gangrung and Samchuck coalfields coal beds are located within black shale formation which contains a lot of sulfides showed mostly very high metal and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations.

**key word** : coalfield, mine drainage, coal bed

### 1. 서론

폐탄광에서 갱구와 폐석더미로부터 지속적으로 배출되는 산성광산배수(acid mine drainage)는 주변 하천의 산성화, 철수산화물의 침전(일명 yellowboy)현상, 백색침전물 존재, 중금속 농도 증가 등의 환경문제를 발생시키는데, 지질과 지형에 따라 그 물리화학적인 거동을 달리하게 되며 특히 모암의 종류나 모암 상하층에 위치하는 암종에 따라 주변 지질환경은 오염물질에 대한 완충 또는 가중의 역할을 하게 될 것이므로 광산배수에 대한 연구에 있어서 주변 지질에 대한 연구의 병행이 필요하다.

국내에서 1989년부터 시행된 석탄합리화사업에 의해 석탄광들이 급격하게 폐광되면서 광산배수에 의한 하천수의 오염과 주변 퇴적물의 오염에 관한 연구가 더욱 활발하게 진행되고 있다<sup>(1)</sup>. 그러나 그 동안 수행된 폐탄광에 대한 환경오염관련 연구들은 단일광산 또는 단일지역에 대한 광산폐기물과 광산배수에 대하여 조사된 것이 대부분이었고 지질, 지형조건이 다른 환경에서의 광산배수별 특성을 포괄적으로 연구한 예는 거의 찾아볼 수 없다.

본 연구는 광산배수의 물리화학적 특성들이 각 탄전에 따라 어느 정도의 차이를 보여 이러한 특징을 분류하고 가능하다면 내재적 원인을 규명하고자 시도되었다.

### 2. 본론

#### 2.1. 남한지역 탄전 분포 및 특성

국내 석탄자원은 거의 무연탄으로 주로 고생대의 평안계 지층에서 풍부하게 매장되어 있으며, 부존면적 약 2,370 km<sup>2</sup>, 노두연장 약 788km로 그 매장량은 약 15억톤이며, 가채량은 약 6억 6,000만톤으로 추정되고있다. 남한지역 석탄자원 분포지역은 크게 13개 탄전으로 분류

되며, 삼척, 정선 등 평안계층 탄전이 전체의 90%를 차지한다. 평안계층과 대동층군에 속하는 10개 탄전만이 경제성이 있어 개발되었다<sup>(2)</sup>. 전체 탄전 중 정선탄전이 부존 면적에 있어서는 약 560 km<sup>2</sup>로 가장 광범위하게 분포하지만 매장량에 있어서는 삼척탄전이 전체 가채 매장량의 39.3%인 약 3억 1,000만톤으로 가장 크다<sup>(3)</sup>. 고생대 평안계층에 발달한 탄전과 중생대 대동층군에 발달한 탄전에서 지질적 특성에 따른 광산배수의 지구화학적 특성을 상호 비교한다면 각 지질에 따른 광산배수의 거동을 이해하는데 도움이 될 것이다.

## 2.2. 시료채취 및 분석

2001년 11월부터 2003년 2월까지 8개 탄전의 59개 광산에 대해 갱유출수와 폐석침출수를 건기(11~3월)와 우기(7~9월)로 나누어 채수 하였다. 물시료는 부유물 제거 후 양이온 분석용과 음이온 분석용으로 나누어 보관하였다. 양이온 분석용 시료의 경우 농질산을 가하여 pH 2 이하로 보관하였다. 수소이온농도(pH), 산화-환원전위(Eh), 온도, 전기전도도 등은 시료 채취시 현장에서 측정하였다. 양이온은 기초과학지원연구원 서울분원의 ICP-AES를 이용하여 분석하였다. 음이온중 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 적정법으로 측정하였고, 기타 음이온은 기초과학지원연구원 부산분원의 IC를 이용하여 분석하였다.

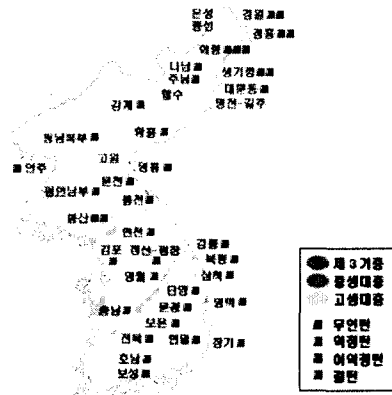


Fig. 1. 한반도 탄전 분포도

Table 1. 남한지역 탄전별 광산배수 현황

탄전	가행광산 (갱)수 <sup>(2)</sup>	생산량 <sup>(2)</sup> (톤, 2002년)	광산배수 발생 <sup>(4)</sup>			시료채취		광산배수특성*			
			광산	유량 (m <sup>3</sup> /일)	유출구간 (km)	광산 (갱)수	시료수 (건/우)	pH	Fe	Al	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
강릉	0	0	11	5,196	21.7	6(8)	8/6	2.9	176.4	137.5	2260.6
정선	1(2)	39,000	27	7,483	37.3	6(9)	14/12	6.8	5.2	0.7	310.3
삼척	6(59)	3,307,000	59	26,146	64	22(36)	36/38	5.3	45.9	27.1	917.8
문경	1(3)	157,000	21	5,918	15.6	8(8)	8/8	4.8	40.3	24.5	1091.7
보은	1(2)	100,000	3	223	2.1	4(4)	5/3	4.1	20.1	10.8	662.1
충남	0	0	14	1,630	3.4	5(8)	8/8	6.9	0.8	0	75.9
단양	0	0	4	691	1.1	2(2)	2/2	4.9	156	79.5	1289.3
호남	1(9)	398,000	7	538	4.9	5(7)	8/7	5.5	21	22	934.5
기타	0	0	6	196	2.44	1(1)**	1/1	2.63	165	41	2340.2
계	10(75)	3,603,018	59	48,021	152.54	59(83)	90/86				

\* 우기자료(평균)  
\*\* 경북 봉화 일월타광(대곡갱)

## 2.2. 결과 및 고찰

### 2.2.1 수소이온 농도

수소이온농도에 있어서 pH가 6.5이상으로 높게 나타나는 광산들이 많은데, 이곳들은 폐광시 또는 수질정화처리시설 설치시 갱내에 석회석을 충전 한 후 밀폐하는 처리(ALD)를 했기 때문으로 보인다. 시공후 1~3년간은 석회석 용출로 인해 pH가 높게 나타나지만 이후에 철수산화물의 피복으로 석회석의 용해로 인한 완충작용이 약화 또는 상실되어 다시 pH가 낮아질 것이다. 정선탄전과 문경탄전의 일부 8이상의 pH를 갖는 광산은 이들 탄전의 탄층사이에 존재하는

석회암층이 영향을 주는 것으로 보인다. 특히 정선탄전의 정선탄광(회동본갱)에서는 건기에 pH가 8.5까지 높았다. 정선탄전의 함탄층인 장성층 하부에 위치하는 금천층에는 일부 렌즈상 해성 석회암이 분포하고 있다<sup>(5)</sup>.

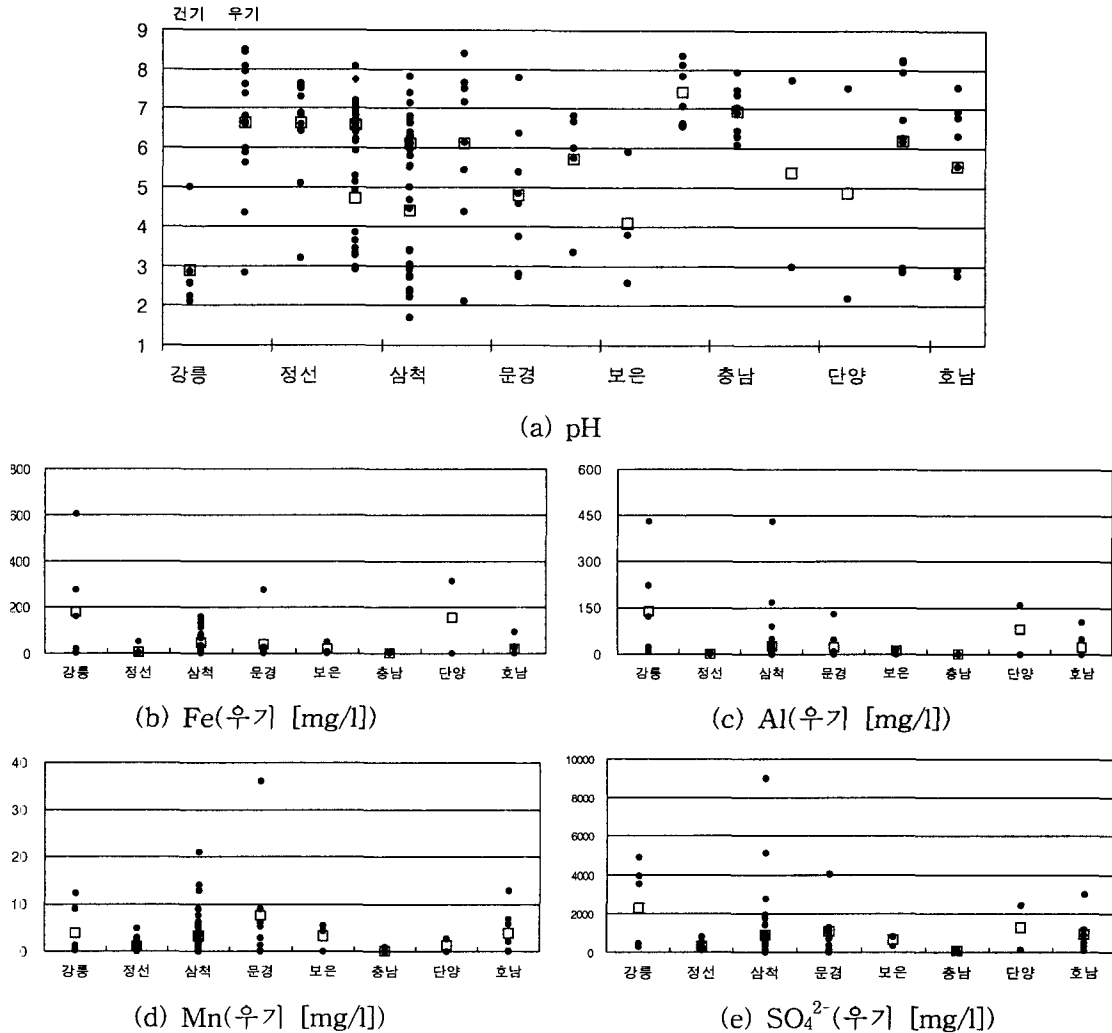


Fig. 2. 탄전별 광산배수 화학조성 (open square : average).

계절적인 변화를 보면 우기의 수소이온 농도가 더 높게(낮은 pH) 변했는데, 이는 강수량의 증가로 인해 황화물의 산도의 용출량이 증가했거나 유량증가로 갭내를 채운 석회석과 광산배수가 반응을 충분히 하지 못한 연유인 것으로 생각된다.

충남탄전은 다른 탄전들과 다르게 모든 광산에서 6이상의 pH를 보인다. 이는 석회석 층진의 영향보다는 충남탄전의 탄층이 고생대 평안계층인 다른 탄전들과 다르게 중생대 대동계층에 존재하기 때문으로 보여진다. 즉, 다른 탄전은 함탄층이 주로 세일층이나 중립사암층 사이에 존재하는데 반하여 충남탄전은 함탄층이 함각력층과 조립사암층 사이에 존재하여 상대적으로 황화광물이 적고 반응할 수 있는 비표면적도 적으므로 황화광물의 산화가 적어 높은 pH를 보이는 것으로 보인다.

### 2.2.2. 화학조성

폐탄광에서 발생하는 광산배수 내 금속이온은 Fe와 Al, Mn이 주로 함유되고, 다른 중금속의 함유량은 거의 없다. 음이온은 황철석 산화의 영향으로  $SO_4^{2-}$ 가 대부분을 차지한다. 금속농도에 있어서 정선, 보은, 충남탄전은 오염정도가 낮은 것으로 나타나고 있다.

Fe와 Al의 농도가 낮은 곳에서도 Mn이 높게 나타나는 경우가 많은데(특히 문경, 보은, 호남탄전), 이는 광산배수 유출 후 pH가 상승하면서 Fe와 Al의 일부는 제거되나 높은 pH까지 용존이 가능한 Mn은 거의 제거되지 않는 데에서 기인하는 것이 일반적이다. 그러나 문경탄전의 경우 함탄층에 Ottrelite의 변성물이 다량 산재한다고 보고되고 있는바<sup>(6)</sup>, Mn 농도가 높은 이유가 주변 지층 분포하는 Mn 함유 광물과의 반응에 의한 것으로 추정된다. Ottrelite는 화학성분이 (Fe, Mn, Mg)  $Al_2SiO_5(OH)_2$ 으로 녹니석(綠泥石)과 유사한 망간이 풍부한 광물이다.

강릉탄전과 삼척탄전의 금속이온과  $SO_4^{2-}$ 농도가 높게 나타난다. 강릉탄전의 경우 함탄층의 상하부에 함탄층과 마찬가지로 세일층이 분포하는데 이 세일층이 황화광물을 많이 포함하기 때문이다. 삼척탄전도 유사한 지질환경을 갖는데 일부 층에 황화철 결핵체(pyrite nodule)를 함유하는 흑색세일층이 협재한다<sup>(5)</sup>.

### 3. 결론

(1) 함탄층이 함각력층과 조립사암층 사이에 존재하는 중생대 대동계층의 충남탄전 지역은 함탄층이 주로 세일층이나 중립사암층 사이에 존재하는 고생대 평안계층의 다른 탄전에 비해 황화광물이 적고 반응할 수 있는 비표면적도 적으므로 황화광물의 산화가 적어 오염현상이 낮게 나타난다.

(2) 정선탄전의 일부 광산배수에서는 8이상의 높은 pH를 갖는 곳은 함탄층인 장성층 하부의 금천층에 분포하는 렌즈상 해성석회암의 영향으로 보여진다.

(3) 강릉탄전과 삼척탄전의 광산배수는 함탄층 상하부에 위치하는 황화광물이 풍부한 흑색세일층의 영향으로 다른 지역에 비하여 금속이온이나  $SO_4^{2-}$ 농도가 높게 나타난다.

### 4. 참고문헌

- (1) 배위섭 외, 2001, 폐탄광 자연정화시설 효과분석 및 효율적 사후관리방안 연구, 석탄산업합리화사업단 기술총서 2001-11, pp.205
- (2) 석탄산업합리화사업단홈페이지 (<http://www.cipb.or.kr>)
- (3) 광업진흥공사, 1990, 한국의 석탄광(상), p.410
- (4) 배봉구, 1996, 석탄합리화사업단의 광해복구 및 환경개선 사업활동, 대한자원환경지질학회 추계학술여행 - 폐탄광일대의 지질환경 오염과 광해복구, pp.2-15
- (5) 대한광업진흥공사, 1991, 탄전지질 및 시추조사보고서, No. 15, p.323
- (6) 국립지질조사소, 1967, 한국지질도 - 문경도폭, p.37

### 5. 사사

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