

## 경상도 일대의 폐탄광 갱내수의 수질 특성 연구

### A Study on mine drainage characteristics as abandoned Coal mine in Gyeongsang province

정영국<sup>1)</sup>, Young-Kook Jung, 홍지혜<sup>2)</sup>, Ji-Hye Hong, 이동진<sup>3)</sup>, Dong-Jin Lee, 김정필<sup>4)</sup>, Jeong-Phill Kim, 김대기<sup>5)</sup>, Dae-gi Kim, 주상돈<sup>6)</sup>, Sang-Don Joo

- 1) 한국광해관리공단 영남지역본부 광해복구팀, Mine Hazard Reclamation Division Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation
- 2) 한국광해관리공단 영남지역본부 광해관리팀, Mine Hazard Management Division Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation
- 3) 한국광해관리공단 영남지역본부 본부장, Regional Director Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation
- 4) 한국광해관리공단 영남지역본부 광해복구팀 팀장, Manager Mine Hazard Reclamation Division Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation
- 5) 한국광해관리공단 영남지역본부 광해관리팀 팀장, Manager Mine Hazard Management Division Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation
- 6) 한국광해관리공단 영남지역본부 검사지원팀 팀장, Manager Inspection Support Division Young-nam Branch Mine Reclamation Corporation

**SYNOPSIS** : There are 21 abandoned coal mines drained out mine water in gyeong sang do. We monitored the water quality of 31 mine drainage from 1995. The most of mine drainage was neutral as the average pH was 6.22 and Fe, Mn, Al concentration was below 10mg/L. The result showed the tendency of decreasing of flow and metal concentration. The highest Mn concentration was detected in bonghwa area and the highest Fe concentration was detected in munkyung area. It means that the water quality is closely related to geological features.

**Key words** : Mine drainage, water monitoring

## 1. 서 론

과거 1930년 이후 우리나라에서는 총 2006개의 광산이 개발되었으며, 이중 1276개소의 광산이 폐광, 2006년 6월 약 730여개소가 가행중이다. 폐광산 중 261개소에서 광산배수가 발생되고 있으며, 이중 경상도 일대에는 약 84개소 광산에서 갱내수가 유출되고 있다. 또한, 경상도 일대의 폐탄광은 21개 광산에서 31개 지점에서 갱내수가 유출되고 있으며, 한국광해관리공단 영남지역본부에서 채수 및 수질분석을 년 2회 실시하고 있다. 본 연구에서는 경상도 일대에 분포하는 21개 폐탄광 31개지점에 대하여 1995년에서 2007년도 사이의 수질데이터를 비교·분석하였다.

## 2. 국내 폐탄광 현황 및 갱내수

### 2.1 국내 폐탄광 현황

국내 석탄산업은 '80년대 이후 석탄의 급격한 수요감소로 인하여 하향산업으로 전락함에 따라 정부차원에서 체계적인 폐광작업을 착수하여 약 337개소의 탄광이 폐광되었다. 80년대에 약 125개소, 90년도에 209개소 등이 폐광되었으며, 현재는 약 7개소의 탄광이 가행중이다. 경상북도의 폐탄광의 현황을 살펴보면, 문경 33개소, 상주 20개소, 봉화 4개소가 분포하며, 가행중인 탄광은 없는 상태이다(그림 1).

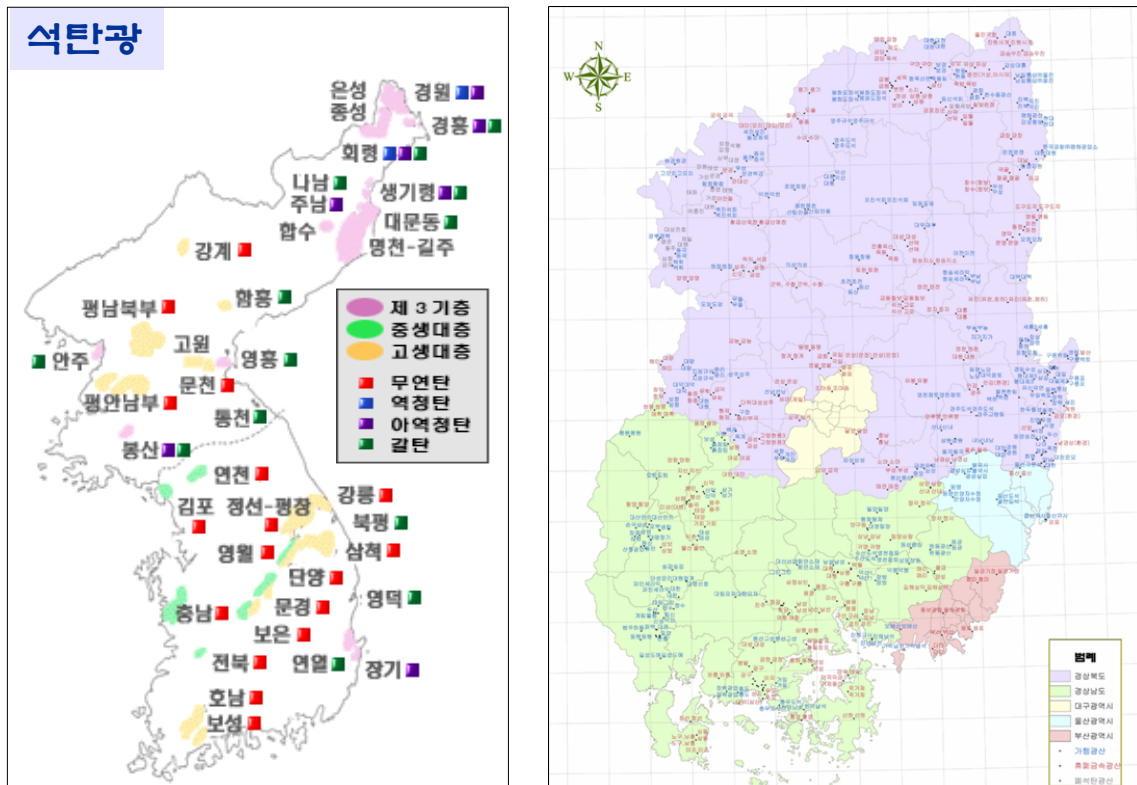


그림 1. 우리나라의 석탄광 및 경상·남북도의 광산

### 2.2 갱내수 유출

우리나라 폐탄광 갱내수량은 2001년 기준으로 137개의 폐탄광에서 하루 약 8만여톤 정도가 유출된다(정영욱 2004). 그 중 강원지역 갱내수량이 가장 크며 전국 평균 수질은 pH 5.6, Fe 41.8mg/l 정도이며 유출량의 74%이상이 pH 5.5 이상으로 약산성이다(심연식 2002).

#### 2.2.1 산성광산배수

광산과 관련된 환경문제 중에서 가장 대표적인 문제가 광산배수이다. 광산배수란 광산에서 배출되는 물로써 갱내수, 침출수, 산성수, 알칼리수 등의 오염수를 일컬으며 특히, 산성광산배수(Acid Mine Drainage : AMD)가 광산 중금속 오염물질과 산성 무기물질을 함유한 대표적인 광산배수이다. 일반적으로 광산폐수와 산성암석배수 등과 구분되기도 한다. 광산주변 또는 갱구로부터 유출되는 광산배수는 주로 황화광물의 산화작용에 의한 산성광산배수(Acid Mine Drainage, AMD)에 해당하며 중금속성분 함량

이 높아서 주변 환경을 심각하게 오염시킬 수 있다.

광물을 채광하기 위하여 지하 암반을 굴착하는데 이러한 암반 내에는 황화광물을 포함하고 있다. 또한 황화광물이 다량 분포하는 광산 채굴적 혹은 방치된 광산폐기물은 산성광산배수를 형성할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 황화광물이 산소 및 물에 노출되면 산화작용에 의해서 주변 자연수의 pH를 낮추게 되며 이러한 산성수와 접하게 되는 물질들로부터 알루미늄, 망간, 아연, 카드뮴, 납 등의 중금속을 용출시켜 중금속으로 오염된 광산배수가 발생하게 된다.

### 2.2.2 금속광산 갯내수의 특징

금속광산에서 중금속이 함유된 갯내수, 광산폐기물에 의한 침출수 등이 유출되며 광미 등이 농경지 등으로 유입되어 토양오염이 우려된다. 금속광 갯내수 및 침출수 수질을 수질 환경기준치와 비교하여 보면 As, Cd, Zn, Cu 등 유해 중금속이 기준치 이상을 초과하여 방류된다. 금속광산의 갯내수 수량은 비교적 적으나 중금속 등이 존재 한다는 점에서 석탄광 갯내수와 차이가 있다.

표 2. 탄광과 금속광산의 광산배수의 특성

구 분	차 이	공통점
석탄광산	○ 배수량이 많음	○ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Fe, Mn, Al 등이 주요한 총용존고형물질(TDS)에 기여 ○ 알칼리성분의 용해도가 높아서 높은 정도 ○ 산성~중성pH
금속광산	○ 배수량이 소량임 ○ As, Cd, Zn, Cu 등 유해 중금속함유	

### 2.2.3 석탄광산 갯내수의 특징

광산이 가행 중일 경우 채굴적 갯내수는 대부분 펌프에 의해 지상으로 강제 배수된 후 정화처리되어 방류된다. 그러나 폐광 이후에는 양수작업과 정화처리시설의 기동이 중단되므로 채굴적 크기 및 주변 지하수 환경에 따라서 수개월 혹은 수년내에 갯내수가 채굴적을 침수시키고 외부로 자연 배수된다. 또한, 폐탄광에는 지하 채굴 및 선탄 과정에서 발생된 폐석장이 있는데 이들 폐석장으로 쉽게 강우가 유입하거나 지하수 등과 접촉하여 침출수의 발생이 가능하다. 일부 폐탄광 폐석터미에서 유출되는 침출수를 분석하면 철, 알루미늄, 망간 및 황으로 심하게 오염된 pH 2.5에서 4.8 정도의 오염수가 확인되기도 한다.

## 3. 폐탄광 갯내수 수질 분석(경상도 일대)

### 3.1 경상북도 일대 탄광의 지질특성

경상북도 일대의 탄전은 크게 고생대 평안계와 중생대 대동계로 구별된다. 고생대는 주로 평안계 사동통 장성층에 부존하며(그림 2), 문경과 상주에 주로 분포한다. 문경탄전은 조선계의 대석회암층군과 평안계의 제지층, 그리고 평안계를 부정합으로 피복하는 대동계의 단산층이 대체로 북동-남서방향으로 대상분포하며, 사동통 내의 석탄층은 일반적으로 포켓형의 부광대를 형성하는 경향이 있다. 중생대의 석탄층은 주로 대동누층군에 협재된 탄층으로 탄전 북부에는 비교적 부광대를 이루나 남부지역에서는

대체로 빈광이다. 이러한 차이는 구조적인 요인 외에 석탄생성물질의 차별적 퇴적에 기인된 것으로 사료된다. 주가행탄층은 단기층 함탄대의 상탄층과 봉오리층 셰일대의 하탄층이다.

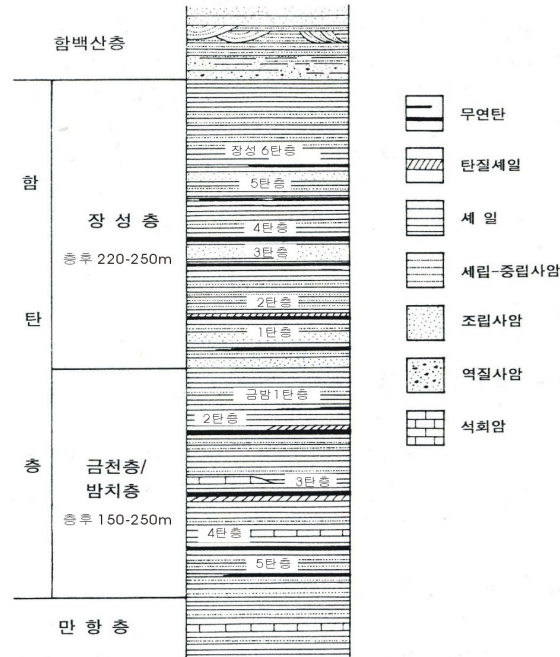


그림 2. 금천/밤치층과 장성층의 지질주상도 및 탄층발달 상태 (임순복 외, 1997).

### 3.2 경상도 일대 폐탄광의 수질분석

#### 3.2.1 일반 현황(경상도 일대)

경상남북도 일대에는 약 600개의 광산이 개발되었으며, 이중 석탄광은 57개소, 나머지는 일반광산이다 (표 1). 석탄광은 모두 경북지역에서 개발되었으며, 57개 석탄광 중 21 탄광에서 갱내수가 유출되고 있다. 문경지구 총 12개 광산에 18개소의 유출, 상주지구 7개 광산에서 9개소의 유출, 봉화지구 2개 광산에서 4개소의 갱내수 유출이 발생하고 있다.

표 1. 영남지역의 광산분포 현황

영남지역	가행광산			휴폐광산			합계
	석탄광산	일반광산	계	석탄광산	일반광산	계	
총계		258	258	57	286	343	601
부산		2	5		6	6	8
대구					6	6	6
울산		13	13		2	2	15
경북		158	158	57	154	211	369
경남		85	85		118	118	203

### 3.2.2 폐탄광 갱내수 수질 분석

본 연구에서는 경상도 일대의 21개 폐탄광에서 유출되는 31개 지점에 대하여 1995~2007년도까지의 유량, pH, DO, EC, 탁도, Fe, Al, Mn,  $SO_4^{2-}$  등의 수질데이터를 분석하였다. 경상도 일대의 폐탄광 갱내수의 수질 평균은 pH 6.22, Do 6.06mg/l, EC 0.07s/m, 탁도 27, Fe 2.2mg/l, Mn 6.96mg/l, Al 3.03mg/l,  $SO_4^{2-}$  329.98mg/l로 나타났으며, Mn의 농도가 Fe 나 Al보다는 높은 경향을 보였다. 이는 일부 특정지역의 Mn 농도가 높게 나타나서 기인된 것으로 판단된다. Fe, Mn, Al의 농도는 1개의 중금속의 농도가 높기 보다는 전반적으로 높게 나오는 경향을 보였다. Fe는 1mg/l 이하가 17개소, 1~10mg/l 12개소, 10mg/l 이상이 2개소의 분포를 보였다. Mn은 1mg/l 이하가 18개소, 1~10mg/l 10개소, 10mg/l이상이 3개소로 나타났으며, Al은 1mg/l 이하가 20개소, 1~10mg/l 9개소, 10mg/l이상이 2개소로 나타났다. 지역별(문경, 봉화, 상주)로 갱내수의 특성을 분석해 보면(표 2), 유출량, Fe 농도, pH를 비교했을때 문경지역이 가장 많은 오염부하를 나타내었으며, Mn의 오염도는 봉화지역이 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 일월탄광의 경우 망간의 농도가 최대 137.85mg/l로 나타났으며, (석봉)성봉탄광의 경우 지속적으로 유출량, Fe, Mn, Al의 농도가 증가하였다. 이는 석탄이 생성될 당시의 지질적인 환경과 유량변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

표 2. 지역별 수질 평균

단위 : m<sup>3</sup>/day, mg/L

지역	유량	pH	Fe	Mn	Al	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
문경	259	6.26	3.56	2.62	3.94	351.4
상주	222	6.54	0.48	0.6	1.25	129.6
봉화	134	5.86	2.33	17.66	3.89	505.8

폐광이후 현재까지 오염도를 모니터링 한 결과, 전반적으로 유출량이 감소하고 있으며, 미미하지만 중금속의 농도도 감소하는 추세를 나타내었다(그림 3). 특히, Al의 농도는 유량이 증가하면 농도가 증가하고, 유량이 감소하면 농도가 감소하는 경향을 나타내었다.

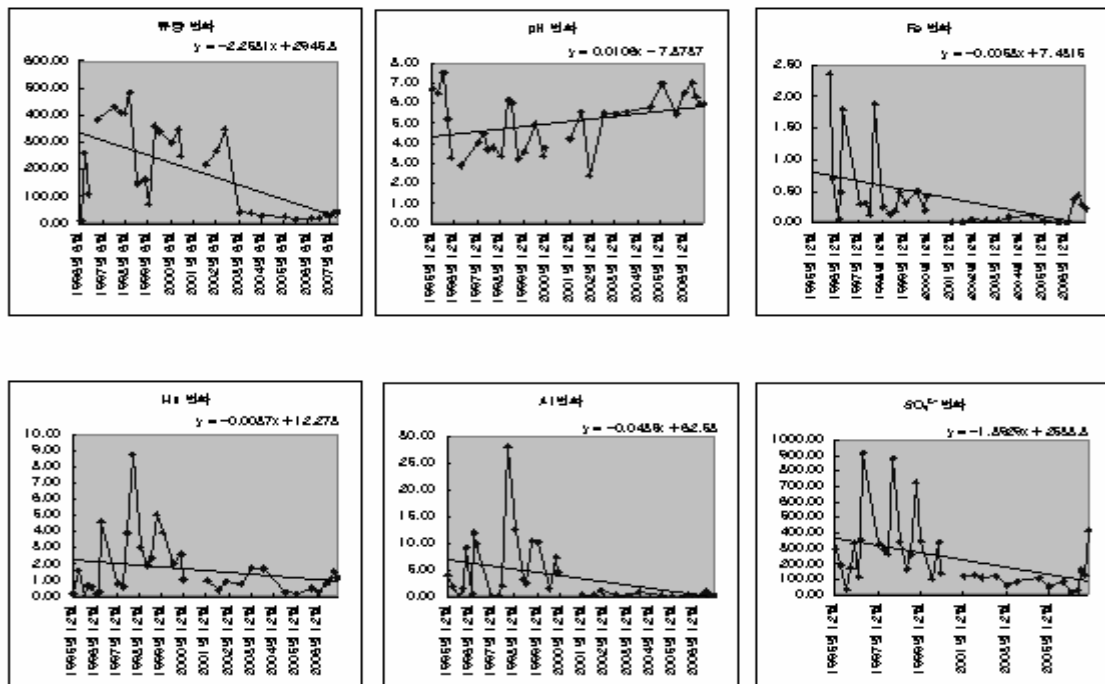


그림 3. 문경지역 대정2갱의 수질 자료

## 4. 결론 및 제언

경상북도 지역 폐탄광의 갱내수 유출은 21개 광산에서 31개 지점에서 발생하고 있으며, 갱내수의 수질 평균은 pH 6.22, Do 6.06mg/l, EC 0.07s/m, 탁도 27, Fe 2.2mg/l, Mn 6.96mg/l, Al 3.03mg/l, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 329.98mg/l로 나타났다. 특히 일월탄광의 경우 망간의 농도가 최대 137.85mg/l로 나타났으며, (석봉)성봉탄광의 경우 지속적으로 유출량, Fe, Mn, Al의 농도가 증가하였다. 이는 석탄이 생성될 당시의 지질적인 환경 및 유량변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 폐광이후 수질을 모니터링한 결과, 전반적으로 유출량이 감소하고 있으며, 미미하지만 중금속의 농도도 감소하는 추세를 나타내었다. 특히, Al의 농도는 유량이 증가하면 농도가 증가하고, 유량이 감소하면 농도가 감소하는 경향을 보였다. 향후 더 많은 자료를 분석하면 유량 변화로 Al의 농도를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 지속적인 수질 모니터링과 자료 축적을 통하여 Fe, Mn, Al, 유량 등을 분석할 경우, 수질정화시설 설계시 정화방법과 규모 결정에 중요한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 권현호, 남광수(2007), **광해방지공학**, 동화기술, pp.20~300.
2. 정영욱(2004), 석탄광의 광산배수처리기술 현황 및 전망, **자원환경지질**, 제 37권, 제 1호, pp.107~108
3. 심연식(2002), 폐광산 갱내수 정화사업 추진현황과 대책, **광해방지 정책 및 기술 심포지움**, 한국지질자원연구원, pp.99~108
4. 임순복, 최범영, 김복철, 권석기, 구자선(1997), 문경지역 지반안정 기본조사, **석탄합리화사업단**