

# 광양광산 갯네수에 의한 하천 생태계 영향 평가 및 갯네수의 처리

이근연, 김주용, 이병태, 김경웅, 안광국\*, 권영호\*\*, 김정연\*\*, 박영석\*\*\*

광주과학기술원 환경공학과, \*충남대학교 생물학과, \*\*한라건설 기술연구소, \*\*\*조선대학교 자원공학과  
(kwkim@gist.ac.kr)

## Abstract

Acid mine drainage and waste of abandoned mine area have caused serious water pollution and destruction of an ecosystem because of exposing to environment without an appropriate treatment. Gwang-yang mine area also has a serious problem in the nearby residential area and waterway ecosystems. The objectives of this research are to develop the most suitable remediation system for acid mine drainage by using waste materials, and to diagnose stream environments impacted by acid mine drainage through the new ecological health assessment methodology, and thus ultimately providing a restoring methodology to mining regions. In the water system health assessment, the result of ESHI model, RBP and Karr suggested by US EPA is revised by ecological features of our country, come to ESHI score 13; 'Very poor' at some points. Together with pH value and heavy metal concentration, it's the aggravation of ecological health index caused by chemical disturbances. In the acid mine drainage treatment, we apply marine shells and slags to this system. Slags had the best removal ability for heavy metals, but pH value was more than 10 exceeding the standard for drain water. In case of marine shells, pH of treated water maintained 7 to 8, and concentrations of Fe and Zn decreased significantly after treatment.

**Key word** : Gwang-yang mine, Acid mine drainage, Treatment, Ecological health assessment

## 1. 서론

광산활동으로 발생한 폐석 및 광미는 다량의 중금속을 함유하고 있다. 이런 폐광산 지역 폐수 및 폐기물은 적절한 처리가 이루어지지 않고 환경에 노출된 채 방치되어 심각한 수질오염 및 생태계 파괴를 유발하고 있어서 현행 폐광산 배수 복원 기법 개발 및 하천 생태계 건강성평가 평가기법 개발이 시급히 요구되고 있다. 최근까지 수환경을 평가하는 방법은 BOD, COD, 영양염류와 같은 화학적 변수를 이용하는 평가방식이 주류를 이루어왔으나 이는 수체환경의 총체적인 수환경 평가가 될 수 없다(Barbour et al., 1999). 이를 보완할 수 있는 기법으로 미국 환경부에서는 생물통합지수에 의거한 RBP (Rapid Bioassessment Protocol) 모델을 제시하고 있다(Ohio EPA, 1989). 이 모델은 이·화학적인 요인들 뿐 만 아니라 과거 오염의 영향과 서식지 파괴 등의 물리적인 변화, 특히 외래종의 도입·정착 등의 생물 군집간의 상호작용 까지도 반영할 수 있는 기법으로 세계 여러 환경 선진국에 도입되

어 활용되고 있으나 우리나라에서 이런 평가는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 기존의 연구 및 관련 문헌조사를 바탕으로 갯내 유출수가 심각한 것으로 알려진 광양광산에 대하여, 이에 영향 받는 수계에서 대조군 지점과의 비교를 통해 수환경의 생태 건강도를 파악하는데 목적이 있다. 또한 산성광산 배수를 처리하는 중화제로 주로 사용되고 있는 석회석의 대체물질로 폐각류와 슬래그를 이용하였고, 이에 대한 기술의 적용가능성을 평가하였다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1 시료채취 및 현장조사

광양점동광산은 갯구가 산의 중간에 위치하고 있으며, 하부로 계곡을 타고 다량의 계곡수가 광산 갯내 유출수와 함께 마을 하부에 위치한 사곡저수지로 유입되고 있다(Fig. 1.). 갯구 바로 앞 지점부터 수로의 흐름을 따라 지표수 및 하상퇴적물을 채취하였으며, 갯내수의 영향을 받지 않은 것으로 추정되는 다른 지류의 지표수와 두 지류의 합류 후의 지표수를 채취하였다. 각 지점의 pH, Eh, temperature, TDS, conductivity 는 현장에서 측정하였다. 채취한 물시료는 pH를 2이하로 조절하여 4℃이하로 냉장보관 하였고, As는 HG-AAS를, 기타 중금속들은 AAS-Flame을 이용하여 분석하였다.

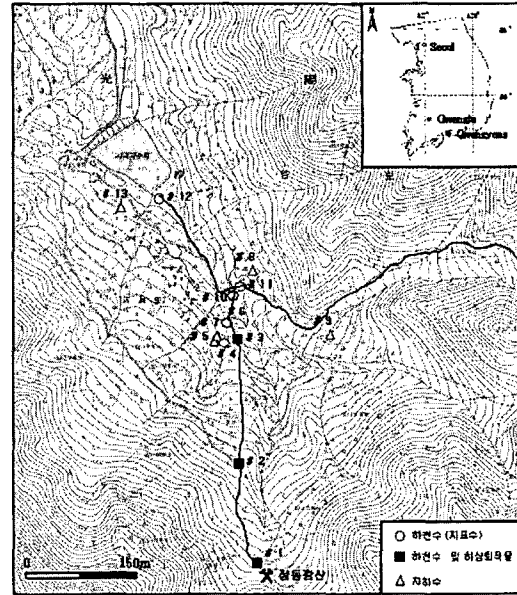


Fig. 1. Sampling location map of the Gwang-yang mine area

### 2.2 생태 건강성 평가

수생태계 건강도 평가를 위해 5개의 정점을 조사지점으로 선정하였다.

- St. 1: 대조군 지점(Control site) - #11
- St. 2: 폐광산의 침출수 유출 지점 - #3
- St. 3: St. 1의 대조군 지점(Control) 과 St. 2(침출수)의 합류지점 - #10
- St. 4: St. 3 150m 하류지점 - #10~12 사이
- St. 5: St. 4 50m 하류의 저수지

수심이 얇은 강이나 하천 조사법으로 Wading Method (Ohio EPA, 1989)를 이용하였고 채집도구는 투망 (mesh size: 5 x 5 mm) 및 족대 (mesh size: 2 x 2mm)을 이용하였다. 종 분류는 Nelson (1994)의 분류체계를 이용하였으며, 비정상종의 외형적 감별은 기형 (Deformity), 부식 (Erosion), 조직병리(Lesion), 및 종양(Tumors)의 4부류로 구분하였다.

건강도 평가 모델로는 US EPA의 RBP 및 Karr 모델을 국내의 생태학적 특성에 맞게 9개 메트릭으로 보정한 Ecological Stream Health Index (ESHI)을 적용하였다.

### 2.3 갯내수 처리

광양광산 갯내 유출수를 대상으로 각종 중화제의 중화능력을 비교 테스트하기 위해 두 가지 형태의 컬럼 실험을 수행하였다. 석회석 대응 중화제로서 CaO 함량이 높은 것으로 알려진 제철소 슬래그와 CaCO<sub>3</sub> 함량이 90%이상인 굴겉질, 이와 비슷한 백합겉질 등의 폐각류를 사용하였다.

- 정제된 상태의 컬럼 : 직경 15cm, 높이 50cm 컬럼을 사용하였고, 실제 처리시스템에 적용될 경우를 고려하여 파쇄 없이 중화제 원형 그대로 사용하였다. 중화제를 3L 부피로 채운후 광양광산 갯내

유출수를 4L 부피로 채웠고, 24시간 운전하는 동안 일정 간격으로 시료채취하여 pH 및 Fe, Mn, As, Cd, Cu, Pb, Zn의 함량을 측정하였다.

- 원수유동 상태의 컬럼 : 직경 3cm, 높이 20cm 컬럼을 사용하였고, 2mm~5mm 입도의 중화제를 사용하였다. 컬럼내 체류시간을 1시간으로 하고 원수 유입속도는 0.7ml/min 으로하였으며, 1주일 장기 운전하는 동안 일정 간격으로 시료채취하여 pH 및 Fe, Mn, As, Cd, Cu, Pb, Zn의 함량을 측정하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 지구화학적 조사

상류부 #1, 2, 3 시료의 경우 pH가 3.06~3.85로 산성이며, Fe 함량이 5.8~6.3mg/L, SO<sub>4</sub> 함량이 414~495mg/L로 산성광산배수의 특징을 보였다. 그 밖에 Mn 0.41mg/L, Zn 0.64mg/L의 함량을 보였다. Fe의 침전으로 형성된 황갈색 침전물(Yellow boy)이 마을 하부까지 발견되고, Fe가 35% 이상으로 주를 이루며 As의 함량이 251~395 mg/kg으로 특히 높으며, 이러한 값은 OME의 허용한계치인 33mg/kg을 10배가량 초과하였다.

#### 3.2 수환경 생태건강도 평가 결과

대조군 조사지점은 pH가 8 이상으로서 약 알칼리성을 보였으며, 전기전도도가 낮게 나타났다. 반면, Impacted sites인 지점 2에서는 pH측면에서 강산성을 나타냈으며, 하류지점으로 갈수록 중성을 나타냈다. 이런 특성은 지점 2의 뚜렷한 conductivity 상승을 보여 강산성을 보인 지점에서 이온의 상승현상이 분명했다(Fig. 2).

광양광산 갯내 유출수에 의해 영향받는 제 2지점 및 제 3지점은 전혀 어류가 출현하지 않거나 건강도가 극히 악화된 것으로 평가되었다. 각 지점의 수화학적 요인에 대한 조사와 건강도 평가 결과를 비교하였다(Fig. 2). 또한 Site4 에서는 수화학적 영향에 의한 어류의 척추기형이 발견되었다(Fig. 3). 이런 현상은 pH 및 conductivity의 극한 변화에서 보여 주듯이 극명히 화학적 교란 현상으로 인한 생태계 건강도의 악화로 사료되었다.

#### 3.3 갯내수의 처리

정체된 상태의 컬럼의 경우 pH가 시간에 따라 계속 증가하여 10시간 이후부터 평형상태에 도달하였다(Fig. 4). 처리수에서의 Fe 농도는 반응이 진행되면서 모든 중화제에서 검출되지 않았으며, Mn과 Zn의 경우 슬래그의 제거능력이 가장 높게 나타났고, 패각류와 석회석은 유사한 경향을 보인다.

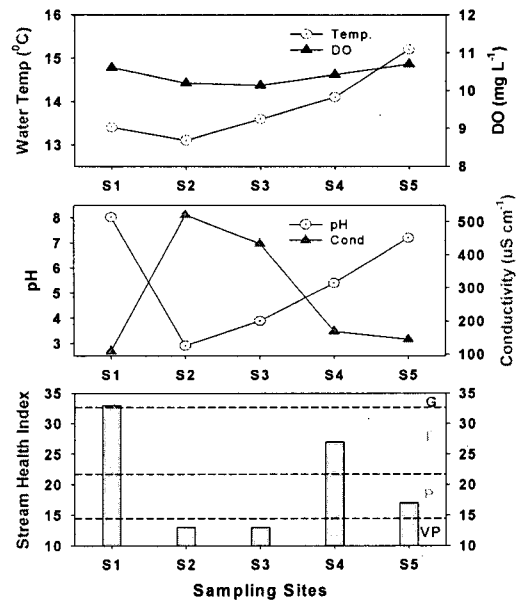


Fig. 2. Water quality and ecological stream health assessment in the sampling site



Fig. 3. Morphological deformity of *Rhynchocypris oxycephalus* in the Site 4

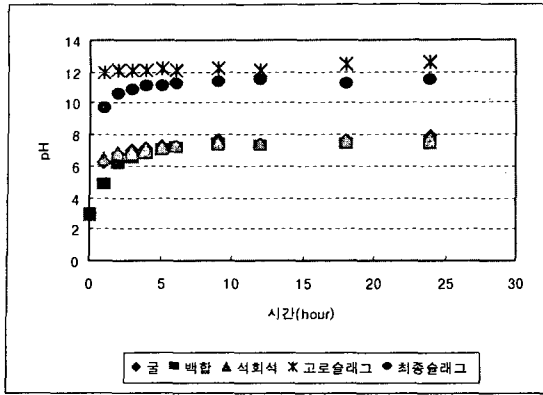


Fig. 4. pH variation in the static column test

원수유동 상태의 컬럼의 경우, 초기 pH 3.2의 유입수가 컬럼 통과후 모든 중화제에서 pH가 상승하여 144시간까지 지속되고 있다(Fig. 5). 처리수에서의 Fe는 모든 중화제에서 제거되었지만, Mn과 Zn의 경우는 슬래그에 의해서 완전히 제거되었고, 나머지 중화제의 경우 각각 0.3mg/L, 0.1mg/L 이하로 감소시키는 경향을 보였다(Fig. 6,7,8).

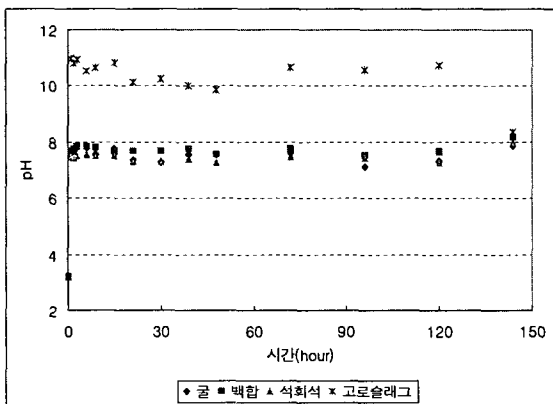


Fig. 5. pH variation in the fluid column test

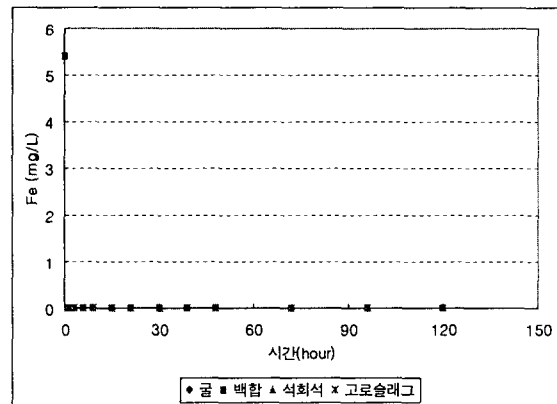


Fig. 6. Variation of Fe concentration in the fluid column test

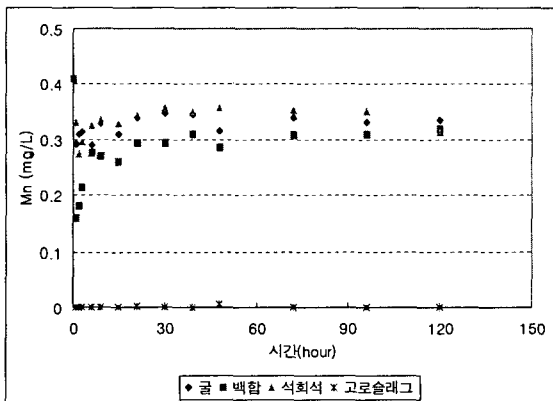


Fig. 7. Variation of Mn concentration in the fluid column test

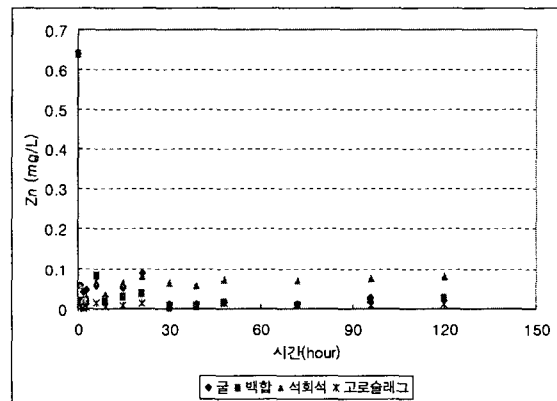


Fig. 8. Variation of Zn concentration in the fluid column test

본 연구에서 시행한 컬럼 실험 결과를 볼때, pH 복원에 있어서 '광산갱수 및 침출수별 수질 기준(pH 5.8~8.6)'에 매우 만족할 만한 수준에 이르는 것을 볼 수 있었다. pH 증가 및 중금속 제거 능력이 고로슬래그에서 가장 높게 나타났으나, 반응 후 pH가 10 이상으로 오히려 기준치를 초과하였

다. 폐각류는 산성광산폐수의 처리에 가장 일반적으로 사용되는 석회석과 비교해 볼 때, pH 중화능력이 유사한 수준인 것을 보였다. 뿐만 아니라 걸비중은 낮고 공극률은 높기 때문에 소모량도 줄일 수 있으며, 폐기물 재활용 측면에서도 장점을 가진다.

#### 4. 참고문헌

- 1) Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder & J.B. Stribling, Rapid Bioassessment Protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C., 1999
- 2) Ohio EPA, Biological criteria for the protection of aquatic life, Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities, 1989