

## 폐광산의 지질공학적 조사 및 대책 연구

김종태<sup>1)\*</sup> · 배두원<sup>1)</sup> · 이상철<sup>1)</sup> · 정교철<sup>1)</sup>

### 1. 서 론

1980년대 후반기에 우리나라 산업 구조의 변화와 에너지 소비형태의 변화, 광업의 경제성 감소 등으로 인하여 채광 활동이 위축되고 광산 경영의 비합리성으로 인하여 많은 광산들이 휴광이나 폐광을 하게 되었다. 이 시기에 폐광된 광산들은 채광 당시 필요했던 모든 장비들을 그대로 방치하였으며 갱 입구만 단순히 폐쇄시켰다. 또한 방치된 폐광산의 갱도에는 지하수가 유입되어 광석내에 포함된 금속광물과 반응하여 다량의 금속이온을 포함한 갱내수가 생성되었으며 갱도 주변의 사면이나 계곡에는 많은 양의 폐석과 광미로 인해 다량의 중금속과 강한 산성을 나타내는 침출수가 유출 되고 있다. 이번 연구의 목적은 지질공학적 방법을 이용하여 폐광산 주변의 오염원 조사를 실시하여 폐광산의 오염물질 처리에 대한 최적방안을 찾으려고 한다.

### 2. 본 론

본 연구지역은 경북 의성군 옥산면 감계리에 위치하는 옥동광산으로 대부분의 폐석은 선광장 주변부에 계단식으로 정비되어 있으며 폐석은 풍화가 상당히 진행되었으나 새곡지 계곡 최상류 5부 능선의 갱구 입구에 버려진 폐석더미는 점토나 모래 정도의 입자들이 혼합되어 있어 우천 시 빗물에 유실될 우려와 폐석과 물의 반응에 의한 산성 광산배수가 생성될 가능성이 아주 높다. 광미 침출수는 갱내수에 비하여 적은 양이지만 광미의 구성광물과 오랜 시간 반응한 후 배출되기 때문에 높은 오염도를 나타내며, 침출수로부터 녹색의 침전물이 형성되어 갱내수에서 침전되는 붉은색과 대조를 보여 준다. 광미 적치장 상부로부터 유출되는 배수로에는 강수량이 많은 경우 광미 상부층과 반응한 침출수와 지표수가 배출되며 이 유출수가 흐르는 배수로와 지류의 바닥에는 붉은색 침전물이 형성된다.

#### 2.1. 시험 및 해석

연구지역의 지하수 분포를 확인하기 위하여 광미적치장에서 물리탐사를 실시하였으며 그 결과를 기준으로 총 3개공을 결정하여 시추조사를 통해 지층분포 특성을 파악하였다. 또한 사면의 불안정으로 인한 침출수 및 갱내수의 흐름을 파악하기 위해 광미적치장 주변 사면에 대해 평사투영 및 수치해석이 이루어졌다. 조사지역 주변 사면에 대한 지질구조를 파악한 결과 대표적으로 우려되는 파괴형태는 전도파괴(toppling failure) 파괴였으며 사면안정성 해석결과 건조할 경우를 예상하여 최대 이상적인 값으로 모델링한 결과 Bishop 법을 적용하였을 경우 0.908, Janbu 법을 적용하였을 경우 0.859로 나타났다. 안전율이 모두 최소 안전율에 미흡

주요어 : 갱내수, 침출수, 사면해석, 토양유실량, 고형화

1) 안동대학교 지구환경과학과 (jeong@andong.ac.kr)

하게 나타났으나 현재 콘크리트 격자공으로 보강이 되어 있는 상황이다.

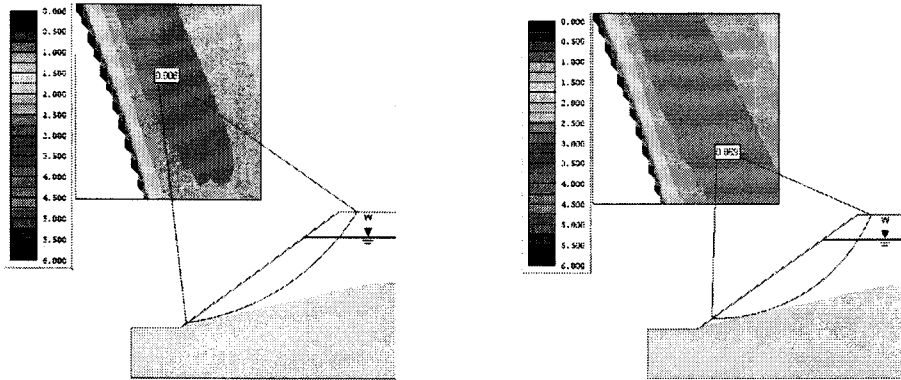


그림 1. 광미적치장의 사면 해석 결과

연구지역에 대한 토양 유실량 추정치는 10년간의 평균 강수량(6월~11월)인 865.7mm를 기준으로 하면 64.59 ton/ha의 토양 유실이 발생한 것으로 추정되었다. 또한 조사지역의 함양량을 계산하기 위하여 SCS-CN법을 이용하였으며 해석결과 평균 함양율은 약 11.042%로 산출되었으며 하루 최대 유출량은 154ton/day로 해석되었다. 함양율을 낮추거나 유출량을 줄이기 위하여 지표수가 광미 적치장으로 유입되는 것을 차단해야 하며 채광 당시 설치한 선광장 콘크리트 구조물은 철거한 후 그 자리에 주변에 흩어져 있는 폐석을 모아 정지 작업을 하고 갯구는 폐쇄 및 함몰 방지를 위한 보강공사를 실시해야 할 것으로 판단된다.

## 2.2. 광미 처리를 위한 연구

### 광미의 고형화

폐광산의 광미적치장을 현재 상태로 유지한 채 침출수 양을 줄이는 방법으로 현장 내 고형화 방법을 고려할 수 있다. 광미를 굴착하지 않고 고형화 장비를 사용하여 현장 내에서 시멘트 등의 고형화제를 사용하여 고형화하는 공법으로 산성조건에서도 중금속의 유출을 최소화할 수 있는 보다 적극적 처리공법이다. 본 연구에서는 광미에 시멘트의 비율을 다르게 하여 압축시험을 한 결과 광미와 시멘트 비율이 3:7인 경우 평균 1017.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 강도가 확인되었다. 그러나 광미와 시멘트의 비율이 7:3인 경우에도 쉽게 파괴가 일어나지 않는 강도이므로 고형화된 광미의 처리방법 및 허용 위험성의 한계 등에 따라 비율이 정해질 수 있다.

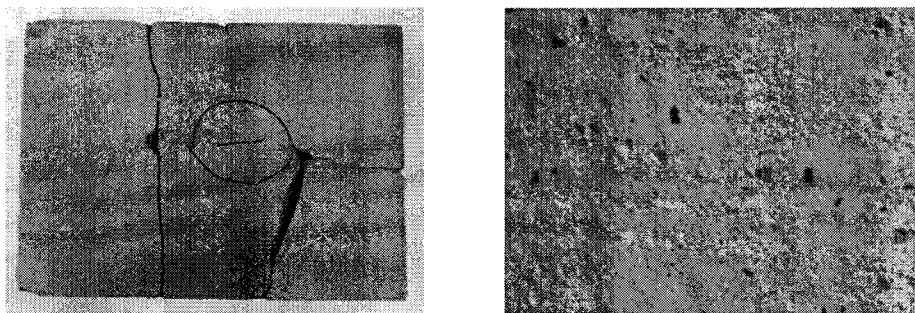


그림 2. 고형화제의 강도 시험 결과 및 내부 단면

## 이송, 복토 및 식재

옥동광산은 1988년에 폐광되어 20년이 지난 현재에도 광미 주변 지역에 토양오염도가 높으며 광미에서 수십년 내지 수백년 간 중금속을 함유한 침출수가 유출될 잠재성이 있다. 또한 옥동광산 광미적치장 상류로부터 200m 떨어진 계곡에 적치되어 있는 광미는 현재 새곡지 광미적치장으로 옮겨 처리해야 한다. 현재 광미의 복토도 중금속으로 오염되었기 때문에 광미와 함께 처리해야하며 새로운 복토재를 이용하여 복토한 후 식재를 해야 할 것으로 판단된다.

## 폐석, 폐토, 함몰 갱구의 처리 방안

새곡지 계곡 최상류 7부 능선의 갱구 입구 버려진 폐석더미는 점토나 모래정도의 입자들이 혼합되어 있으며 정지작업과 같은 조치를 취하지 않고 산사면에 그대로 방치되어있어 우천시 빗물에 유실될 우려와 폐석과 물의 반응에 의한 산성광산배수가 생성될 가능성이 아주 높다. 이에 따른 대책으로 배수로 설치, 광미적치장 주변 그라우팅, 차수막 설치 및 복토, 식재 및 조경 등을 실시해야하며 광미적치장으로부터 유출되는 침출수 방지를 위해서 지표수 유입 차단 및 그라우팅이나 수직 차수벽을 설치해야 한다. 또한 갱내수 및 침출수 처리를 위해 갱내수와 침출수의 집수, 석회조 설치에 의한 pH값 조절 및 침전, 황산염 환원 조건에 의한 환원제거와 같은 수동적 처리법(passive)에 의한 정화 처리가 필요하다.

## 3. 결 론

현재 연구지역은 계곡부에 광미를 적치하고 사면에 콘크리트 블록을 이용하여 광미의 유실방지와 사면안정성 문제를 해결하고 있다. 그러나 유출량의 차이는 있지만 광산배수가 하천으로 유입되고 있는 실정이다. 하천으로 유입된 침출수와 갱내수는 하천수 뿐만 아니라 경작지에서 재배하고 있는 농작물에 심각한 오염을 초래하기도 한다. 따라서 광해 방지와 친환경적 광산을 조성하기 위해서는 광해 지역에 대한 정밀 조사가 필요하며 광산 배수의 고품화, 복토, 식재, 그라우팅, 차수벽 등의 대책 및 복원 방안이 마련되어야 한다.

## 참고 문헌

- Aronoff, S., 1989, Geographic Information System : A Management Perspective, WDL Publications, 31(4), 103-188.
- Casagli, N., Ermini, L. and Rosati, G., 2003, Determining grain size distribution of the material composing landslide dams in the Northern Apennines: sampling and processing methods, Engineering Geology, 69, 83-97.
- Johnson, R. B. and DeGraff, J. V., 1988, Principle of Engineering Geology, John Wiley and Sons, New York, 497p.
- Wislocki, Bentley, 1991, An expert system for landslide hazard and risk assessment, Computers & Structures, 40(1), 169-172.