

# 폐광산 환경오염부지 조사를 위한 물리탐사의 적용성

박삼규<sup>1)</sup> · 김정호<sup>1)</sup> · 이명종<sup>1)</sup> · 손정술<sup>1)</sup> · 김재곤<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

현재 국내에 폐탄광 및 폐금속 광산이 1,250여개 존재하고 있으며, 이는 전체 광산 중에서 약 63%에 해당된다. 이들 폐광산들은 광산의 가행 당시 발생한 채굴적, 광미와 폐석 등으로 지반침하, 산성광산배수(AMD) 발생 등의 심각한 광산재해 및 환경문제를 발생시키고 있다. 특히 폐광산 지역에서 발생하는 폐석과 광미는 대부분 갭 주변에 쌓여진 채 방치되어 있으며, 처리를 한 곳 또한 복토 수준에 머물러 있는 곳이 대부분이다. 그 결과로 우수 등으로 인해 낮은 pH를 가진 침출수가 발생되어 주변의 수질 및 토양을 오염시키고 있어 자연 환경 오염과 폐광산 주변인의 민원을 초래하여 큰 사회적 문제로 대두되고 있다(정영욱 · 민정식, 2001). 최근 들어 폐광산의 재해 및 환경오염이 심각한 지역에 대한 복구가 추진 중이며 정부와 지방자치단체에서는 폐광산의 광산재해 방지 및 환경복원에 많은 노력을 하고 있다. 폐광산의 환경복원에 있어서 오염의 원인이 되는 폐석과 광미의 정확한 분포범위를 사전에 파악하는 것이 무엇보다도 중요하지만, 대부분의 폐석과 광미가 주변에 복토되어 있고 오래 동안 방치되어 왔기 때문에 그 분포범위와 적치량을 파악하기가 쉽지 않다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 지하 영상화 기술을 도입한 물리탐사가 폐광지역의 오염부지 평가에 적용되고 있으며, 탐사결과로부터 광미와 폐석의 공간적인 분포, 산성배수의 분포와 유동 경로 등을 해석한 사례가 발표되고 있다.(이상규 등, 1999).

따라서, 본 연구는 국내의 지질환경 및 오염원인 등을 고려하여 물리탐사 결과로부터 지질환경을 고려한 오염부지 특성 평가기술을 개발하기 위하여 폐광산의 광미적치장을 대상으로 전기비저항 및 전자탐사를 실시하고, 지반의 전기비저항분포로부터 지질 및 지층경계, 오염물질의 분포범위 등 환경오염 부지 평가의 적용성에 대해서 검토하고자 한다.

## 2. 조사지의 개요

조사 대상지는 1969년부터 1972년까지 동광을 채광 했던 곳으로 이 지역의 기반암은 안산암과 염기성 암맥이 발달되어 있고, 유화광맥 속에 동이 함유되어 있으며 이에 수반되는 광물로는 유화철이 나타난다. 이 광산은 가행시기 동안 채굴한 광석을 선광하는 과정에서 생성되는 광미를 선광지 주변에 적치하여 방치하고 있었다. 적치된 광미 중에는 많은 양의 황철석이 포함되어 있으며, 황철석의 산화과정에서 산성배수가 발생하여 주변 하천 및 농경지를 오염시키고 있다.

---

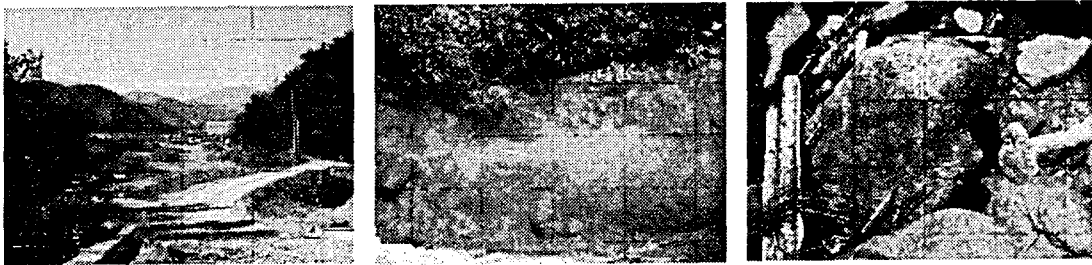
주요어 : 폐광산, 광미, 전기비저항

1) 한국지질자원연구원 지반안전연구부 (samgyu@kigam.re.kr)

2) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (jgkim@kigam.re.kr)

그림 1은 폐광산의 광미 적치장에서 발생하는 산성배수에 의한 오염현황을 나타내고 있다. 그림 (a)는 광미 적치장의 상부에 주변의 풍화토로 성토하고 있어 지표면에서는 광미가 노출되어 있지 않다. 그러나 성토하부에 분포하고 있는 광미에 황철석이 포함되어 있어 산성배수가 발생하고 있으며, 그림 (b)와 같이 주변의 하천에 강산성에 Fe가 침전되어 바닥이 붉은색으로 보이고 있다. 또한 (c)는 하천 바닥의 전석을 보여 주는데, 전석에 포함되어 있는 황철석이 산화되어 빠져나가 마치 현무암처럼 보인다.

조사 대상지의 현황 및 오염상태를 고려하면 우선적으로 광미 적치장의 지층구조 및 분포범위를 밝히고, 산성배수에 의한 주변의 오염분포 범위를 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 광미 적치장의 지층구조와 분포범위를 밝히기 위해서 전기비저항탐사가 적합할 것으로 생각되었으며, 산성배수에 의한 주변 농경지의 오염분포 범위를 파악하기 위해서는 전자탐사가 적합할 것으로 판단되어 두 가지 물리탐사를 동시에 실시했다.



(a) 광미 적치장의 상부

(b) 하천오염

(c) 황철석의 산화

그림 1. 산성배수에 의한 광산 주변의 오염현황.

### 3. 물리탐사 결과 및 해석

#### 3.1 전기비저항 탐사결과

전기비저항탐사는 광미 적치장을 중심으로 그림 2와 같이 6개의 탐사측선을 설정했다. 측선상의 전극간격은 4 m로 하였으며, 전극배열은 Dipole-dipole array와 Modify pole-pole array를 사용하여 한 측선에 두 가지 종류의 전극배열로부터 탐사 자료를 획득하였다. 측정 방법은 다수의 전극을 측선 상에 설치하고, 이들 전극을 접속케이블로 연결하여 탐사기본체 (Super sting R8/IP)에 접속하고, 전기비저항을 측정하기 전에 접지저항을 체크하여 모든 전극의 접지저항이 일정한 범위내의 값을 가지도록 한 다음 탐사기 본체에 입력된 전극배열 파일에 따라 전류전극과 전위전극을 자동적으로 이동하면서 전위차를 측정한다.

각 측선별로 두 종류의 전극배열로부터 얻은 자료를 합해서 역해석 과정을 거쳐 전기비저항탐사 영상을 표시한 것을 그림 4에 나타낸다. 전체 6개 측

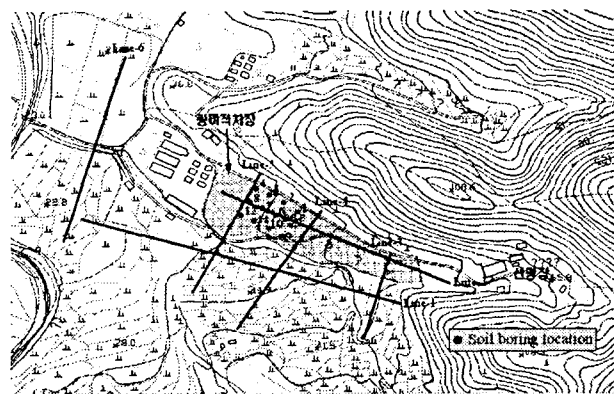


그림 2. 전기비저항탐사 측선 및 시추공 위치도.

선의 전기비저항 분포를 보면, 광미가 적치되어 있는 영역은 100 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항을 나타내고 있으며, 측선 2~5의 전기비저항 분포로부터 광미 적치장의 영역에서는 기반암과 광미 성토 부분의 경계가 뚜렷하게 나타나고 있다. 측선 1과 6은 농경지에 설정한 탐사측선으로 측선 1은 광미 적치장 주변 밭에서 측정한 것이고, 측선 6은 광미 적치장 아래쪽에 분포하고 있는 논에서 측정한 전기비저항 분포이다. 두 측선의 전기비저항 분포로부터 광미의 영향으로 보이는 뚜렷한 전기비저항 이상대는 관찰되지 않으나, 측선 6에서 지표부근의 저비저항대는 점성토로 구성된 논토양의 영향으로 생각된다.

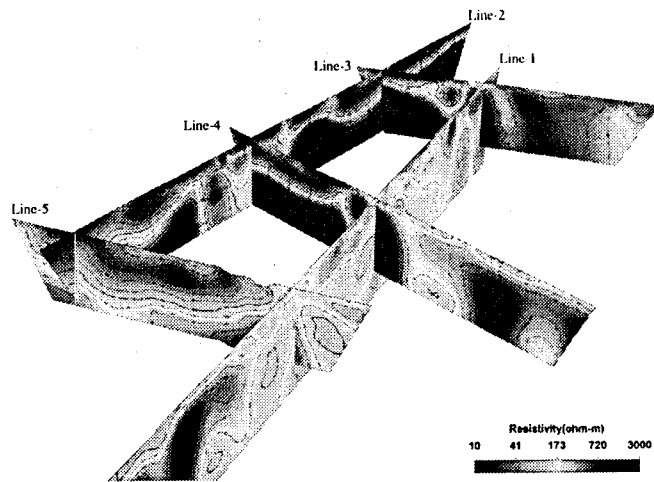


그림 3. 각 측선별 전기비저항의 펜스 다이어그램.

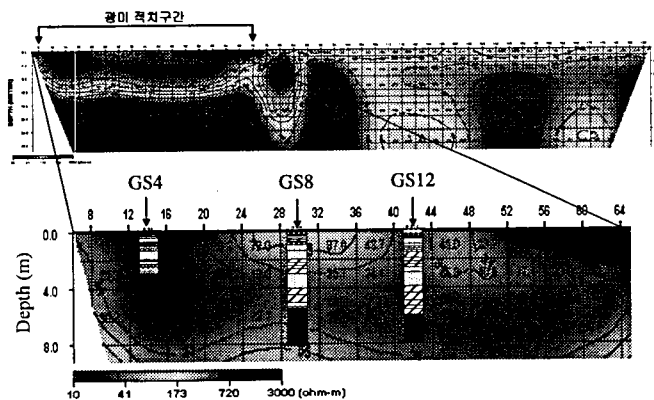


그림 4. 측선 4에서의 전기비저항과 토양단면의 비교.

폐광산의 광미적치장은 선광장에서 흘러나온 슬러지와 주변의 풍화토를 교대로 성토한 것으로 생각되어 정확한 조사를 위하여 지오프로브를 사용하여 광미 적치장의 토양시료를 채취하고 깊이에 따른 토양단면을 조사하였다. 전체적으로 기반암인 안산암은 깊이 8 m 부근에서 나타나고 있으며, 그 상부에 풍화토와 광미가 교대로 분포하고 있고, 광미 및 슬러지 두께는 1~6 m로 나타난다. 전기비저항탐사 결과로부터 광미 적치장의 지층구조 및 광미의 분포영역 등을 파악하기 위하여 토양단면과 전기비저항 분포를 비교하였다. 그림 4는 측선 4에서의 전기비저항 분포와 토양단면을 비교한 것이다. 광미 적치구간은 전기비저항이 40 ohm-m 이하로 낮게 분포하고 있어 전기비저항 분포로부터 광미와 지층의 경계를 뚜렷하게 구분지을 수 있다. 특히 광미 중에서도 황철석이 많이 포함되어 있는 부분은 전기비저항이 20 ohm-m 이하로 낮게 분포하고 있어 전기비저항 탐사 결과로부터 지층과 광미의 구분뿐만 아니라 광미 적치장의 특성을 파악하는데도 유효할 것으로 생각된다. 그림 4의 전기비저항 분포와 토양단면의 비교 결과로부터 조사지역의 광미 적치장의 두께는 탐사측선 2의 상부에서 하부로 갈수록, 측선 3, 4, 5의 산에서 하천방향으로 갈수록 광미가 두껍게 쌓여 있는 것으로 판단된다.

### 3.2 전자탐사 결과

폐광산 광미 적치장 주변지역의 전자탐사는 천부의 전기비저항 분포의 해석과 이로부터 광미와 산성배수에 의한 오염범위의 해석이 가능한지를 확인하기 위한 목적으로 탐사가 수행되었다. 조사에 사용된 장비는 미국 Geophex사의 GEM-2H장비를 이용하였으며, 측정위

치의 측량을 위하여 Trimble Pathfinder GPS를 이용하였다. 전자탐사 영역은 광미 적치장 내부와 주변의 농경지 일대를 대상으로 하였으며, 광미 적치장 아래에 있는 폐건물 주변은 사람이 접근하기 어려워 탐사를 수행하지 못했다.

그림 5는 조사지역에서의 전자탐사의 측선도로서 사람이 접근하여 센서의 이동이 가능한 광미 적치장 내부와 주변의 농경지에서 탐사를 수행하였으며 그림 중에 검은 실선으로 표시한 것이 탐사측선이다.

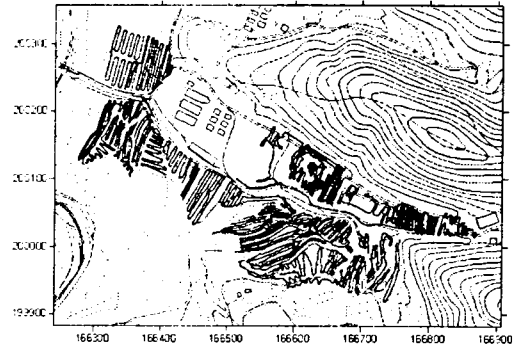


그림 5. 전자탐사 측선도.

전자탐사는 총 10개의 주파수에 대한 자료를 획득하였으나, 자료의 질 등을 고려하여 330 Hz, 810 Hz, 2,190 Hz, 5,790 Hz, 14,850 Hz의 5개 주파수를 선정하였다. 그림 6의 각 주파수별로 계산한 겹보기 전기비저항분포를 보면 전체적으로 지표 부근에서는 높은 전기비저항 값을 보이며 깊이가 깊어질수록 전기비저항이 낮아지는 경향이 있다. 5개의 주파수 중에서 330 Hz 주파수는 가장 깊은 곳의 전기비저항을 나타내고 있는데, 전체적으로 낮은 전기비저항 값이 거의 동일하게 분포하고 있다. 이것은 기반암의 상부에 분포하는 풍화대의 전기비저항 값을 나타내고 있기 때문으로 해석된다. 주파수가 높아지면서 지표부근으로 전기비저항 값은 증가하고 있으며, 주파수 2,190 Hz까지는 광미 적치장과 주변의 경계를 전기비저항 분포로 구분하기 어렵다. 그러나 천부의 주파수 5,790 Hz와 14,850 Hz에서 계산한 전기비저항 분포에서는 광미 적치장이 상대적으로 저비저항을 나타내고 있다. 이렇게 광미 적치장 영역에서 저비저항이 나타나는 이유는 전기비저항탐사 결과에서와 같이 광미 속에 포함되어 있는 슬러지와 황철석 등이 전기전도성 역할을 하기 때문으로 판단된다. 따라서 광미가 성토되어 있는 깊이에서는 상대적으로 낮은 전기비저항을 나타내고 있으며, 그 하부에서는 광미 적치장과 주변 지층의 전기비저항이 큰 변화를 보이지 않아 거의 동일한 전기비저항을 나타내고 있다. 이번 탐사 결과로부터 전자탐사는 탐사방법이 간단하여 짧은 시간에 넓은 지역을 탐사할 수 있을 뿐만 아니라 자료처리도 간단하여 신속하게 오염분포 범위를 mapping하는데 유효한 탐사수법임을 입증하였다.



330Hz 주파수      810Hz 주파수      2,190Hz 주파수      5,790Hz 주파수      14,850Hz 주파수

그림 6. 전자탐사 자료로부터 계산된 각각의 주파수별 전기비저항 단면.

#### 참고논문

이상규, 황세호, 이태섭, 1997, 폐광산의 토양오염영역 및 폐기된 광미의 탐지, 자원환경지질, 30권 4호, p. 371-377.

정영옥, 민정식, 2001, 국내 폐 광산 환경오염 실태 및 처리 현황, 한국물리탐사학회 제3회 특별 심포지엄 논문집, p. 75-89.