

## 폐갱도 확인을 위한 고정밀중력탐사

임형래<sup>1)</sup>, 박영수<sup>1)</sup>, 임무택<sup>1)</sup>, 구성본<sup>1)</sup>, 정현기<sup>1)</sup>, 김학수<sup>2)</sup>, 정창호<sup>2)</sup>, 권병두<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원, [rhr@kigam.re.kr](mailto:rhr@kigam.re.kr)

<sup>2)</sup>(주)지오제니 컨설턴트

<sup>3)</sup>서울대학교 지구과학교육과

## Application of microgravity for detecting the mineshaft

Hyoungrae Rim<sup>1)</sup>, Yeong-Sue Park<sup>1)</sup>, Mutaek Lim<sup>1)</sup>, Sung Bon Koo<sup>1)</sup>,  
Hyun Key Jung<sup>1)</sup>, Hag Soo Kim<sup>2)</sup>, Chang Ho Jung<sup>2)</sup>, Byoung Doo Kwon<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>KIGAM, [rhr@kigam.re.kr](mailto:rhr@kigam.re.kr)

<sup>2)</sup>GeoGeny Consultants Group Inc.

<sup>3)</sup>Seoul National University

**요약** : 인공 지하공동에 해당하는 폐갱도 탐지를 위한 고정밀중력탐사를 수행하였다. 수치모델링으로 중력탐사로서 폐갱도 탐지가 가능한지를 실험하였고, 전남 화순 탄광지역 인근에서 도로건설 예정지에 존재 가능성이 있는 폐갱도 탐지에 적용하였다. 탐사자료에 정밀지형보정과 비평활화 역산을 적용하여 지하공동에 해당하는 반응을 유추할 수 있었다.

**주요어** : 고정밀중력탐사, 폐갱도 탐지

**Abstract** : Microgravity survey was carried out in order to detect an abandoned mineshaft. We tested the feasibility of cavity detection by means of numerical modeling and applied microgravity survey to detecting an abandoned mineshaft in the vicinity of Hawson mines, Junnam. The result shows the response of mineshaft where we expected.

**Keywords** : microgravity, detecting mineshaft

### 1. 서론

최근에 도로 건설이나 터널 굴착과 같은 토목 현장에서 폐갱도의 존재 여부를 설계 전에 미리 파악하는 것이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 폐광산 지역은 이미 가행이 오래전에 끝난 상황으로 갱도의 연장성 등에 대한 자료가 제대로 남아 있지 않은 경우가 많다. 폐갱도가 존재하는 지역은 주로 산악지역이므로 접근이 용이하지 않고, 탄층이 존재하는 지역이므로 전기전도도가 매우 큰 여건이다. 이런 지역에서 전기전도도 차이를 대상으로 하는 전기/전자 탐사는 전기전도도가 큰 탄층에 가려져서 갱도를 파악하기가 쉽지 않고, 경사가 급한 산악 지역이므로 탄성과 탐사를 수행하기도 용이하지 않다. 그러나 갱내가 비어있는 폐갱도는 주위에 비해서 밀도차가 크므로, 이런 밀도차이에 민감하게 반응하는 고정밀중력탐사를 적용하면 갱도의 존재 여부와 발달 정도를 파악하는데 효과적일 것이다.

## 2. 본론

### 2.1 폐갱도 탐지 가능성 평가를 위한 수치모델링

고정밀중력탐사로써 폐갱도의 탐지가 가능한지에 대한 이론 실험을 수행하였다. 이상체로 설정한 모델은 수평으로 놓여진 이차원 사각 프리즘으로써 우리나라에서 채탄을 위해 굴착하는 갱도의 크기에 해당하는  $2\text{m} \times 2\text{m}$ 로 근사하였다. 갱내가 비어있다고 가정하고 밀도대비  $2.4 \text{ g/cm}^3$ , 잡음  $\pm 5 \mu\text{Gal}$ 로 가정하여 구조의 깊이가 1m, 3m, 5m, 7m 및 9m인 경우에 대하여 수치모델링한 결과가 그림 1(a)이다. 그림 1(a)에서 보면 고정밀중력탐사를 이용하여 탐지 가능한 갱도의 반응을 최대  $20 \mu\text{Gal}$  정도라고 보면 갱도의 깊이가 대략 5m 정도까지는 탐지할 수 있을 것이다. 또한 수치모델링을 통하여 보면 공동에서 멀어지면서 급격하게 이상값이 감소함을 알 수 있으므로 지표상황으로 최소한의 탐사 영역을 설정하고 현장 자료 취득은 1m이내의 측정간격으로 획득되어야함을 알 수 있다.

### 2.2 자료 획득 및 처리

연구 대상지역은 전남 화순군 일대로서 화순탄전의 일부에 해당한다. 그림 1(b)에는 1:5,000 수치지형도 위에 중력측점을 도시하였다. 돌출된 산등선 때문에 기존 도로의 굴곡을 완화시키기 위하여 능선에 터널설계가 예정되었으나 측점 주위로 가행 흔적이 보여서 터널의 안전을 위하여 폐갱의 존재 여부와 발달 상황을 검증하기 위한 고정밀중력탐사가 수행되었다. 측점 간격은 사전 수치모델링한 결과를 바탕으로 갱도의 예상 위치 근처에서는 1 m로 하였고, 예상 갱도에서 멀어질수록 주변 지역은 2 m~3 m로 하여, 6 개 측선에 걸쳐 총 153 측점에서 중력을 측정하였다. 현장의 평균 경사가 약  $38^\circ$  이고 지표 상황이 열악하여, 측선 및 측점을 사전에 개척해야 하였으며, 측점을 잘 다지고 말목을 박아 위치를 고정하여 측량과 중력 측정에서 지표의 흔들림에 의한 오차를 없애도록 하였다. 또한 중력계 계기 보정을 위한 기준점 반복 측정은 1~2 시간 간격으로 하였다. 탐사 장비는 Scintrex 사의 AutoGrav CG-3 이며, 측정은 1 초 간격으로 60 초간 측정하였다. 중력탐사에서 정밀도를 유지하는데 가장 중요한 요인은 고도의 정밀도이다. 고도 1 cm가 유발하는 오차는  $3 \mu\text{Gal}$  이 된다. 따라서 본 탐사와 같은 고도의 정밀도가 요구되는 탐사에서는 1 cm 이내의 측량 정밀도가 요구된다. 측량은 Trimble GPS 5700 을 이용하여 기점을 설정하고, 각 측점들은 Leica Total Station 1100 광과측량기를 이용하여, 측량 오차를 3 mm 이내로 유지함으로써 측량에 의한 중력 오차를  $1 \mu\text{Gal}$  이하로 유지하였다.

측정된 중력 자료들은 표준적, 통상적 자료 처리 과정으로 처리하였다. 다만, 고도의 정밀도가 필요하므로 부계 보정 및 지형 보정에 사용할 부계밀도를 Parasnis 법을 이용하여 구하였다. 그림 2(c)에서 보듯이 측정값들이 거의 일직선상에 배열하므로 기울기에 해당하는  $2.32 \text{ g/cm}^3$ 을 탐사 지역 내에서의 부계밀도로 정하였다. 지형 보정은 지형근사 오차를 줄일 수 있는 삼각요소법을, 이용하였다(임형래 등, 2003). 획득자료를 보정, 전산처리하여 작성한 단순 부계 이상을 지형보정하여 구한 부계 이상도가 그림 2(a)이다. 측선들은 해석의 편의를 위하여 북쪽부터 남쪽으로 가면서 L 측선, A 측선~E 측선으로 총 6 개 측선을 설정하였다. 사각형은 갱구로 확인된 지역(북쪽, L 측선)과 확인시추로 갱도를 확인한 지역(남쪽, D 측선)을 연결한 것으로 갱도의 예상 경로가 된다. 그림 2(b)는 부계 이상에서 광역효과를 7 차 다항식으로 근사한 후 이를 부계이상도에 빼주어 구한 잔여 부계 이상도이다.

### 2.3 자료 해석

잔여 이상도(그림 2(b))에서 사각으로 표시된 것은 갱도의 입구로 추정되는 L 측선 중앙부와 D 측선 중앙부에서 시추에서 갱도로 확인된 지역을 연결한 예상 갱도이다. 예상 갱도를 염두에 두고 잔여 부계 이상도를 정성적으로 검토해보면 다음과 같다.

(1) 갱구가 시작되는 L 측선부터 A, B 측선에서는 예상 갱도와 일치하는 저밀도대가 보이지 않는다. 이는 이미 갱도가 무너져서 밀도차이를 보이지 못하는 상태임을 추정할 수 있다. 또한 지표면이 산정상부에서 흘러내린 토사로 덮여있어서 예전에 존재했던 갱도의 심도를 깊게 만드는 효과를 보이므로 전혀 공동 반응을 확인할 수 없었다. 이는 폐갱 처리 과정에서 갱구부분을 발파를 통해 매웠음을 보여준다. 또한 D와 E 측선에서도 공동 반응을 확인할 수 없었는데 이는 D4 지점에서의 시추결과 깊이 8.7m 에서 갱의 흔적이 발견되었는데 이 심도 이상의 공동은 중력탐사의 탐지 범위를 넘어서기 때문이다.

(2) C 측선을 따라서 최대  $-50 \mu\text{Gal}$  정도의 띠 모양의 저밀도대가 탐지되었다. 수치모델링 결과와 비교해 보면 측정오차를 감안하더라도 갱도가 수 미터 이내에 존재하는 것으로 추정된다. 이 공동 반응은 주 갱도 방향과 수직으로 발달하고 있는 것으로 보아 갱도를 굴진하다가 옆으로 채탄 갱도를 굴진하였거나, 그 근처에 채탄작업에 의한 채굴 공동이 존재한다고 생각해 볼 수 있다. 어쨌든, 적어도 중력탐사의 결과만을 가지고 해석한다면, 탐사 구역 내에서는 측선 C 가 가장 공동이 많이 발달해 있는 폐갱도의 중심이라고 해석할 수 있다.

이와 같은 정성적인 해석을 염두에 두고 예상 갱도 방향인 L 측선 중앙부와 D 측선 중앙부를 연결하는 측선과 이에 수직인 C 측선 방향인 측선에 대하여 천부 고분해능을 해석을 위한 비평활화 역산 기법(박영수 등, 2004)을 적용하여 정량적인 해석을 시도하였다. 예상 갱도에 평행한 측선에 적용한 결과를 보면(그림 2(d)), 갱구로부터 8~10m(측선 B~C)떨어진 곳에서 깊이 1m~2m 에 저밀도대를 보여준다. 시추 결과로부터 추정되는 C 측선에서는 대체로 4m~5m 가 되는 것에 비하여 얇게 해석되지만 밀도가 급격하게 변하는 갱도의 특징을 보여준다. 예상갱도와 수직인 측선 C 에 적용한 결과는 예상 갱도 위치에 깊이 4m 내외서 공동 반응에 해당하는 명확한 이미지를 보여준다. 이것은 비평활화 역산의 장점으로써 공동과 같은 밀도이상대가 존재할 때 경계부분을 강조하는 결과를 나타낸다.

## 5. 결론

예상 터널 구간에 존재 가능성이 있는 폐갱도의 발달 상황을 사전에 파악하기 위하여 고정밀중력탐사를 적용하였다. 지형의 기복이 심하고 전기전도도가 매우 큰 탄층에 존재하는 폐갱도를 파악하는 것은 공동의 밀도차이에 민감하게 반응하는 고정밀중력탐사의 장점이 될 수 있다. 정밀 자료 획득 과정을 통하여 확실한 저이상대를 발견하였다. 이 저이상대는 시추로 확인된 공동이 확인된 지점과 갱구를 연결하는 직선 상에 존재하고 예상 이상반응보다 크게 보이는 것으로 보아 채굴적 등과 같은 규모가 갱도보다는 큰 이상대가 존재함을 알 수 있다. 천부 밀도 불연속대를 강조하여 역산단면을 보여주는 비평활화 역산 방법을 적용한 결과 공동의 반응으로 보이는 저밀도 이상대를 확실히 구분할 수 있었다.

## 참고문헌

박영수, 임형래, 임무택, 구성본, 정호준, 2004, non-smooth 중력역산 패키지의 구성, 2004

대한지구물리학회·한국물리탐사학회 공동학술대회, 한국해양연구원, 83-87.

임형래, 박영수, 임무택, 권병두, 2003, 삼각요소법을 이용한 정밀 중력계산, 한국지구과학회 2003년도 추계학술발표회, 충남대학교, 37-43.

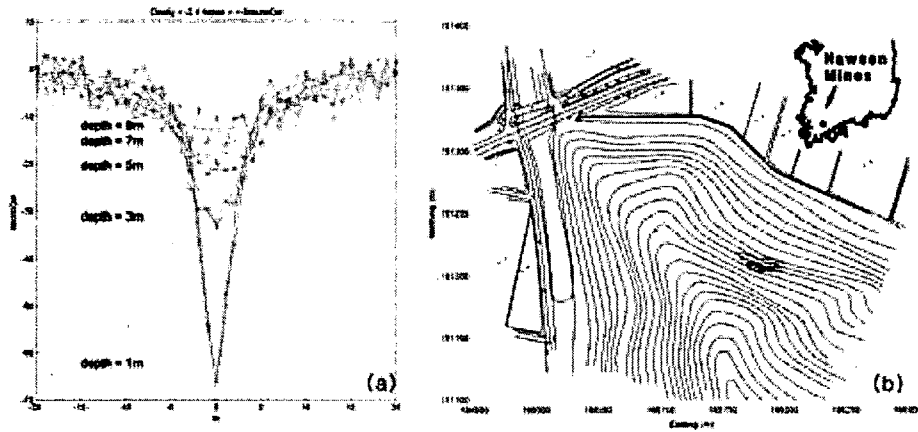


Fig. 1 (a) Gravity anomalies of horizontal rectangular prism model whose size, density contrast and noise level are  $2m \times 2m$ ,  $2.4 \text{ g/cm}^3$ ,  $\pm 5 \mu\text{Gal}$ , respectively. (b) The gravity stations (dots) on the topography map.

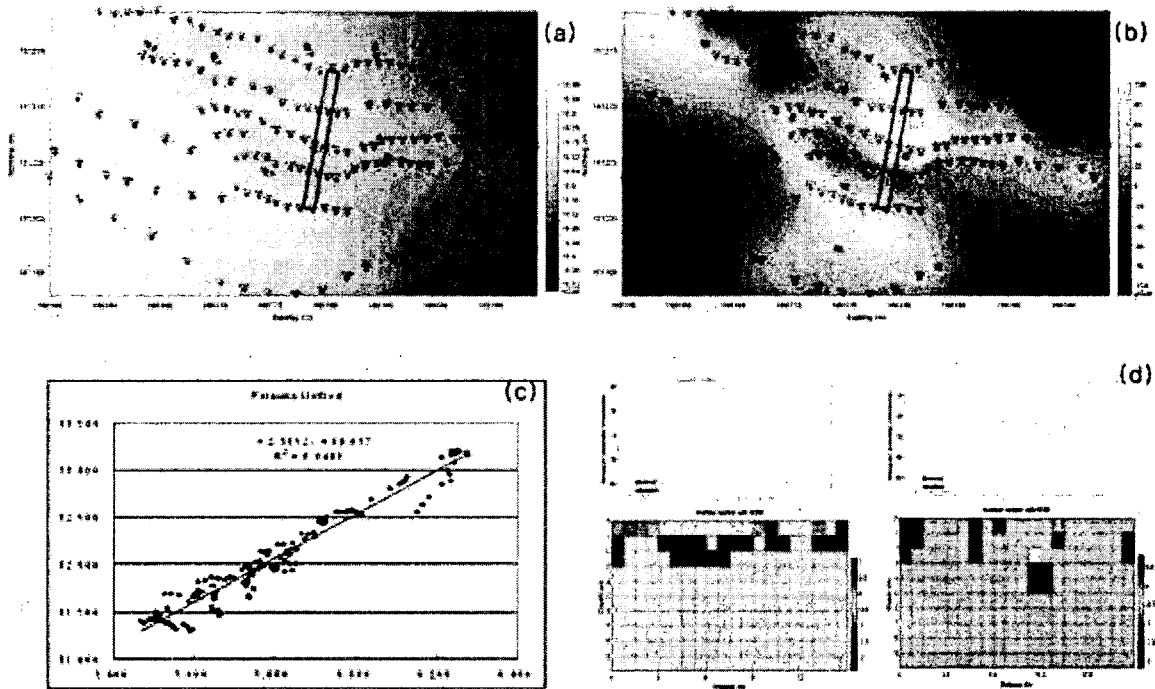


Fig. 2 (a) Bouguer anomaly map. The rectangular and the dots indicate the expected mineshaft and gravity stations respectively. (b) Residual anomaly map. (c) Determination of Bouguer density by Parasnis method. (d) The inverted section of the parallel (Left panel) and perpendicular (Right panel) to the expected mineshaft.