The Journal of Engineering Geology, Vol.15, No.1, Mar., 2005, pp. 19-27

3차원 전기비저항 역산 방법을 이용한 삼보 광산에서 금광 탐사

박종오[*1)]· 김희준[2)]· 송무영[3)]· 유영준[4)]

[1)](주)드림이엔지, [2)]부경대학교 환경탐사공학과, [3)]충남대학교 지구환경공학과, [4)]대한광업진흥공사 국내탐사팀

Application of Gold Exploration Using Three-dimensional Resistivity Inversion in Sambo mine

Jong-Oh Park[*1)]· Hee-Joon Kim[2)]· Moo-Young Song[3)] · Young-June You[4)]

[1)]Dream Engineering Inc.

[2)]Dept. of Environmental Exploration Engineering, Pukyong National University

[3)]Dept. of Earth and Environmental Science, Chungnam National University

[4)]Div. geophysical exploration, Korea Resource Corporation

전라남도 무안군 해제면에 위치한 삼보광산은 편마암류 및 유문암 내에 발달한 열극에 열수가 충전하여 형성된 열극충전광산이다. 시추 자료에서 얻은 분석 품위는 금이 0.05~10.9 g/t 이하, 은이 0.05~389 g/t 이하로 부분적으로 금·은광화작용이 인지되었다. 본 연구는 지표에서의 쌍극자, 슐럼버저 및 웨너 배열을 이용한 전기비저항 탐사와 시추공에서의 전기비저항 토모그래피 탐사를 복합하여 삼보광산에서 광화대의 분포 및 이와 관련된 지질구조를 파악하고자 한다. 3차원 전기비저항 역산의 결과는 광화대가 지표부터 약 80m 심도까지 30m의 폭을 가지며, N10°~20°E의 방향으로 240m 연장되어 있음을 보여준다. 전기비저항 영상에서 얻어진 1,000ohm-m 이하의 전기비저항 값은 시추 자료에서 확인된 금·은광화작용이 인지된 구간 및 연약대 구간과 거의 일치하였다.

주요어: 삼보광산, 열극충전광산, 전기비저항, 3차원 역산, 광화대

The Sambo mine is located in Hae-je Myeon, Moo-an Gun, Chollanamdo, which consists of host gneiss and rhyolite possessing quartzite veins with other compositions such as gold, silver, and sublimated sulfur. The ore grade estimated from the core was 0.05~10.9g/t or less in gold and 0.05~389g/t or less in silver, indicating a partial mineralization. The purpose of this paper is to understand the subsurface structures and the distribution of mineralized bodies in the Sambo mine using a combined method of Schlumberger, Wenner, and Dipole-dipole resistivity surveys on the surface and the resistivity tomography survey in boreholes. The result of three-dimensional resistivity inversion showed that the mineralized body is extended to 240m long in the N10°~20°E direction, with 30m wide and 80 m thick from the surface. The low resistivity zones (<1,000ohm-m) determined from the resistivity image were in good agreement with the mineralized bodies and weak zones identified from the logged cores.

Key words: Sambo mine, sublimated sulfur, 3D Resistivity inversion, mineralized bodies.

* Corresponding author : jopark@dju.ac.kr

서 론

전라남도 무안군 해제면에 위치한 삼보광산은 편마암류 및 유문암 내에 발달한 열극에 열수가 충전하여 형성된 열극충전광산이다. 이 광산에서는 광맥에 함유하고 있는 금 · 은 등을 개발하기 위하여 부분적인 채광을 하였다. 시추 자료에서 얻은 분석 품위는 금이 0.05~10.9g/t 이하, 은이 0.05~389g/t 이하로 부분적으로 금·은광화작용이 인지되며, 유화광물은 소량의 황철석과 적철석을 함유한다(대한광업진흥공사, 2003). 본 연구의 목적은 3차원 전기비저항 역산 방법을 이용하여 금·은광화작용을 받은 열수변질대와 유화광물을 포함한 광화대의 부존가능성을 3차원적 구조로 영상화하는데 있다.

광화대는 광맥이 배태하는 물리적인 성질인 대자율, 전기전도도 및 전기화학적 성질이 주변의 모암과 차이를 보인다. 즉, 광화대 구간은 석영세맥이 관입하면서 주변에 있는 모암의 변질화작용, 모암과 석영맥의 접촉부에 많은 유화광물의 운집, 단층이나 파쇄대와 같은 연약대가 존재하는 지역에 위치한다(박천영 등, 1989). 금·은의 산출은 유화광물과 같은 황철석이 많이 포함되어 있는 지역에 있다. 이러한 지역은 주변 모암에 대하여 전기전도도의 대비가 현저하므로 전기비저항 탐사에 있어서 뚜렷한 전기비저항 값의 차이가 보일 것으로 판단된다.

광상조사를 위한 전기비저항 탐사에 대한 연구는 황화광체에 대하여 쌍극자배열로 얻어진 자료를 알파센터 방법으로 하는 3차원 전기비저항 역산(Petrick, et al., 1981), 벤토나이트 광상에 대한 쌍극자배열 탐사(송영수 등, 1993), 맥상 황화광체에 대한 전기 및 전자 탐사 반응에 관한 연구(유인걸, 1998), 금광상에서 지구물리탐사를 이용하여 금광화작용을 받은 구간에 대한 탐사 반응 값과 물성치에 대한 비교 연구(Guo et al., 1999), 삼보광산 금광화대에 대한 전기탐사 반응(유영준 등, 2004) 등으로 여러 광상에서 전도성 이상체를 대상으로 많은 연구가 진행되어 왔다.

전기비저항 탐사 방법은 광화대가 광화작용에 의한 변질대 및 연약대의 지질구조선을 따라 유화광물 및 지하수가 함양하므로 전기전도도의 대비가 큰 것을 근거로, 삼보광산에서는 지표에서의 쌍극자, 슐럼버저 및 웨너 배열을 이용한 전기비저항 탐사와 시추공에서의 전기비저항 토모그래피 탐사 등의 복합적 배열방법을 사용하였다. 전기비저항 탐사 해석은 지하 하부에 존재하는 이상대가 3차원 구조이기 때문에 2차원 역산 결과를 가지고 이상대의 연장성을 규명하기보다 3차원 역산 결과로 이상체를 입체적으로 조명하는 것이 바람직하다. 즉, 탐지 대상체로부터 얻어진 측정 자료를 가지고 지하구조를 물리적 성질 및 암석 형태에 따른 전기비저항 값으로 3차원적으로 영상화하므로 이상체와 주변 모암에 대한 구분이 뚜렷하게 나타날 것이다. 본 연구 지역에서 3차원 전기비저항 영상은 조사지역의 전반에 걸친 광역적 조사와 광화대를 중심에 있는 시추공을 포함한 정밀조사 지역으로 구분하여 함금은석영맥 광상의 구성분포 및 이와 관련된 지질구조를 파악하고자 한다.

지형 및 지질

삼보광산은 해안과 인접한 지역으로 넓은 해안의 충적평야와 100 m 미만의 낮은 구릉들이 타원형의 잔구형태를 보이는 노년기 지형이다. 연구지역의 지질은 시대미상의 편마암류를 기반암으로 후기에 이를 관입한 유문암 및 산성, 중성, 염기성 암맥류로 구성된다(Fig.1). 지질구조로는 소규모 단층이 N10°~40°E로 가장 우세한 방향성을 보이며, 암맥의 주향과 일치한다.

연구지역내에는 광화대 구간의 심도 및 분석 품위를 파악하기 위하여 4개의 시추공이 있다(Table 1). 시추 결과로 얻어진 암종은 주로 녹회색을 띄며, 모암으로 보이는 반상변정 및 호상구조인 편마암류와 광화대로 추정되는 화성암류의 일종인 유문암 및 석영세맥으로 구분된다.

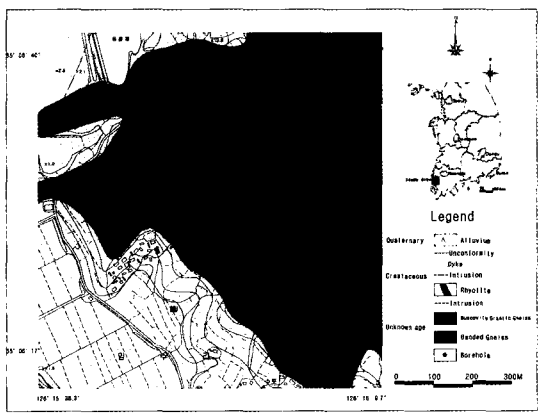

Fig. 1. A map showing Geology and locations of boreholes in the study area (KORES, 2003).

Table 1. Description for boreholes in the Sambo mine area (KORES, 2003).

Borehole	Length (m)	Direction	Inclination (°)	Mineralization zone	
				Interval(m)	Rcok
03-4	130	N75W	70	80.7~81.8	rhyolite
03-5	138	N75W	70	56.4~57.4	quartzite
03-6	170	E	40	96.8~150	rhyolite
03-7	130	W	70	56.8~78.0	rhyolite

이론적 배경

일반적으로 비선형 최소자승 역산은 측정 자료와 이론모델 반응치의 차에 대한 목적함수를 최소화하는 방식으로 얻어지며, 전기전도도로 구성된 블록의 모델 변수벡터를 최적화하기 위하여 모델 블록의 전기비저항 값에 관한 측정 자료의 미분법을 사용한다.

본 연구에서 사용된 전기비저항 탐사 자료의 역산은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta d = J\Delta m \quad (1)$$

여기서 Δd는 측정 자료와 이론 모델에 대한 계산 값의 차이를 나타내는 벡터, Δm은 모델에 대한 수정 벡터, 그리고 J는 Jacobian으로 편미분 및 감도를 나타내는 행렬이다. (1)식을 안정적으로 풀기 위해서 많이 사용되는 방법은 평활화제약(Tikhonov and Arsenin, 1977)이며, 다음과 같은 목적함수를 최소화하게 된다.

$$U = ||W_d(J\Delta m - \Delta d)||^2 + \lambda ||W_m L(m_0 + \Delta m)||^2 \quad (2)$$

여기서 W_d 및 W_m 은 각각 자료 및 모델에 대한 가중치, λ 는 Lagrange 계수, 그리고 L은 매끄러움의 역수로서 모델의 거칠기를 정량화하는 평활화 행렬이다 (deGroot-Hedlin and Constable, 1990).

(2)식의 최소화는 다음과 같은 정규방정식으로 표현되거나

$$(\mathbf{J}^T\mathbf{W}_d^T\mathbf{W}_d\mathbf{J} + \lambda\mathbf{L}^T\mathbf{W}_m^T\mathbf{W}_m\mathbf{L})\Delta\mathbf{m} = \mathbf{J}^T\mathbf{W}_d^T\mathbf{W}_d\Delta\mathbf{d} - \lambda\mathbf{L}^T\mathbf{W}_m^T\mathbf{W}_m\mathbf{L}\mathbf{m}_0 \quad (3)$$

관측방정식으로 유도된다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{W}_d\mathbf{J} \\ \sqrt{\lambda}\mathbf{W}_m\mathbf{L} \end{bmatrix}\{\Delta\mathbf{m}\} = \begin{Bmatrix} \mathbf{W}_d\Delta\mathbf{d} \\ -\sqrt{\lambda}\mathbf{W}_m\mathbf{L}\mathbf{m}_0 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

일반적으로 (3)식보다 (4)식으로 구해지는 최소자승해는 정확도에서 유리한 것으로 알려져 있다(Lines and Treitel, 1984).

본 연구에서는 역산과정에 있어서 각 반복횟수마다 라그랑지 곱수 값을 변화 시키면서 최소자승 오차가 가장 작은 최적의 라그랑지 곱수를 결정하는 방법을 이용하였다(Constable et al., 1987; 박종오 등, 2004).

탐사 방법으로는 조사 지역의 전반에 걸쳐 광역적 조사로 A 지역, 광화대를 중심으로 03-6과 03-7 시추공을 포함하여 정밀 조사로 B와 C 지역으로 구분하였다.

연구방법 및 결과

광역적 조사(A 지역)

A 지역에서의 전기비저항 탐사는 쌍극자 배열을 이용하여 총 21개의 측선을 설정하였으며, 측선 및 전극간의 간격은 일정하게 40 m로 하였다(Fig. 2). 측정 자료는 전극 전개 수를 동-서 방향의 측선에서 n=8, 남-북 방향의 측선에서 n=10으로 하여 전체 2,064 개이다.

3차원 모델은 55×47×25 (=64,625) 개의 유한요소 절점으로 구성하였으며, 2 개의 절점을 한 개의 블록으로 하여 전체 21×17×5 (=1,785) 개로 나누었다. 그러나 심도에 따른 블록의 크기는 감도가 큰 천부의 경우에 작게 하였으며, 감도가 낮은 심부의 경우에 크게 하였다.

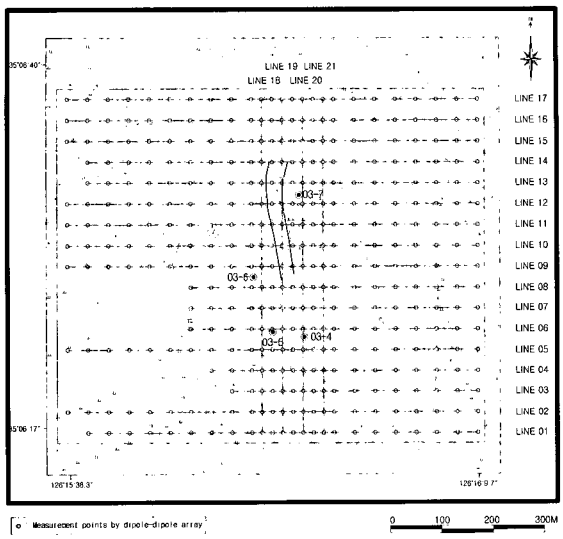

Fig. 2. A map showing the lines of electrical resistivity survey and the locations of boreholes in the A area of the Sambo mine.

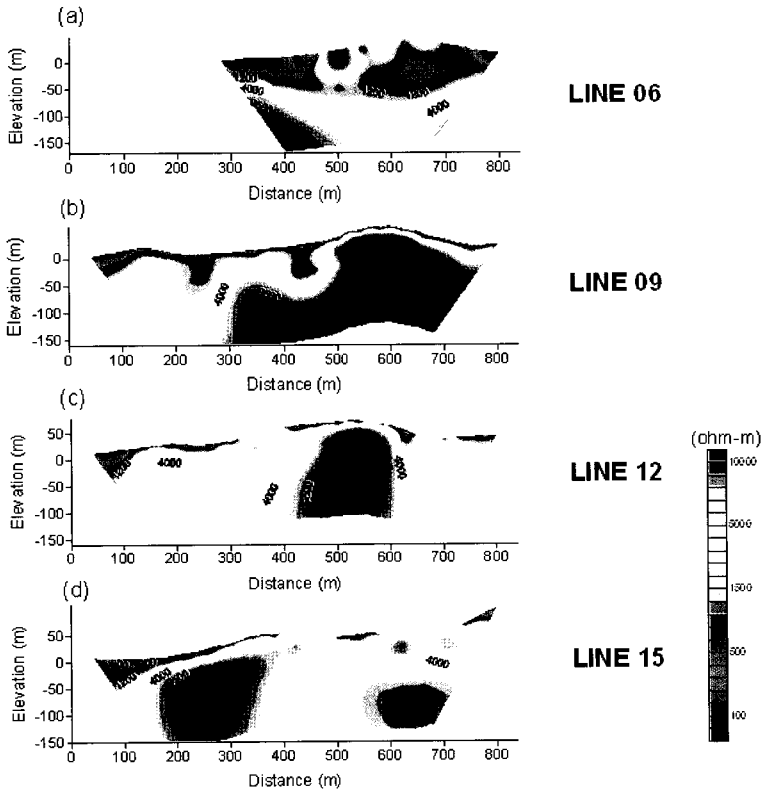

Fig. 3. Resistivity sections reconstructed from the 3D inversion including topographic effect along lines 6(a), 9(b), 12(c), and 15(d) in the A area.

Fig.3은 연구지역에 있는 지형 기복을 역산에 포함하여 얻어진 결과에 대한 단면도이다. 지형효과는 지형의 기복에 따라 전기장의 왜곡된 반응이 나타나므로 잘못된 해석을 하기 쉽다. Oppliger(1984)는 전기장에 있어서 지형 경사가 10° 이상이면 약 15%, 20° 이상이면 약 30% 정도의 지형효과를 보였으며, 박종오 등(2004)은 45°의 지형 기복에 따른 왜곡된 전기장의 반응을 제시하였다.

측선 6의 영상은 측선을 따라 존재하는 선 구조선과 갱구내에 조사된 다수의 단층 및 습곡 구조로 인하여 500ohm-m 이하의 전기비저항 분포가 지표부터 심도 -100 m까지 나타난 것으로 판단된다. 측선 9는 10,000ohm-m 이상으로 보이는 편마암체 상부에 광화대가 지표부터 약 80m 심도까지 거의 수직적으로 나타났으며, 측선 12까지 연장된 영상이다. 측선 15의 영상은 측선 9와 측선 12에서 제시된 광화대의 연장성이 사라진 것으로 나타났다.

Fig.4는 30 m와 80 m 심도에 대한 평면도이다. 80m 심도의 평면도는 열극을 따라 열수가 충전한 광맥이 N45°E와 N10°~20°E 방향으로 연장되어 있는 영상이다. N10°~20°E 방향의 광화대는 지표부터 약 80m 심도까지 30m의 폭을 가지며, 약 240 m 연장되어 있다. 이러한 연장성은 측선 6을 따라 존재하는 연약대로 인하여 사라진다. Fig.4(a)는 80m 심도의 영상을 그대로 반영되었지만 광화대의 분포 및 연장성이 Fig. 4 (b) 보다 다소 미약하게 나타났다. Fig.4(a)의 좌측 하단부는 과거에 서해 바다의 연안지역을 간척한 지역으로 10ohm-m 이하의 낮은 전기비저항 값을 보였으며, 산 경계지역과 전기비저항 대비가 뚜렷하다.

정밀조사(B와 C 지역)

정밀 조사지역은 03-6호공을 기준으로 B지역, 03-7호공을 기준으로 C지역으로 구분 하였으며, 각 넓이는 100×50m에 해당된다. 각 지역에서는 쌍극자, 슐럼버져

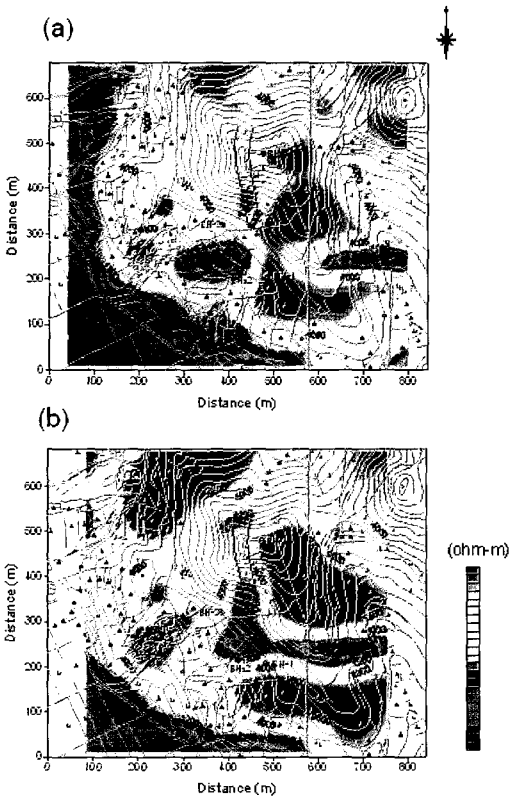

Fig. 4. Resistivity planes reconstructed from the 3D inversion at depths of 30m(a) and 80m(b) in the A area.

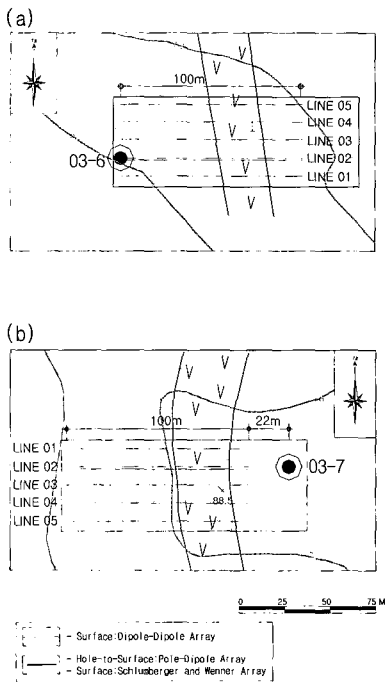

Fig. 5. Maps showing the lines of electrical resistivity survey and boreholes in the B(a) and C b) areas of the Sambo mine.

및 웨너 배열을 이용한 지표 전기비저항 탐사와 시추공 전기비저항 토모그래피 탐사를 복합적으로 실시하였다 (Fig.5). 탐사 방법은 지표에서 시추공을 기준으로 하나의 측선에 전극 50개를 2m 간격으로 하는 슐럼버져 및 웨너 배열과 5개 측선에 25개 전극을 4m 간격으로 하는 쌍극자 배열을 실시하였으며, 시추공-지표에서 단극-쌍극자 배열 방법으로 40°의 경사시추공에서 심도 166m을 기준하여 상부 방향으로 8m 간격마다 19개의 전원항 (B지역), 70°의 경사시추공에서 심도 115m을 기준하여 4m 간격씩 상부 방향으로 24개의 전원항 (C지역)이 있도록 하였다. 원거리 접지 전원항 C_2는 탐사 측선 거리에 10배 이상 떨어지도록 하였다. 전위 전극은 지표에서 시추공부터 동측으로 50 개의 전극을 2m 간격(B지역), 시추공부터 서측으로 22m 떨어져서 51개의 전극을 2m 간격(C지역)으로 하였다. 이렇게 하여 얻어진 측정 자료는 B지역에서 전체 2,881개, C지역에서 3,150개이다.

모델의 설정은 연구지역에서 복합적인 배열 방법을 동일한 측선에서 이용하였기 때문에 각 절점마다 중첩되는 물리적 성질인 전기비저항 값의 공간적인 분포로 나타난다. 그러므로 절점의 크기는 역산 결과에 영향을 미치지 않는 범위로 충분히 작게 하는 것이 좋다 (Oldenburg et al., 1998). 그러므로 본 연구지역에서의 3차원 모델은 각 지역에 79×37×65(=189,995)개의 유한요소 절점으로 절점의 크기를 작게 하였으며, 블록의 크기는 절점 2을 하나의 블록으로 하여 32×6×10(=1,920)개로 나누었다.

단극-쌍극자 배열 탐사는 전원항의 직상부에 있는 전위전극에서 전위차가 양에서 음으로 변화하는 전이 구

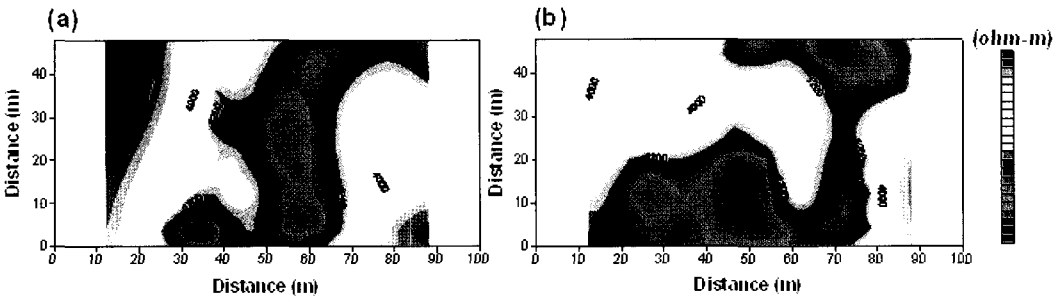

Fig. 6. Resistivity planes reconstructed from the 3D inversion at a depth of 16 m in the B(a) and C(b) areas.

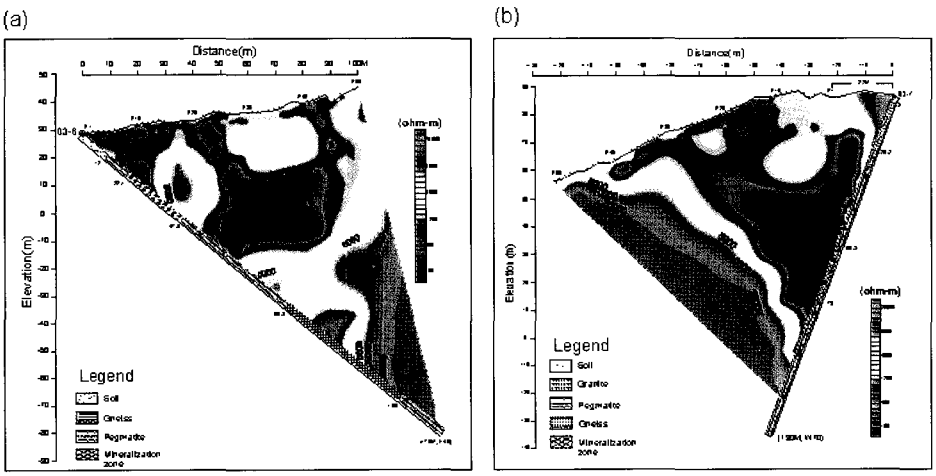

Fig. 7. Comparison between resistivity sections reconstructed from the 3D inversion including topographic effect and logging data for boreholes 03-6 in the B area (a) and 03-7 in the C area (b).

간이 있다. 전이 구간에서의 측정 값은 상당히 작은 값이며, S/N 비도 불안정하다. 그러므로 본 연구에서는 전이 구간에 속하는 전위전극을 음의 값으로 하여 역산 과정에서 제외시켜 결과를 얻었다.

Fig.6은 B와 C지역에서 16m 심도에 대한 전기비저항 영상도이다. 광화대는 두 지역 모두 N10°~20°E 방향을 보였으며, 광맥의 폭이 약 30 m 정도이다. C지역은 광화대 구간에 모암인 편마암체가 서로 혼재하여 있는 영상을 보였다.

Fig.7은 지표에서 슐럼버져, 웨너, 쌍극자 배열 및 시추공(03-6과 03-7)-지표에서 단극-쌍극자 배열 탐사로 얻어진 역산 결과에 대한 단면도이다. 03-6호공의 단면도에서 광화대는 측선 거리 40m 지점인 지표에서 심도 20m까지 약 10m의 폭으로 300ohm-m 이하의 전기비저항 영상을 보였으며, 60°~70°의 경사를 나타났다. 이러한 영상은 하부로 가면서 20×35m의 넓은 폭을 보이므로 이 지점에서 고 품위의 광화대가 있을 것으로 추정된다. 또한 지표부터 심도 40m 지점은 1,000ohm-m 이하의 전기비저항 영상이 거의 수직으로 경사시추공의 단면까지 연장되었으며, 시추공 심도 105.0~125.0m 구간과 연결된다. 03-7호공의 단면도는 300ohm-m 이하로 보이는 광화대가 하부로부터 관입하여 지표로 연장된 영상이다. 그러나 지표 부근은 모암인 편마암과 광화대가 혼재되어 있는 영상으로 매우 넓은 폭을 보이고 있다. 즉, 광화대로 추정되는 전기비저항 영상은 지표에서 넓은 폭을 갖고 하부로 가면서 폭이 감소하는 경향을 보였으며, 시추 자료에서 제시된 광화대 구간과 매우 일치된 것으로 나타났다.

Guo et al.(1999)가 제시한 금광상에 대하여 여러 방법의 물리 탐사에 대한 결과를 비교하여 보면, 자력 탐사는 광화대 구조의 윤곽을 파악하는데 유리한 반면, 전기비저항 탐사는 금을 함유한 석영맥의 연장된 심도 및 위치를 결정하는데 매우 효과적인 것으로 제시하였다. 또한 전기검층에서는 금 품위가 평균 12g/t 이상인 지역에서 낮은 전기비저항 값과 급격히 변화하는 포텐셜 값을 보였으며, 이러한 지역은 금을 함유한 변질대 및 석영맥이 주로 분포한다.

삼보광산에서 시추 자료와 전기비저항 영상을 비교하여 보면, 03-6호공의 광화대는 시추 자료에서 시추공 심도 96.8~150.0m 구간이다. 이들 심도에서 128.5~135.5m 구간은 금이 0.05~10.9g/t 이하와 은이 0.05~389g/t 이하이며, 나머지 구간은 금·은 모두 0.05g/t 이하이다. 즉, 광화대 구간의 분석 품위 차이는 광화대가 연약대를 따라 관입하면서 모암의 반응 및 열수의 분포의 차이에 따라 유화광물의 품위가 다르게 나타난 것으로 판단된다. 시추공 심도 60.0~65.0m 부근은 시추 자료에서 편마암 지역으로 나타났으나 300ohm-m 이하의 낮은 전기비저항 값을 보였다. 이러한 이유는 시추 자료에서 광화대 구간이 발견되지 않았지만 시추공 주변에 고 품위의 광화대가 존재하기 때문에 시추공까지 낮은 전기비저항 영상이 나타난 것으로 추정된다. 시추 자료에서 제시된 광화대 구간에 대한 전기비저항 영상은 시추공 심도 105.0~125.0m 구간에 약 1,000ohm-m 이하의 값, 시추공 심도 125.0~150.0m 구간에 10,000 ohm-m 이상의 값을 보였다. 03-7호공에서 광화대는 시추 자료에서 시추공 심도 56.8~78.0m 구간으로 금·은에 대한 분석 품위가 0.05g/t 이하로 나타났다. 전기비저항 영상은 광화대가 하부에서 발달되어 파쇄대 및 연약대를 따라 지표까지 연장되어 나타난 것으로 300ohm-m 이하의 전기비저항 값을 보였다. 광화대 구간은 시추 자료에서 저 품위의 광화대로 나타났으나 75.0~80.0m 구간에 파쇄대, 광화대 및 페그마타이트가 혼재되어 있는 연약대로 나타났으며, 연약대 주변에 고 품위의 광화대 협재되어 있어 낮은 전기비저항 값을 보인 것으로 판단된다.

삼보광산에서의 전기비저항 영상은 시추 자료에서 제시된 분석 품위가 일반적으로 저 품위를 나타냈으나 부분적으로 금·은광화작용으로 인하여 고 품위의 광화대와 연약대가 시추공 주변에 분포할 것으로 판단된다. 본 연구에서 고 품위의 광화대는 300ohm-m 이하의 전기비저항 값을 보인 반면, 모암인 편마암체는 10,000ohm-m 이상의 값으로 나타났다.

토 의

광역 조사지역에서 3차원 전기비저항 영상은 광화대가 시발점으로부터 연약대를 따라 열수로 충전하여 N45°E와 N10°~20°E 방향으로 나누어져 관입한 것으로 나타났다. N10°~20°E의 방향을 갖는 광화대는 지표부터 약 80m 심도까지 30m의 폭을 보이며, 240m 연장되었다. 이러한 연장성은 측선 6과 7에서 동·서 방향으로 발달되는 연약대와 연결성을 보이는 것으로 추정된다. 즉, 광화대의 연장성은 갱내에서 관찰된 단층 및 습곡 구조와 합쳐지면서 그 연장성이 사라지는 것으로 판단된다.

정밀 조사지역에서의 3차원 전기비저항 역산은 지표에서 쌍극자, 슐럼버져 및 웨너 배열과 시추공-지표에서

단극-쌍극자 배열 탐사 자료를 복합적으로 이용하여 결과를 도출하였다. 전기비저항 영상은 Fig.6에서 5개 측선의 측정 자료를 이용하여 3차원 역산 결과에 대한 영상으로 측선 사이에 존재하는 이상대의 구분을 파악할 수 있는 반면, Fig.7에서 1개의 측선에 대한 자료를 가지고 3차원 역산으로 단면화 한 영상이다.

정밀 조사지역에서 전기비저항 영상은 Fig. 6에서 광화대가 B와 C 지역 모두 N10°~20°E 방향이며, 폭이 약 30m 정도로 광역 조사지역과 일치하는 경향으로 나타났다. C지역은 B지역보다 광화대의 시발점에 가까운 지점으로 광화대 구간이 다소 넓은 폭을 보였으며, 모암인 편마암체가 서로 혼재하여 있는 영상으로 나타났다.

03-6호공에서 광화대는 300ohm-m 이하의 전기비저항 값을 갖고 지표에서 심도 20m까지 약 10m의 폭으로 60°~70°의 경사를 보이며, 심도 20~40m에서 약 35m의 폭으로 괴상의 형태를 보이며, 심도 40m 이하에서 약 10m의 폭을 갖고 거의 수직으로 경사시추공 단면까지 연장되어 시추공 심도 105.0~125.0m 구간과 연결되어 있는 영상이다. 03-7호공에서 광화대는 하부에서 발달되어 파쇄대 및 연약대를 따라 지표까지 연장되어 나타난 영상으로 광화대 구간에서 300ohm-m 이하의 전기비저항 값을 보였다. 이러한 영상은 하부에서 좁은 폭을 가지며 상부로 가면서 폭이 증가하는 경향을 보였으며, 시추자료와 매우 일치된 것으로 나타났다.

시추 자료와 전기비저항 영상을 비교하여 보면, 03-6호공의 광화대는 시추 자료에서 시추공 심도 96.8~150.0m 구간이다. 이 구간에서의 광화대는 연약대를 따라 관입하면서 모암의 반응 및 열수의 분포에 따른 유화광물의 품위가 다르게 나타나기 때문에 구간별의 분석 품위가 다르게 나타난 것으로 추정된다. 그러므로 시추 자료에서 제시된 광화대 구간의 전기비저항 영상은 시추공 심도 105.0~125.0m 구간에 약 1,000ohm-m 이하의 값, 시추공 심도 125.0~150.0m 구간에 10,000ohm-m 이상의 값을 보였다. 시추공 심도 60.0~65.0m 부근은 시추 자료에서 편마암체로 확인되었지만 그 부근에 매우 낮은 전기비저항 값을 보였다. 이러한 이유는 시추 자료에서 광화대 구간이 발견되지 않았지만 시추공 주변에 고 품위의 광화대가 존재하기 때문에 시추공까지 낮은 전기비저항 영상이 나타난 것으로 추정할 수 있다. 03-7 호공의 광화대는 시추 자료에서 시추공 심도 56.8~78.0m 구간으로 분석 품위가 저 품위로 확인되었다. 그러나 광화대 구간에서 300ohm-m 이하의 전기비저항 값을 나타난 이유는 75.0~80.0m 구간에 파쇄대, 광화대 및 페그마타이트가 혼재되어 있는 연약대 구간이며, 시추공 주변에 고 품위의 광화대 및 연약대가 많이 분포하고 있는 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 전라남도 무안군 해제면에 위치한 삼보광산에서 전기비저항 탐사를 이용하여 모암내에 존재하는 함금은석영맥의 분포와 연약대 등의 지질구조를 파악하고자 하였다.

연구 지역에서 추정되는 광화대는 N10°~20°E의 방향을 갖고 지표부터 약 80m 심도까지 30m의 폭으로 240m 연장되었으며, 그 연장성은 동·서 방향으로 발달되는 단층 및 습곡 구조와 같은 연약대와 합쳐지면서 사라지는 것으로 판단된다. 복합적 배열 탐사방법을 이용한 정밀 조사지역에서의 전기비저항 영상은 광화대의 방향 및 폭이 광역 조사지역과 일치하는 것으로 나타났다. 광화대의 영상은 전반적으로 보면 Fig.7(b)에서 하부로부터 관입한 광화대가 N10°~20°E의 방향을 갖는 연약대를 따라 발달되며, Fig.7(a)에서 지표 부근으로 연장된 것으로 추정된다. 본 연구 지역에서의 광화대는 Guo et al.(1999)가 전기검층에서 제시한 전기비저항 값과 비교하여 보면 300ohm-m 이하의 전기비저항 값으로 나타난 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

대한광업진흥공사(KORES), 2003, 정밀조사보고서(금속광; 무안지구).

박종오, 김희준, 송무영, 2004, 지형효과를 포함한 3차원 전기비저항 역산, 대한지질공학회지, 14, 21-28.

박천영, 윤정환, 박영석, 1989, 광양금은광상의 성인에 관한 연구, 한국자원공학회지, 26, 249-263.

송영수, 채효석, 이강석, 정승환, 이현구, 윤혜수, 1993, 유도분극, 전기비저항, VLF 전자탐사법을 이용한 벤토나이트 광상탐사 연구, 한국자원공학회지, 30, 102-107.

유영준, 김정호, 유인걸, 2004, 삼보광산 금광화대에 대한 전기탐사 반응, 물리탐사, 7, 217-224

유인걸, 1998, 맥상 황화광체에 대한 전기 및 전자탐사 반응, 물리탐사, 1, 110-115.

Constable, S. C., Parker, R. L., and Constable, C. G., 1987, Occam's inversion : A practical logarithm for generating smooth models from electromagnetic

sounding data, Geophysics, 52, 289-300.
deGroot-Hedlin, C. D. and Constable, C., 1990, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, Geophysics, 55, 1613-1624.
Guo, W., Dentith, M. C., Xu, J., and Ren, F., 1999, Geophysical expolation for gold in Gansu Province, China, Exploration Geophysics, 30, 76-82.
Lines, L. R. and Treitel, S., 1984, Tutorial: A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems, Geophys. Prosp., 32, 159-186.
Oldenburg, D. W., Li, Y., and Farquharson, C. G., Kowalczyk, P., Aravanis, T., King, A., Zhang, P., and Watts, A., 1998, Applications of geophysical inversions in mineral exploration, The Leading Edge, 17, 461-465.
Oppliger, G. L., 1984, Three-dimensional terrain corrections for mise-a-la-masse and magnetometric resistivity surveys, Geophysics, 49, 1718-1729.
Petrick, W. R., Sill, W. R., and Ward, S. H., 1981, Three-dimensional resistivity inversion using alpha center, Geophysics, 46, 1148-1162.
Tikhonov, A. N. and Arsenin, V. Y., 1977, Solutions to Ill-Posed Problems, John Wiley and Sons Inc.

투 고 일 2004년 11월 21일
심 사 일 2004년 11월 23일
심사완료일 2005년 3월 9일

박종오
(주)드림이엔지
314-200 대전광역시 동구 용전동 13-25 두루넷 B/D 3층
Tel : 042-639-3900
Fax : 042-639-3904
E-mail : jopark@dju.ac.kr

김희준
부경대학교 환경탐사공학과
608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1
Tel : 051-620-6231
E-mail : hejkim@pknu.ac.kr

송무영
충남대학교 지구환경공학과
305-764 대전광역시 유성구 궁동 220
Tel : 042-821-6423
Fax : 042-821-6421
E-mail : mysong@cnu.ac.kr

유영준
대한광업진흥공사 국내탐사팀
156-706 서울특별시 동작구 신대방동 686-48
Tel : 02-840-5747
Fax : 02-833-0565
Email : yjyou@kores.or.kr