

연구논문

삼보광산 금 광화대에 대한 전기탐사 반응

유영준¹⁾ · 유인걸¹⁾ · 김정호²⁾

Electrical Responses on the Auriferous Mineralized Zone in Sambo Mine

Youngjune You¹⁾, In-Kol Yoo¹⁾ and Jung-Ho Kim²⁾

요 약 : 전남 무안군 해제면 입수리 소재 삼보광산에서 편마암류 또는 유문암내에 열극을 충전한 함금은 광상을 대상으로 지표에서 자연전위탐사와 전기비저항탐사를, 경사 시추공을 이용한 시추공대 지표 비저항 토모그래피 탐사를 실시하였다. 광상은 함금은 석영맥으로 모암 내에는 황철석 등의 황화광물이 광염상으로 배태되기도 한다. 탐사 결과 전기적 이상 반응으로 보아 광화대는 N5W 방향으로 폭 20~30 m, 길이 약 360 m 정도 발달하며, 토모그래피 단면상 지표하 심도 40~50 m 깊이에 폭 20 m 규모의 이상반응이 확인되었다.

주요어 : 자연전위탐사, 전기비저항탐사, 경사시추공, 비저항토모그래피탐사, 금 광화대

Abstract : Self-potential and electrical resistivity methods were conducted for locating the auriferous mineralized zone, called Jija Vein, of Sambo mine, Limsu-ri, Haeje-myeon, Muahn-gun, Jeollanam-do. The host rocks of the mineralization include gneiss, rhyolite and felsic dyke. Ore vein is mainly fissured-filling type and sulfide minerals, such as pyrite, are disseminated in country rock. By the electrical responses from SP and surface resistivity methods., the mineralized zone is supposed to extend about 360 m directed N5W with the width of 20 m to 30 m. From resistivity tomograms using inclined borehole to surface, the ore body shape is interpreted as the width of 20 m in depth 40 m to 50 m.

Keywords : self-potential, electrical resistivity, inclined borehole, hole-to-surface resistivity tomography, auriferous mineralized zone

서 언

전남 무안군 해제면 입수리에 소재하는 삼보광산에서 열극 충전형 맥상형 광체의 노두에서 지표 및 시추공 물리탐사를 실시하였다. 삼보광산은 산성화산암류를 모암으로 하는 화산성 천열수 광염상 형태의 저품위 금은 광상이 부존될 수 있는 지역으로 그 가능성이 제시되어 망운지적 133, 134, 144호 3개 광구에 대하여 정밀지질조사가 시행되었다(대한광업진흥공사, 2003).

전도성 물질인 유화광물을 포함한 광화대에서는 일반적으로 전기전도도와 전기화학적 특성이 주변의 모암과 물리적 성질이 다르므로 전기·전자탐사를 적용하고 있다(유인걸, 1998). 본 조사지역에서는 전도성 맥상형 광체의 발달방향과 연장성과 관련된 단열구조를 파악하고자 지표에서 자연전위(self-potential; SP)탐사, VLF 전자탐사 및 전기비저항 쌍극자 탐사, 그리고 광체의 발달규모와 위치를 파악하고자 경사 시추공을 이용한 비저항 토모그래피 탐사를 실시하였다.

지질 및 광상

지질은 시대미상의 편마암류를 기반암으로 하여 후기에 이를 관입한 유문암과 암맥류로 구성된다(Fig. 1). 유문암 및 암맥류는 중생대 백악기 불국사통의 화산활동 결과 생성된 것으로 사료된다. 편마암류는 암상에 따라 메타테틱편마암, 호상편마암, 백운모화강암질편마암으로 구분되며 조사지역 전반에 걸쳐 분포하고 있다. 유문암은 N10W~N10E 방향으로 능선을 따라 정상지점까지 발달하고 있으며 편마암류를 관입하였으며 지표 부근에서는 풍화작용을 받아 도석화되었다. 유문암의 폭은 30 m 내외, 연장 200 m 정도로 60~80SE 경사를 보인다. 암맥류는 담회색~회색을 띠는 규장암맥, 안삼암맥, 염기성암맥으로 분류된다. 규장암맥은 석영, 장석, 백운모 및 견운모 등의 구성광물을 보이고 있다. 조사구역내에 발달하는 지질구조로는 소규모 단층이 수조 확인되며 N5~10E 주향과 60~80SE의 경사를 보인다.

광상은 편마암류 및 유문암내 열극을 충전하여 형성된 열극 충전광상으로 함금은석영맥인 지자맥이 노두 및 갱도 등에서

*2004년 7월 8일 접수

1) 대한광업진흥공사 자원탐사처

2) 한국지질자원연구원 지반탐사연구실

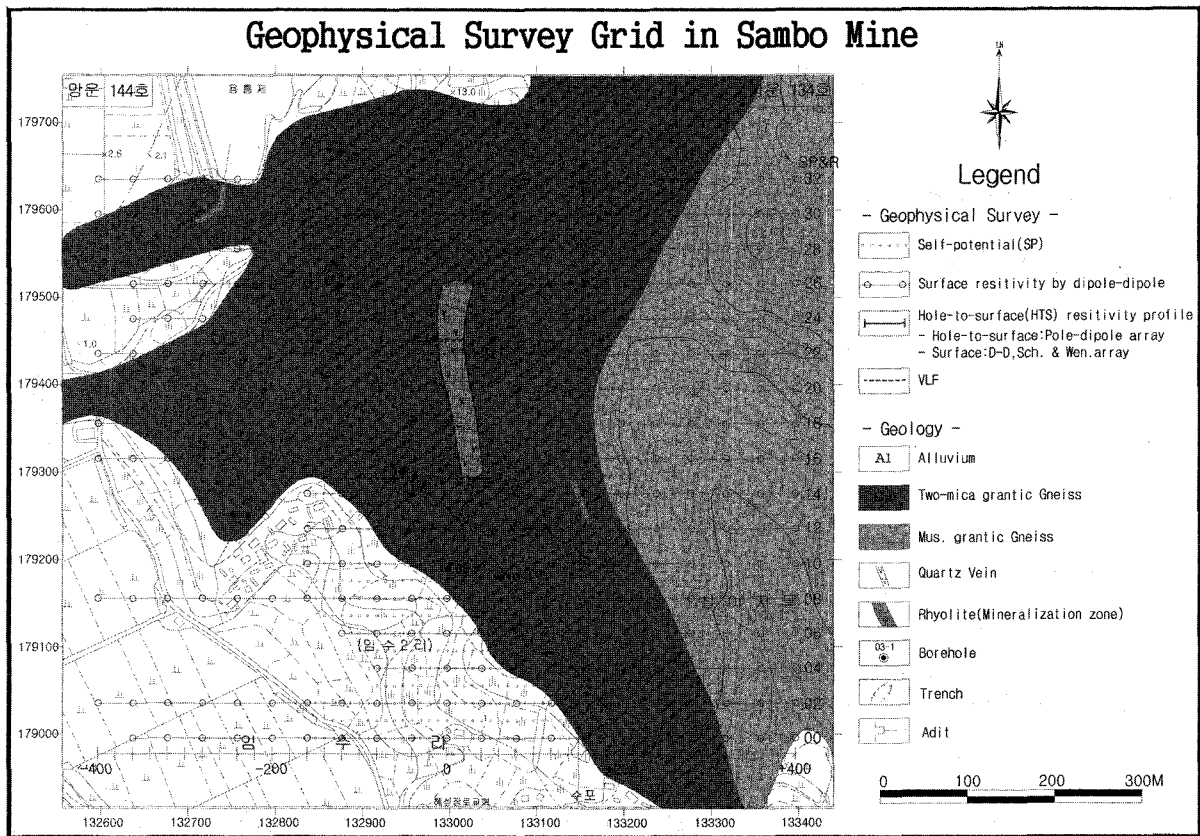


Fig. 1. Geological and geophysical profile map of survey area (Limsu-ri, Haeje-myeon, Muahn-gun, Jeonnam).

확인되며 이들 맥은 대체로 NS~10E 계열의 주향과 60~80E 경사를 보인다. 맥폭은 2~3 m에 이르기도 하며 100 m의 연장성을 보이는 석영세맥이다. 유화광물로는 황철석, 적철석 등이 소량-미량 수반되고 황철석내에는 국부적으로 미립-세립의 에렉트럼이 수반되기도 한다. 본맥의 노두 및 갱내의 시료를 분석한 결과 품위는 Au < 0.05~550 g/t, Ag < 0.05~369 g/t로 나타나 부분적으로 금은광화작용이 인지된다.

물리탐사

탐사조건 및 자료취득

본 조사지역은 지표지질 및 갱내조사, 시추조사 결과, 지하맥의 지질구조적인 방향이 대체로 남북으로 발달하기 때문에 800×700 m의 조사구역에서 지표탐사의 측선방향은 이에 직교하게 동서로 설정하였다. 현장에 적용된 탐사방법과 전극배열은 Fig. 2(a)와 같이 조사지역 전체에 대하여 지표에 격자망으로 배열된 측점을 이용하여 전위진폭법으로 자연전위, 쌍극자 배열로 전기비저항 탐사를 수행하였다. 금번의 주된 조사대상인 지하맥과 관련된 유문암 분포 지역에서 암맥내에 배태하는 금은광상 부존여부를 파악코자 시공된 시추공 03-6, 03-7호공에서 동서방향으로 설정한 측선의 지표에 설치된 전극을 이용하여 쌍극자 배열, 슬럼버저 배열, 웨너 배열에 의한 전기비

저항 탐사, 그리고 이 측선을 따라 VLF탐사를 수행하였다. 또한 단극-쌍극자 배열법으로 지표탐사를 위해 설치된 전극을 전위전극, 시추공에 전류전극을 설치하여 시추공-지표(Hole-To-Surface; 이하 'HTS'라고 함) 전극배열의 비저항 토모그래피 탐사를 수행하였다. 여기서 HTS 전극배열 탐사를 적용한 시추공 03-6호공은 170 m 깊이까지 동측으로 40° 각도, 03-7호공은 130 m 깊이까지 서측으로 70° 각도로 경사지게 시공되었다.

본 조사지역에 적용된 탐사방법별 측정조건, 조사물량, 탐사대상지역은 Table 1과 같다. 기선(base line)과 시추공 위치, HTS 배열의 지표전극 측정점 등 주요 위치에 대한 좌표는 GPS 장비를 이용하여 측량하였다. 현장조사 시기는 지표 탐사를 4~5월, 시추공 탐사를 7월에 시행하였다.

지표탐사

(1) 자연전위 탐사

조사구역 450×700 m에서 측정간격 10 m, 측선간격 20 m로 1,493점에서 측정하였으며 각 측정점마다 측선과 측정점을 SP-##로 기재하여 표식지로 표시하였다. 조사측선의 수는 총 35개이고 측선길이는 450 m이며 부분적으로 측정이 불가능한 위치는 제외하였다. 본 탐사는 과거 채굴경도와 정상에서 확인된 지하맥의 북측 또는 남측 방향으로의 연장상태를 파악하여

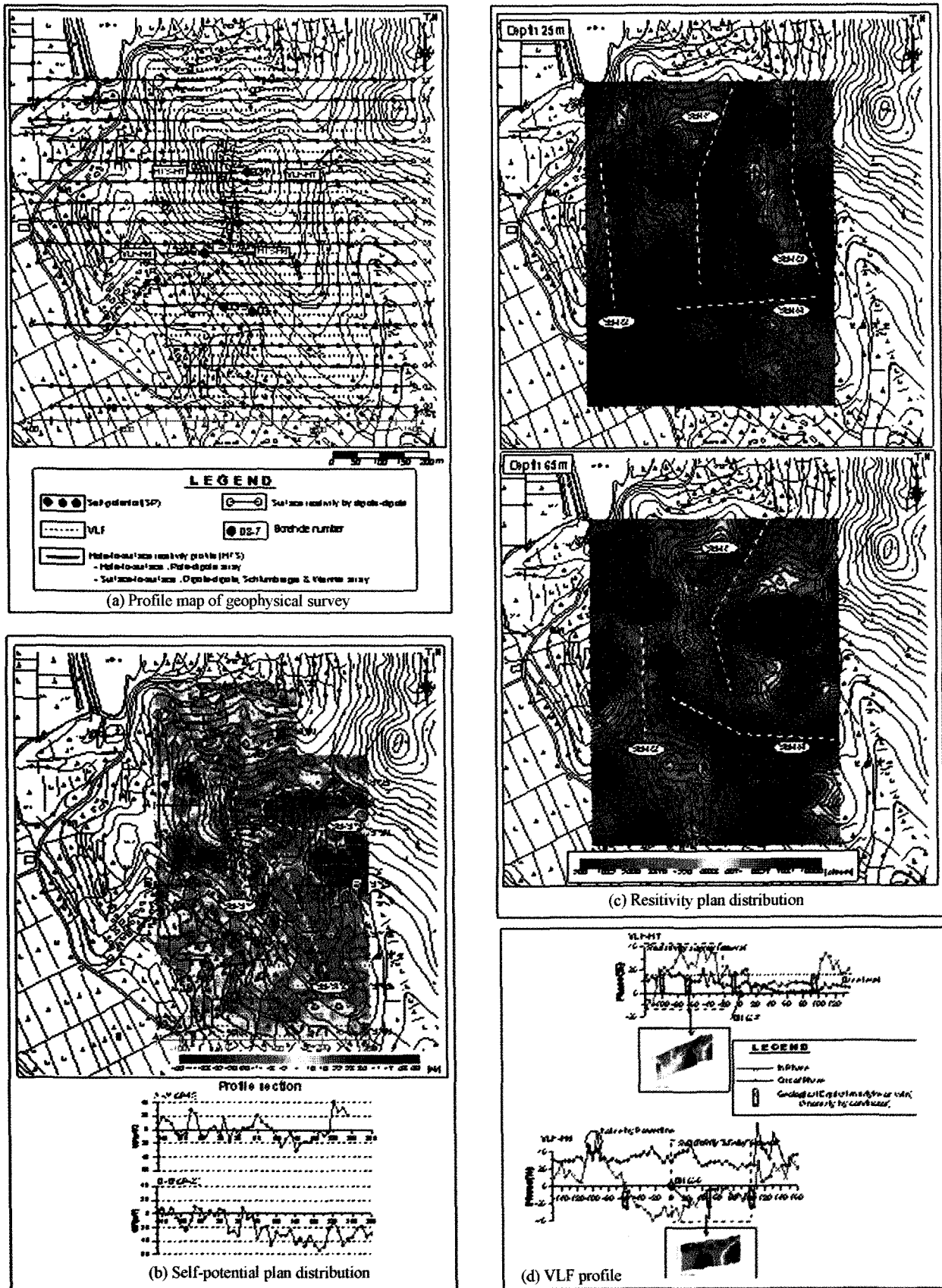


Fig. 2. Result maps of SP, resistivity plan distribution by dipole-dipole array and VLF profiles.

Table 1. Survey methods, electrode array and measurement conditions applied to survey area.

Method	Measurement conditions
Self-potential	1,493 points to grid array (spacing 10×20 m) by potential amplitude
Surface electrical resistivity	
Dipole-dipole array	17 profiles by electrode spacing 40 m 4 profiles by electrode spacing 2 m & 4 m at borehole 03-6,7
Wenner & Schlumberger array	2 profiles by electrode spacing 2 m at borehole 03-6,7
Hole-to-surface resistivity tomography	
Pole-dipole array	C ₁ =borehole, C ₂ =remote, P ₁ , P ₂ =surface (electrode spacing 2 m) Where, depth range 18~166 m (C ₁ spacing = 4 m) at borehole 03-6 and depth range 23~117 m (C ₁ spacing = 2 m) at borehole 03-7.

보고자 실시하였다. Fig. 2(b)에 도시한 것처럼 탐사결과 자연전위 측정값의 기록은 최대 66 mV, 최소 -56 mV, 총 122 mV 이다. 본 조사지역의 경우 유화광물 등 전도성 물질에 의한 영향을 반영하는 -10 mV 이하의 부전위 이상대는 SB-SP1~SB-SP3 등 전체 3개소에서 확인되었다.

부전위 이상대 SB-SP1은 지질조사에서 확인된 지자맥의 발달방향과 일치하는 부전위 이상대로서 이의 분포 방향은 지자맥을 따라 SP14의 +30 지점에서 N10W 방향과 측점 SP22의 0 m에서 N25W 방향으로 SP33의 -120 m 지점까지 이다. 측점 SP22의 0 m에서 N20E 방향으로 SP25의 +30 m 지점까지, 그리고 SP26의 -40 m에서 N30E 방향으로 SP32의 -40 m 지점으로 분기되어 연장된다.

본 암맥의 남동쪽에 N25W 방향으로 발달하는 부전위 이상대 SB-SP2는 측점 SP6의 +210 m 지점에서 SP16의 +150 m 지점까지이며 측선 SP-13의 +150 m 지점에 분포하는 석영맥과 같은 방향성을 보이고 있다. 이 부전위 이상대는 지표지질조사에서는 확인되지 않았으나 유화광물 등 전도성 물질이 산포상(dissemination)으로 분포될 가능성이 있다. 부전위 이상대 SB-SP3는 전위값 -30 ~ -50 mV 범위로 비교적 넓은 지역에 걸쳐 분포하는데 본 조사구역중 가장 낮은 값을 보인다. 지표지질 조사에서는 지표에 표토층으로 피복되어 있어 모두로 확인할 수는 없지만 자연전위 값 분포를 볼 때 전도성 매질이 분포할 것으로 판단된다.

시추공 03-6, 03-7호공을 통과한 자연전위 측선에 대한 단면은 평면도 하단에 도시하였다. 여기서 03-6호공은 SP-15 측선, 03-7호공은 SP-23 측선이다. 측선 SP-15 단면(A-A')의 경우 암맥을 통과하는 측정거리 +20 m ~ +50 m 사이에서는 -10 mV 내외로 미약한 부전위를 보이고 측정거리 +100 ~ +190 m 사이에서 -30 mV의 값을 보이며 이는 부전위 이상대 SB-SP2와 접하는 지점이다. 그리고 측선 SP-23 단면(B-B')의 경우 암맥 통과 부분인 측정거리 -10 ~ +20 m 사이에서 -30 mV의 부전위를 보이고 측정거리 +50 ~ +300 m 사이에서 -50 mV 이하의 가장 낮은 부전위를 나타내며 이는 SB-SP3의 부전위 이상대이다.

따라서 본 조사지역의 자연전위 탐사결과에 의한 부전위 이

상대는 SB-SP1~SB-SP3 등 3개소이다. 이중 지자맥과 관련된 부전위 이상대는 SB-SP1으로 해석되며, 지질조사에서 확인된 지자맥의 남측 경계부에서의 연장 가능성은 희박한 것으로 판단되나 북측으로는 암맥 경계부에서 N25W, N20E~N30E 방향으로 연장 발달된 것으로 해석된다. 이 부전위 이상대는 비교적 작은 -10 ~ -30 mV 내외의 값을 보이므로 전도성 유화광물의 농집정도는 그리 크지 않은 것으로 추정된다. 그리고 부전위 이상대 SB-SP2는 지표지질조사에서 석영맥이 확인되었지만 전도성 물질인 유화광물의 분포여부는 명확하지 않다. 그리고 SB-SP3도 지표지질조사에서 유화광물등이 확인되지는 않았으나 본 조사지역에서 가장 큰 부전위 이상대를 보이는 것으로 보아 향후 전도성 광화대 부존 여부 파악을 위해 시추조사나 트랜치 조사 등이 요망된다.

(2) 전기비저항탐사

조사지역의 전체에 대하여 비저항 분포를 파악하고자 쌍극자 배열로 전극 및 측선 간격 40 m, 측선 길이 800 m로 하여 총 17개 측선을 실시하였다. 여기서 모든 측점은 SP 탐사 측정점과 일치하며, 일부의 측선은 주택 등 건축물의 장애로 측선 길이를 연장시키지 못한 측선도 있다. 측선명은 R-D##이고 측선번호는 SP 탐사의 번호와 일치한다(Fig. 2(a)).

측선도에 도시한 Fig. 2(a)에서 각각의 측선별로 현장자료를 취득하여 겹보기 비저항값을 계산하고, 지형보정을 가미한 2차원 비저항 지하구조로부터 이론적인 겹보기 비저항을 계산하여 비저항분포 영상단면을 작성하였다. 이때 2차원 비저항 지하구조 단면에 대하여 지자맥과 관련된 지질구조의 연장방향성을 해석하고자 지표로부터 심도 5 m, 25 m, 65 m, 125 m, 180 m에서의 등비저항 평면분포도를 작성하였다. 이들중 심도 25 m, 65 m에 대한 것은 Fig. 2(c)에 도시하였다. 여기서 도시한 등비저항 분포 영상도면에서 비저항치가 1,000 Ω-m 이하는 청색계통, 1,000~2,000 Ω-m 사이는 녹색계통, 2,000~3,000 Ω-m 사이는 황색계통, 3,000 Ω-m 이상은 적색계통으로 채색하였다.

조사대상인 지자맥은 유문암내에 발달하는 열극을 따라 관입한 석영세맥이므로 이 유문암 내에 지하수를 함양하고 있거

나 유화광물 등 전도성 광물이 포함하고 있을 경우 전기전도도가 높아 주변의 모암 보다 저비저항치가 낮게 분포하게 된다. 따라서 본 탐사의 결과에서는 저비저항치 1,000 Ω·m 이하의 저비저항 이상대로부터 지자맥과 관련된 전도성 매질의 지질구조적 환경을 해석할 것이다. 그리고 지질조사로부터 확인된 지자맥은 구 갱구부와 조사지역의 정상부에서 확인되고 있으나 이들의 남북 방향으로의 연장성은 지표에 표도층으로 피복되어 있어 확인되지 않고 있으므로 본 탐사법을 이용하여 지자맥의 남북방향 및 지하 심부로의 연장성과 발달 규모를 해석할 것이다.

Fig. 2(c)에 도시한 그림은 지표로부터 심도 25 m, 65 m의 경우이며 저비저항치 1,000 Ω·m 이하의 저비저항 이상대는 SB-R#으로 표시하였다. 이 그림에서 중간 좌측 하단부의 저비저항대는 과거에 서해바다의 연안지역을 간척한 지역과 접해있어 해수 침투에 의한 잔류염분이 침전되어 발생한 것으로 해석되어 광상과 관련된 이상대는 아니며, 이는 심도 25 m 하부에서는 저비저항대의 발달이 미약하다. 따라서, 도면에 표시한 바와 같이 전도성 매질의 지질구조적 환경과 관련된 저비저항 이상대는 전체 4개소로 해석된다.

저비저항 이상대중 지표지질조사에서 확인된 지자맥과 관련된 저비저항 이상대는 SB-R1이다. Fig. 2(c)에 나타난 심도 25 m의 평면도를 보면 SB-R1은 구 갱구부 주변인 축점 R-D14의 +20 m 지점에서 N5W, 정상부인 축점 R-D22의 0 m 지점에서 N25E 방향으로 축선 R-D32까지 발달하고 있다. 또한 이 저비저항 이상대의 심부 연장성을 알아보기 위해 작성한 지표로부터 심도 65 m에서의 등비저항 분포도에서도 잘 발달하고 있다. 그리고 그 하부의 심도인 125 m에서의 등비저항 분포 평면도에서는 미약해지고 있으나 저비저항대의 발달 방향은 어느 정도 유지하고 있다. 또한 03-6, 03-7호공에서 광화대 구간의 상하반 심도를 지표로부터 수직심도로 환산할 때 03-6호공은 심도 62~96 m, 03-7호공은 53~73 m이며 저비저항 이상대 SB-R1과 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서 저비저항치 1,000 Ω·m 이하의 저비저항 이상대 SB-R1은 지자맥 관련 전도성 광화대로 판단되고 심도는 지표로부터 65 m 하부까지 발달하며, 저비저항 이상대의 폭 20~30 m를 갖고 남북방향으로 약 360 m 정도의 길이로 연장되고 있다.

저비저항 이상대 SB-R2, SB-R3는 N10~20W 방향이고 SB-R4는 축선 D10~D12 사이에서 동서방향으로 저비저항 이상대를 보인다. 여기서 저비저항 이상대 SB-R3, SB-R4는 항공사진으로부터 분석된 선구조와 일치하고 있으므로 암반 파쇄대 등 전도성 매질의 단열구조와 관련된 것으로 해석된다. 한편 SB-R2는 항공사진이나 지질조사로부터 선구조는 확인되지 않았지만 지형적으로 계곡부인 점을 생각할 때 이 역시 선구조와 관련된 저비저항 분포로 해석된다. 이상대 SB-R4를 제외하고는 심도 65 m 하부에서는 거의 나타나지 않고 있으므로 지하 심부까지의 연장 가능성은 희박하다.

동서방향의 이상대 SB-R4는 본 지역의 다른 이상대 3개소와 비교할 때 가장 깊은 심도 180 m까지 저비저항치 1,000 Ω·m 이하의 저비저항대가 발달하고 있다. 한편 이의 주변에서 시공된 시추공 03-04, 03-05호공의 암추조사 결과 지자맥과 관련된 유문암맥이 착맥되지 않았는데 이는 시공방향이 N75W 방향의 70° 경사공이므로 저비저항 이상대의 위치와 방향이 시추 방향과 일치하지 않고 있으므로 착맥되지 않았을 가능성이 있다. 한편 SB-R4의 저비저항 이상대는 본 조사지역에서 발달하고 있는 유문암맥과 저비저항 이상대의 대체적인 발달방향인 남북방향과 배치되게 동서방향으로 발달하고 있다.

따라서 본 조사지역 전체의 저비저항 분포로부터 해석되는 저비저항 이상대는 4개소이며 이들의 방향은 대체로 남북방향으로 3개소, 동서방향으로 1개소이다. 이들 중 지자맥과 관련된 저비저항 이상대는 SB-R1이고 그 이상대의 폭은 20~30 m 정도이며 발달길이는 축선 D14에서 D32까지 약 360 m이며, 이는 지표로부터 65 m 하부까지 연장되어 나타난다. 그리고 SB-R2, R3, R4는 선구조와 관련된 저비저항 이상대로 해석되며 SB-R2, R3의 발달심도는 지표로부터 심도 65 m 이내로 판단된다. 이중 SB-R4는 동서방향으로 심도 180 m까지 저비저항 이상대가 발달하고 있으며 항공사진에서 판독된 선구조와 관련된 것으로 해석되나 주변 모암과의 저비저항치를 대비할 때 저비저항 이상대의 규모가 비교적 크므로 향후 전도성 광화대의 부존여부를 파악하기 위한 탐광 조사가 요망된다.

(3) 시추공 03-6,7호공 주변에서 VLF 탐사

Fig. 2(d)는 시추공 03-6, 03-7호공을 중심으로 하여 동서방향인 양쪽에서 축점간격 5 m로 각각 1개 축선씩 2개 축선의 VLF 탐사를 실시한 결과 도면이다. 이 그림의 하단에 도시한 VLF-H6는 시추공 03-6호공에서 실시한 결과로 선구조 등의 지질구조를 반영하는 동상성분의 영점 교차점은 축점 -60 m, +50 m, +100 m 등 3개소이다. 이들 중 본 축선상에서 실시한 쌍극자 탐사구간의 결과 도면에서 저비저항 이상대와 비교할 때 축점 +50 m 지점의 영점 교차점과 일치한다. 전도체의 상태를 반영하는 이상성분은 영점교차점이 발생하지 않는 것으로 보아 전도성이 양호한 지질구조는 아닌 것으로 해석된다. 상단에 도시한 VLF-H7은 시추공 03-7호공의 동서방향에서 측정된 결과이며 동상성분의 base level을 17%로 할 때 영점 교차점은 축점 -85 m, -50 m, +15 m, +115 m 등 4개소로 해석된다. 여기에서도 쌍극자 배열 탐사결과 도면과 비교할 때 저비저항 이상대가 나타나는 구간에서의 영점교차점은 -50 m 지점이다. 본 지역에서의 전도체의 폭은 대략 30 m 정도로 추정할 때 본 도면에는 도시하지 않았지만 축점 간격을 10 m로 할 때에는 자료의 부족으로 영점 교차점 해석에 어려움이 있었다. VLF 탐사시 대상체의 폭을 고려한 축점간격을 설정해야 한다. 본 조사결과 전도성 매질과 관련된 선구조는 3개소로 해석되며 그들의 방향은 대체로 남북방향이다. 특히

VLF-H6의 측정 +50 m, VLF-H7의 -50 m 지점의 영점교차점은 탐사 대상체인 암맥과 직접적으로 연관된 것으로 해석된다.

경사 시추공 비저항 토모그래피 탐사

(1) 탐사원리, 자료취득 및 처리

토모그래피 탐사는 하나의 시추공에 송신원인 전류전극을 위치시키고, 다른 하나의 시추공에서 수신점인 전위전극을 이동시키면서 지하매질의 전기전도도의 함수인 전위를 측정한다. 또한 전류, 전위전극은 본 지역에 적용된 탐사법과 같이 시추공-지표(hole-to-surface; HTS)에 배열하여 측정할 수 있다.

일반적으로 비저항토모그래피 탐사의 전극배열은 단극 배열, 단극-쌍극자 배열, 쌍극자 배열이며 후자 쪽의 배열로 갈수록 지하구조의 분해능이 양호한 것으로 분석되었다(김정호 등, 1997; 조인기 등, 1997). 그러나 현장 측정자료의 S/N비는 후자 쪽으로 갈수록 낮아진다. 본 조사에 적용된 단극-쌍극자 배열은 전극의 위치에 따라서는 전류전극에 의한 1차 전위차(primary potential difference)가 0에 가까운 사각지대(blind zone) 영역이 존재하며, 이 영역에서는 겉보기 비저항이 발산하여 음의 값을 나타내기도 한다. 이는 시추공간 전기비저항 탐사의 경우 전류전극에 의한 1차 전기장의 방향과 측정하는 총 전기장의 방향이 서로 다르기 때문에 나타나는 현상으로 이를 겉보기 비저항 자료로 변환하여 토모그래피 역산을 수행하는 경우 심각한 문제가 야기될 수 있다. 이러한 사각지대는 전류, 전위 전극사이의 거리가 가장 근접된 경우에 발생한다.

본 탐사지역은 시추공번 03-6, 03-7호공이며, 시추공에 전류전극(C₁), 지표에 전위전극(P₁, P₂)을 설치하는 시추공-지표(HTS)에 전극을 설치하고 단극-쌍극자 배열에 의해 자료를 얻었다. 한편 시추공내 전위전극, 지표에 전류전극을 설치하여 얻는 역방향 자료와 시추공내에 전류, 전위전극을 설치하여 얻는 동일 시추공(in-line) 자료는 취득하지 못했으므로 지표에 설치된 전극을 이용하여 다양한 전극배열의 자료를 취득하여 탐사자료 역산시 모두 이용하였다. 원거리 접지 전류전극(C₂)은 조사지역의 최대 전극간격 10배 이상 정도의 거리에 설치하였다.

시추공 03-6호공을 이용한 탐사자료는 시추공에 전류전극을 침도 18~166 m까지 4 m 간격으로 38 지점에서 전류를 송신하고 각 지점에 대하여 지표에 2 m 간격으로 50개의 전위전극을 설치하여 49개 측정에서의 전위차를 측정하였다(Fig. 3(a)). 그리고 마찬가지로 03-7호공에서는 침도 23~115 m까지 2 m 간격으로 47개 지점에서 전류를 송신하고 지표에 51개 전위전극을 설치하여 50개 측정에서 전위차를 측정하였다(Fig. 3(b)).

단극-쌍극자 배열의 경우 원거리 전류전극(remote current electrode)인 C₂=∞이므로 거리계수는 $K = 2\pi/(1/C_1P_1 - 1/C_1P_2)$ 이다. 이 배열법은 전술한 바와 같이 단극 배열법 보다는 분해능이 좋지만 측정되는 전위차가 상당히 낮은 영역이 존재하게 되어 계산된 겉보기 비저항 값이 수천 Ω·m 이상 발산하

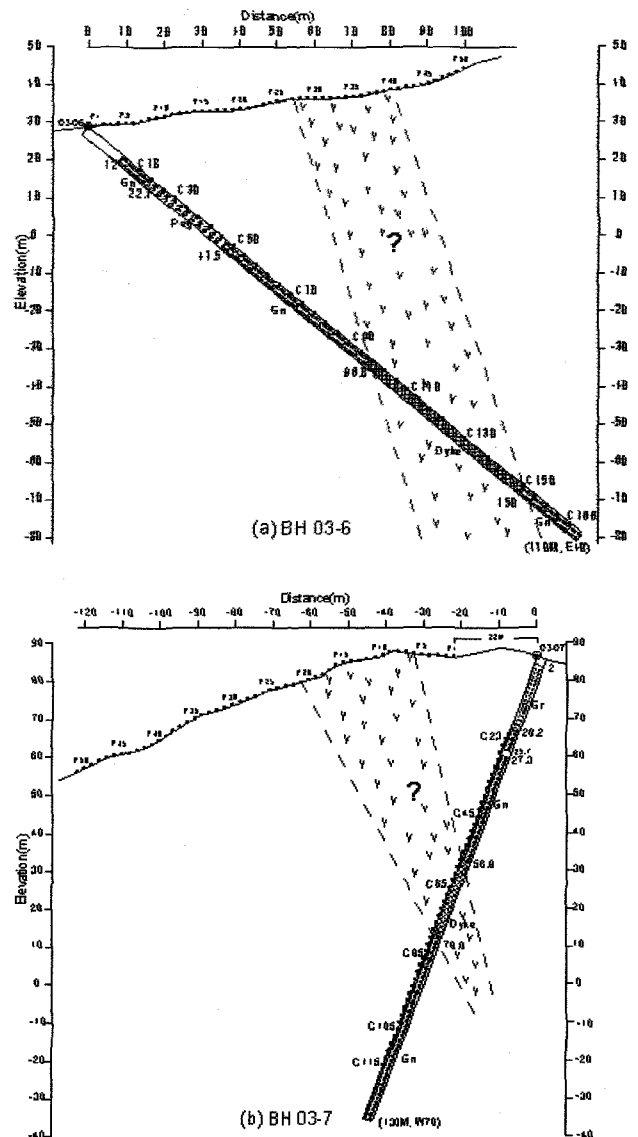


Fig. 3. Data acquisition sections of resistivity tomography and core logs (C₁ = borehole, C₂ = remote, P₁P₂ = surface).

는 영역이 존재하며 또한 음의 겉보기 비저항치로 계산되기도 한다.

본 조사지역과 같이 HTS 전극배열 비저항 탐사에서 시추공이 경사되어 있는 경우 상기의 식에서 C₁P₁이 C₁P₂ 보다 클 경우 K가 음의 값을 나타내게 되며, 현장 측정값도 음의 전위값이 측정되어 겉보기 비저항치는 양의 값을 갖게 된다. 그러나 전류 송신점과 전위 수신점이 가장 가까워지는 위치인 음에서 양 또는 양에서 음으로 변하는 전이구간(transition zone), 즉 C₁P₁과 C₁P₂가 거리의 차가 매우 작아지는 경우 측정되는 전위차가 상당히 작아지게 되어 S/N비가 낮아 불안정하고, 거리계수 K 값은 매우 커지게 되어 겉보기비저항치가 수천 Ω·m 이상, 심지어는 수만 Ω·m까지 발산하므로 자료해석에서 편 집과정을 거쳐 제외시켰다. 또한 이러한 측정점 주변에서는 S/N비가 낮아지게 되어 겉보기비저항치가 음의 값을 보이기도

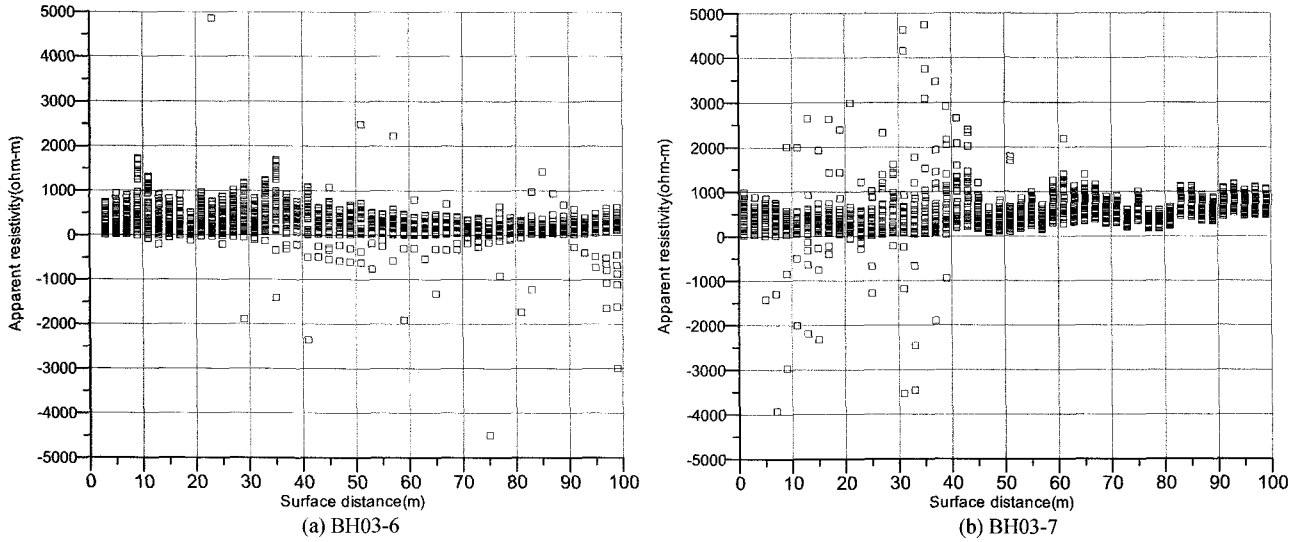


Fig. 4. Apparent resistivity distribution according to offsets of potential electrodes on surface by resistivity tomography survey.

한다. Fig. 4를 보면 이들의 겉보기비저항치가 발산하는 측정점과 음의 값을 제외하고는 매우 안정된 값을 보여주므로 자료 편집을 하였다.

탐사자료 처리는 Tomo DC(김정호, 2003)를 이용하였으며, 지하구조 해상도를 높이기 위해 수치역산에 입력된 자료는 지표에서 수행한 쌍극자 배열, 웨너 배열, 슬럼버저 배열 현장 탐사자료와 시추공-지표(HTS)에서의 단극-쌍극자 토모그래피 현장 탐사자료, 그리고 지표에 설치된 각 전극의 지형 고도자료이다.

(2) 탐사결과

지표에 설치된 전극 위치에 대한 지형정보를 포함하여 데이터를 처리하였으며, Tx(송신점) 또는 Rx(수신점) gathering을 통하여 겉보기비저항치의 발산자료를 제거하였다. 전술한 바와 같이 Fig. 5는 시추공 03-6,7호공에서 지표 탐사 자료, HTS 전극배열의 탐사 자료 등 모든 현장자료를 종합하여 해석한 비저항 분포 영상단면이다.

Fig. 5(a)는 시추공 03-6호공에서 얻은 모든 탐사자료를 종합하여 처리한 2차원 비저항 영상단면이다. 본 토모그램과 암

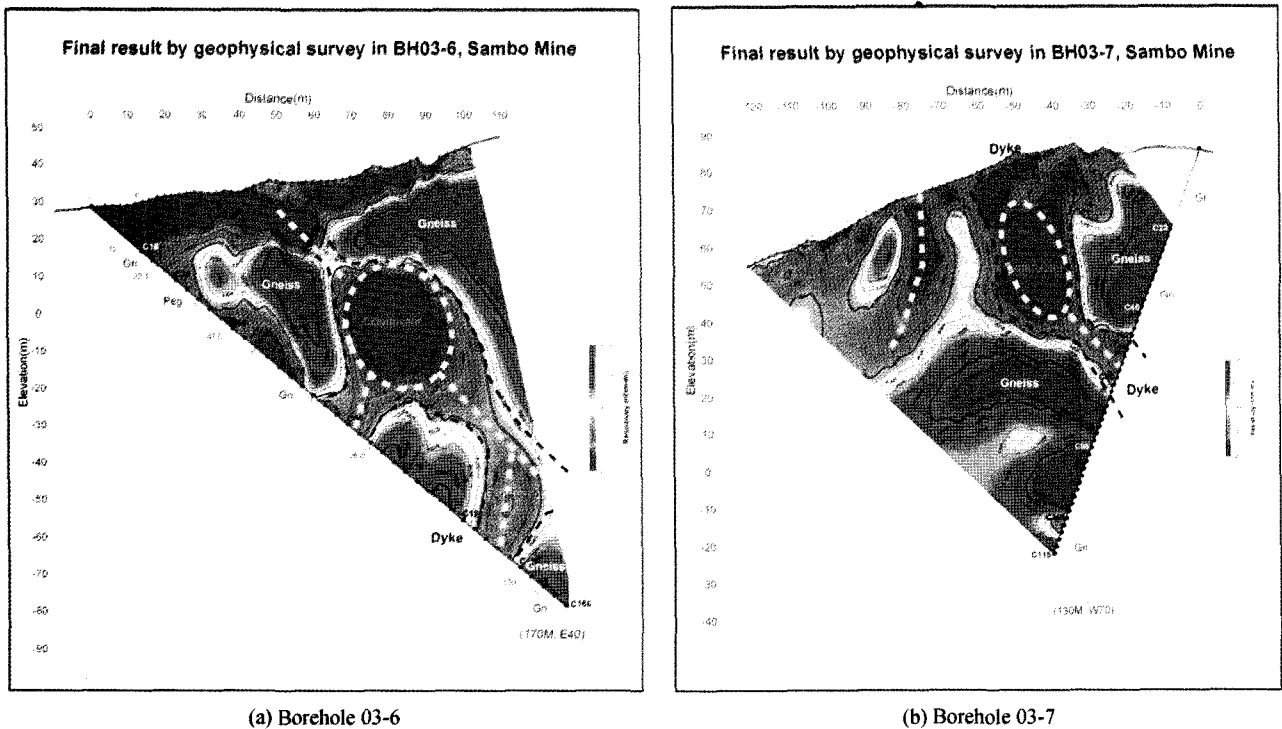


Fig. 5. Resistivity tomograms by hole-to-surface array.

추조사 자료를 비교한 결과, 비저항치 500 Ω -m 이하의 청색계통의 저비저항 이상대는 지표부근의 10여 미터 두께로 표토층, 풍화대이다. 그리고, 측정거리 60~90 m 하부의 고도 10 ~ -20 ML 사이의 비저항치 200 Ω -m 이하의 뚜렷한 원형 상의 저비저항대 분포 구간은 유화광물 등에 의한 전도성 매질의 지자맥으로, 이는 하부로 더 연장 발달 할 것으로 판단된다. 한편 시추심도 97~130 m 구간은 유문암맥의 착맥구간이나 괴상의 암질로 전도성 물질인 유화광물이 육안으로 관찰되지 않으므로 2000 Ω -m 이상의 고비저항대를 나타내는 것 같다. 그리고 측정거리 51 m 하부와 측정거리 60~100 m 사이의 하부에 발달하고 있는 고비저항대는 편마암류이며 절리나 균열의 발달이 낮은 괴상의 암질로 해석된다.

Fig. 5(b)는 시추공 03-7호공에서 시추공 03-6과 같이 모든 탐사자료를 종합하여 처리한 2차원 비저항 영상단면이다. 본 토모그램과 압추자료를 비교할 때 압추자료에서 광화대인 지자맥 구간에서는 저비저항대, 편마암류 구간에서는 고비저항대가 분포하는 등 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 전체적인 비저항 분포로부터 압추조사 자료에서 구성하고 있는 지층과 대비한 결과, 비저항치 500 Ω -m 이하의 청색계통의 저비저항 이상대는 지표부근에 수 미터 두께의 표토층, 풍화대이다. 측정거리 -35 ~ -60 m 하부의 고도 40 ML까지 비저항치 200 Ω -m 이하의 낮은 값을 보이다가 시추심도 53~69 m 사이의 유문암맥으로 연결되어 분포하는 것으로 보아 전도성 매질의 암맥으로 판단된다. 또한 측정 -75 m에서 하부로 연장되는 저비저항 이상대는 암반 파쇄대에 의한 선구조 등으로 추정된다. 비저항치 2000 Ω -m 이상의 적색계통 고비저항대는 측정거리 -10 ~ -55 m 사이의 하부에서 고도 35 ML 까지, 고도 30 ML 하부에 분포하며 편마암류로 해석된다.

따라서 본 비저항 토모그램 단면에서 유화광물 등을 포함한 전도성 광체로 판단되는 구간은 비저항치 200 Ω -m 이하이며 03-6호공의 경우 지표 측정 80 m 하부의 고도 0 ML, 03-7호공의 경우 -45 m 하부의 고도 55 ML에서 부존될 것으로 판단되어 향후 시추조사에 의한 광체탐사가 요망된다.

탐사결과 및 고찰

본 광산에 분포하는 지자맥의 발달방향과 규모를 파악하고자 지표에서 실시한 자연전위 이상대는 SB-SP1이고, 남측으로의 연장 가능성은 희박하나 북측으로는 암맥 경계부에서 N25W, N20E~N30E 방향으로 연장된다. SB-SP2와 SB-SP3는 지표지질조사에서 유화광물등이 확인되지는 않았다. 그리고 전기비저항 저비저항 이상대는 4개소이며 이들의 방향은 대체로 남북방향으로 3개소, 동서방향으로 1개소이며, 지자맥과 관련된 저비저항 이상대는 SB-R1으로 N5W 방향으로 폭 20~30 m, 발달길이 약 360 m, 지표로부터 심도 65 m 하부까지 연장된다. SB-R2, R3, R4는 선구조와 관련된 저비저항 이상대

로 해석되며 특히 SB-R4는 동서방향으로 심도 180 m까지 저비저항 이상대가 발달하며 주변 모암과의 비저항치를 대비할 때 저비저항 이상대의 규모가 매우 크다. 따라서 지자맥은 지질조사에서 확인된 남측 경계부에서는 연장되지 않으나 북측 경계부에서는 연장되어 발달하고 있다.

시추공 03-6, 03-7호공에 동서방향으로 설정한 측선에서의 정밀 비저항 탐사결과, 전도성 광체인 지자맥에 의한 저비저항 이상대는 03-6호공의 측선(HTS-H6; R-D14와 D16)에서 지표 측정 36~48 m, 03-7호공 측선(HTS-H7; R-D22와 D24)에서 측정 -54 ~ -72 m이며, 지표로부터 심도 약 30 m 두께로 해석된다. 경사 시추공-지표(HTS)에서의 비저항 토모그래피 탐사결과, 압추조사 자료에서 착맥된 광화대 구간중 전도성 매질에 의한 저비저항 분포는 비저항치 200 Ω -m 이하이며, 03-6호공의 경우 지표 측정 80 m 하부의 고도 0 ML, 03-7호공의 경우 지표 측정 -45 m 하부의 고도 55 ML에서 분포한다.

결론

전남 무안군 해제면 입수리 소재 삼보광산에서 물리탐사를 실시하였다. 조사지역의 지질은 시대미상의 편마암류 및 이를 관입한 중생대 백악기 유문암, 암맥류로 구성된다. 광상은 편마암류 및 유문암내에 열극으로 충전하여 형성된 열극충전광으로 함유은석영세맥인 지자맥이 분포하며 이는 주로 산성 화산암인 유문암을 모암으로 하여 황철석 등의 황화광물이 광염상으로 배태되거나 일부 맥상의 광체를 형성하고 있다.

탐사 대상체인 지자맥으로 해석되는 전기적 이상 반응은 지표에서 수행한 자연전위 탐사와 전기비저항탐사 결과에 의하면 N5W 방향으로 폭 20~30 m, 발달길이 약 360 m, 지표로부터 심도 약 65 m에 까지 연장된다. 그리고 본 지자맥을 대상으로 시공된 경사 시추공 삼보 03-6, 03-7호공을 이용한 시추공-지표(HTS) 비저항 토모그래피 탐사 결과 지표로부터 40~50 m 깊이에 폭 20 m 규모의 전도성 광화대가 부존될 것으로 해석되었다.

참고문헌

- 김정호, 이명중, 조성준, 정승환, 송윤호, 1997, 전기, 전자 탐사법에 의한 지하 영상화 기술 연구 - 전기비저항 토모그래피의 분해능 향상에 관한 연구, 한국자원연구소 KR-97(C), 3-54.
 김정호, 2003, Tomo DC V1.0, 한국지질자원연구.
 대한광업진흥공사, 2003, 삼보광산 기술조사보고서(미발간).
 대한광업진흥공사, 2003, 무안지구 정밀조사 보고서, 73 p.
 유인걸, 1998, 맥상 황화광체에 대한 전기 및 전자탐사 반응, 물리탐사, 1, 110-115.
 조인기, 정승환, 김정호, 송윤호, 1997, 전기비저항 토모그래피에서의 전극배열 비교, 자원공학회지, 34, 18-26.