

맥상 황화광체에 대한 전기 및 전자탐사 반응

유 인 결¹⁾

Electrical and VLF EM Responses for Conductive Dipping Dyke

Yoo, In-Kol

요 약 : 전도성 황화광체의 탐사에는 현장작업의 편이성과 저렴한 조사 경비 및 성과의 신뢰성으로 자연전위탐사, VLF 전자탐사 및 전기비저항 쌍극자탐사법이 많이 사용되어 왔다. 금번 탐사는 전라북도 진안군 부귀면에 소재 하는 장금 광산의 맥상의 노두 광체를 대상으로 맥상 황화광체에 대한 물리탐사 탐사 반응을 검토하고 이를 시추탐사 결과와 대비, 고찰하여 보았다. 조사지역 부근의 지질은 유천층군의 퇴적암류와 산성 화산암류로 구성되며 광상은 광염상 또는 맥상으로 황철석, 자류철석 및 방연석 등의 황화광물이 배대된다. 이들 맥상 광체에 의한 전형적인 이상대가 각각 포착되었는데, 자연전위탐사 결과 광체는 등전위선 분포가 조밀하고 전위 경도가 큰 쪽으로 경사지며, VLF 전자탐사 결과 광체의 부존 범위와 잘 일치되며 서쪽으로 경사지는 광체에 의한 반응임이 확인되었다. 쌍극자 전기비저항탐사 결과 역시 서쪽으로 경사지는 광체에 의한 반응이 확인되었다. 이에 대한 시추탐사 결과 광체는 주향 방향으로 약 50 m 연장되며 약 70°W 경사를 가진 맥상 광체임이 밝혀졌다.

Abstract : Self-potential, VLF-EM and dipole-dipole resistivity methods have been widely used for exploration of conductive sulfide ore deposit, because of the convenience and low cost of field work and the reliability of their results. The geophysical responses for vein-type sulfide outcrop of Changkoom mine located in Bukwi-Myon, Jinan-Gun, Chollabuk-Do were investigated and compared with its drilling results. The geology around the survey area is composed of acidic volcanics and sediments of Yuchon Group. And sulfides bearing pyrite, pyrrhotite, galena etc. are deposited in disseminated or vein type within acidic volcanics. Typical geophysical responses were detected from the above vein type ore body, respectively. From the shape and extent of S.P. anomaly, ore body is dipping westward and extending about 50 m. It is detected that the VLF EM response matching the outline of ore zone is considered as indication of dyke dipping westward. And also resistivity response indicating conductive dipping dyke is detected. From drilling results for outcrop and geophysical anomalies, the shape of ore body is vein type dipping about 70°W and extending about 50 m.

Keywords : S.P., VLF-EM, Resistivity, sulfide ore deposit, conductive dipping dyke

서 언

지질 및 광상

전라북도 진안군 부귀면 황금리에 소재 하는 장금 광산의 맥상 유화광체의 노두 부근에서 실시된 물리탐사 결과에 대하여 고찰하였다(Fig. 1). 장금 광산은 산성화산암류를 모암으로 화산성 천열수 광염상 형태의 저품위 금은 광상이 부존될 수 있는 지역으로 그 가능성이 제시되어 정밀 지질조사가 시행되었다. 물리탐사는 일반적으로 현장작업의 편이성과 저렴한 조사 경비 및 성과의 신뢰성으로 전도성 황화광체의 탐사에 많이 적용되는 자연전위탐사, VLF 전자탐사 및 전기비저항 쌍극자탐사법을 적용하였으며 장금 광산의 노두광체를 대상으로 이들 황화광체에 대한 물리탐사 탐사 반응을 검토하고 시추탐사 결과와 대비하였다. 본 탐사 결과는 대한광업진흥공사에서 '90, '91 연도에 시행된 기본조사 결과의 일부를 발췌한 것이다.

조사지역 주변의 지질은 경상계 상부 유천층군에 해당되는 퇴적암류와 산성화산암류로 구성된다(Fig. 2). 퇴적암류는 알코스 사암, 역질 사암이 호층을 이루고 흑색 셰일이 협재되기도 한다. 알코스 사암은 갈색을 띠는 세립질 암으로서 역을 함유하여 역질 사암으로 변하기도 한다. 셰일은 대부분 혼펠스화 되어 있으며 화산암류 내에 포획암체로 잔존되어 층리의 변화가 심하다.

산성화산암류는 유문암질 석영 안산암, 석영 안산암, 석영 반암, 화강반암, 규장암 및 유문암으로 구성되며 주로 규장암, 석영반암, 유문암 등이 서로 교호하여 분포되어 있다. 규장암은 담회 내지 유백색의 치밀암으로서 미립의 석영, 장석과 소량의 운모로 구성되며 석영반암은 규장암질 기질에 석영반정을 함유하여 나타난다. 유문암은 angular-surrounded한

*1998년 8월 3일 접수

1) 대한광업진흥공사(Korea Resources Corporation)

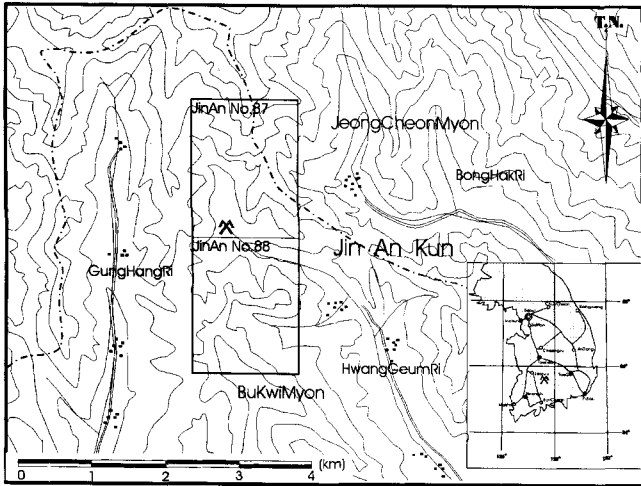


Fig. 1. Locality map of ChangKoom mine.

화산회 각력을 함유한다.

진안지적 88호 광구 북서단에 북동-남서 방향으로 발달된 계곡 주위에 소량의 금, 은을 함유한 광화대가 발달되는데 주로 산성화산암류를 모암으로 하여 황철석, 자류철석 및 소량의 방연석이 함유되어 있다. 황화광물은 퇴적암과의 경계부에서 미립으로 농집된 양상으로 광염 되어 있으며 화산암류 내에서는 주로 세립의 황철석, 자류철석이 산포된 양상을 보여 일반적인 금은 광상과는 달리 석영맥이나 기타 구조선의 발달이 거의 인지되지 않는다. 산성 화산암류 내에는 황철석이 광범위하게 분포되어 미량이나마 금은 광화가 인지되며 퇴적암류와 화산암류와의 경계부에서 화산암류는 건운모화, 녹니석화 등의 열수변질 작용을 받은 상태로 광화대는 일종의 반암동 형태의 광상을 이루고 있는 것으로 볼 수 있다.

본 광화대 지역 지표에서 채취된 시료들의 품위는 Au; ND-1.5 g/T, Ag; ND-62 g/T, Pb; Tr-0.22%, Zn; 0.01-0.93%, Cu; Tr-0.07% 이었다.

물리탐사

자료 취득

진안 88호 광구 북서단에 북동-남서 방향으로 발달된 계곡 주위에 나타나는 소량의 금, 은을 함유한 광화대가 발달되는데 이는 NS 계열의 소규모 구조선과 연관되어 황철석, 자류철석 등의 황화광물이 배태되어 검붉은 산화대를 형성하고 있으며 이들 광체를 대상으로 한 소규모의 시굴적이 확인되고 있다. 따라서 이를 중심으로 20 m×10 m의 격자망을 형성하여 자연전위탐사(self potential method)와 VLF 전자탐사를 실시하였다. VLF 송신원은 송신 주파수 22.3 KHz의 호주의 NWC파를 이용하였으며 측정방향(reading direction)은 서측으로 동상 및 이상성분을 측정하였고 상기 노두 광체를 직교하는 축선을 설정, 전극 간격 20 m, 전극전개수 n을 9까지 전개시키는 쌍극자 배열(雙極子配列, dipole-dipole array)에 의

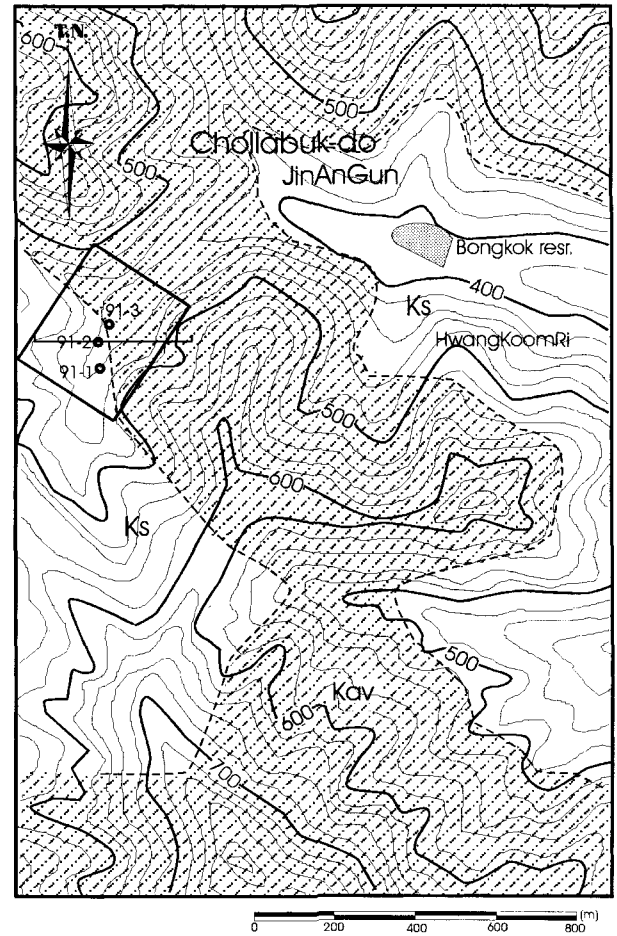


Fig. 2. Geological map of ChangKoom mine. (Ks: Sedimentary rocks, Kav: Acidic volcanics) rectangular means geophysical survey area.

한 전기비저항 탐사를 실시하였다.

사용된 탐사 장비는 자연전위 및 비저항탐사는 ABEM Terrameter Model SAS 300B, VLF 전자탐사기는 Geonics사 EM-16이었다.

탐사결과 해석

자연전위탐사 결과 조사 구역 내에서 측정된 최고 자연 전위치는 +119 mV이고 최저 전위치는 -268 mV로 전체 전위 기복은 387 mV 이었다. 이러한 전위 기복은 일반적인 금속 광상에서 통상적으로 나타나는 전위 변화에 비해 상당히 큰 것으로, 이는 본 지역의 지질적인 특성인 것으로 보이는데 암석에 원천적으로 배태되는 황화광물들의 함량 변화가 암석 자체의 전기전도도 변화를 가져 왔기 때문인 것으로 생각된다. 포착된 자연전위 이상대는 격자상의 측정점(-30, -90)을 중심으로 탐사구역내의 최저 전위치인 -268 mV를 보이면서 남북 방향으로 약 50-60 m 정도 연장 발달되는데 형태상 전위 경도(Potential gradient)가 동측으로는 완만하고 서측으로는 급격한 모양을 띠며 남동측으로 길게 늘어지는 폐곡선

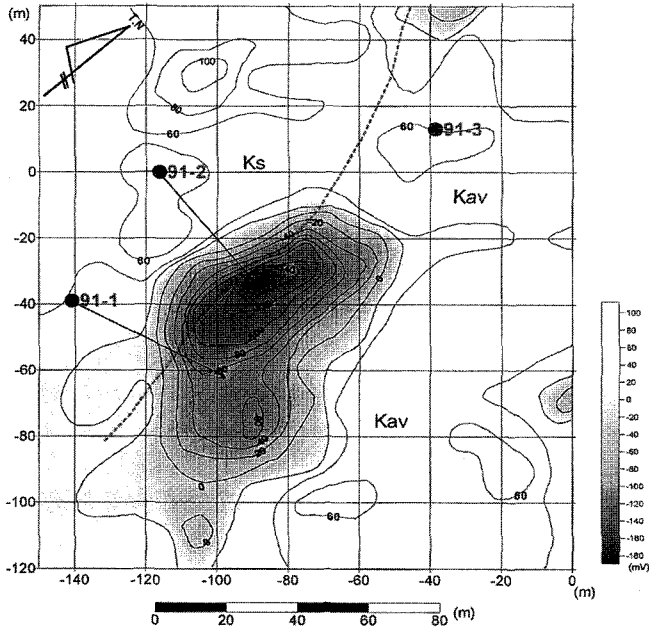


Fig. 3. Self-Potential map of ChangKoom mine. Ks: Sedimentary rocks, Kav: Acidic volcanics

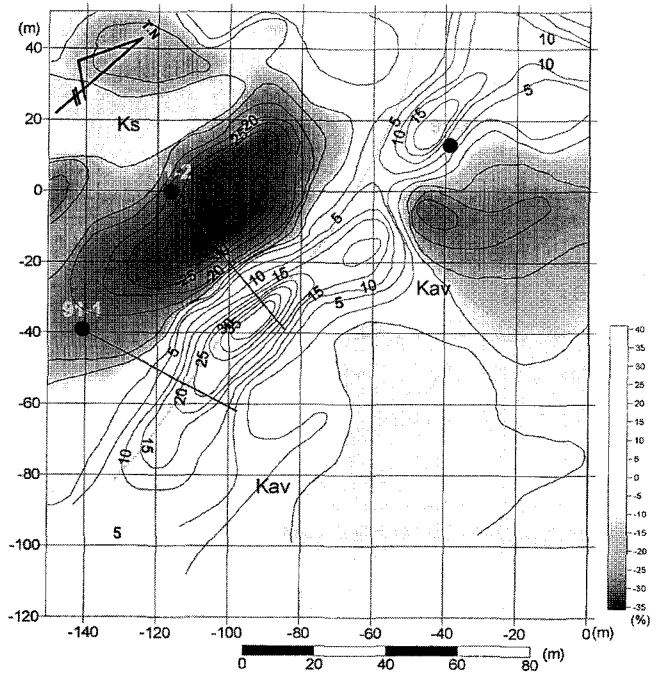


Fig. 4. VLF-EM anomaly map of ChangKoom mine, inphase-component filtered by Fraser Filtering. Ks: Sedimentary rocks, Kav: Acidic volcanics

형태를 이룬다(Fig. 3). 등전위선의 분포 양상과 이상대의 형태로 보아 이상대를 형성시킨 전도체는 전위 경도가 급한 서측으로 경사지는 것으로 추정된다.

한편 이상대의 중심부 부근에는 NS 계열의 폭 0.2 m 정도의 소규모 파쇄대 내에 황철석, 자류철석 등의 황화광물이 배대되어 검붉은 산화대를 형성하고 있으며 이들 광체를 대상으로 한 소규모의 시굴적이 확인되고 있는 바 이들 황화광체가 자연전위 이상대를 형성시킨 지질광상학적인 근거를 제공하고 있다.

VLF 전자탐사는 동상성분에 대하여 Fraser 필터링 처리를 하였다. 자연전위 이상대와 마찬가지로 측정(-30, -90) 부근을 중심으로 양의 이상대(positive VLF EM anomaly)가 폐곡선을 그리면서 남북방향으로 약 50~60 m 정도 대상으로 연장 발달되고 있으며 이의 서측 인접부 측정(-10, -100)을 중심으로 남북방향으로 발달되는 유사한 크기의 폐곡상 음의 이상대(negative VLF EM anomaly)가 수반되고 있다(Fig. 4). 이러한 이상은 음의 전위 이상을 형성시킨 상기 황화광체에 의한 영향인 것으로 판단된다.

측점(-30, -90)을 중심으로 남북방향으로 연장 발달되는 자연전위 및 VLF 이상대를 직교하는 동서 방향의 측선을 설정, 전극 간격을 20 m로 전기비저항 탐사가 수행되었다(Fig. 5). 이 결과, 현장자료의 전기비저항 가단면(Fig. 5-B)에서 거의 수직적인 전도체에 의해 전형적으로 나타나는 대칭적인 바지가랑이 형상(pants-leg shape)의 저비저항 이상대가 측정 38~41을 기준 하여 좌우로 형성되어 있으며 심부로의 연장성이 측선 서측으로 더욱 양호하게 나타나고 있다. 이는 자연전

위 및 전자탐사결과 포착된 이상대를 형성시킨 NS 방향의 소 단층과 이에 배대되는 황화광체에 의한 것임을 알 수 있다.

본 현장 자료에 대하여 수행된 유한차분법에 의한 자동 역산 결과(Fig. 5-D), 측정 35~41의 하부에 천부로부터 서측으로 경사지는 듯한 양상의 진비저항 분포를 보이고 있다. 즉 100 ohm-m에서 1,000 ohm-m 미만의 전기비저항치를 갖는 전도성 매질이 서측에서 급격히 경사지는 양상을 띠며 측정 41 부근에서는 지표로부터 심부로 가면서 전기비저항 압상이 급격히 변하는 모습을 보이고 있다. 이는 단층 파쇄대 등과 같은 구조선이 존재하는 전기구조적 환경(geo-electrical environments)내에 상기 전도성 매질이 부존되는 것으로 서경하는 전도체의 양상을 보인다.

전기비저항 측선을 따라 10 m의 측정 간격으로 VLF 전자탐사가 실시되었다. 이 결과 동상 및 이상 성분 반응 곡선상의 명확한 영점교차점(零點 交叉點, zero cross-over point)을 측정 38 부근에서 볼 수 있다(Fig. 5-A). 영점교차점 부근에서 동상성분의 부호가 서로 다르고 음과 양의 피크가 비대칭인 점으로 미루어 VLF 전자 이상이 서경하는 전도체에 의한 반응임을 알 수 있는 바, 본 지역에서는 이상의 유발체(誘發體)가 상기 황화광체와 관련이 있음을 알 수 있다.

또한 자연전위 음의 이상대에 대한 전위단면상(Fig. 5-A), 이들 노두 광체의 직상부에서 음의 피크를 보이는 전위치를 보이며 이를 기준으로 서측의 전위 경도가 동측보다 큰 모습을 보여주고 있다.

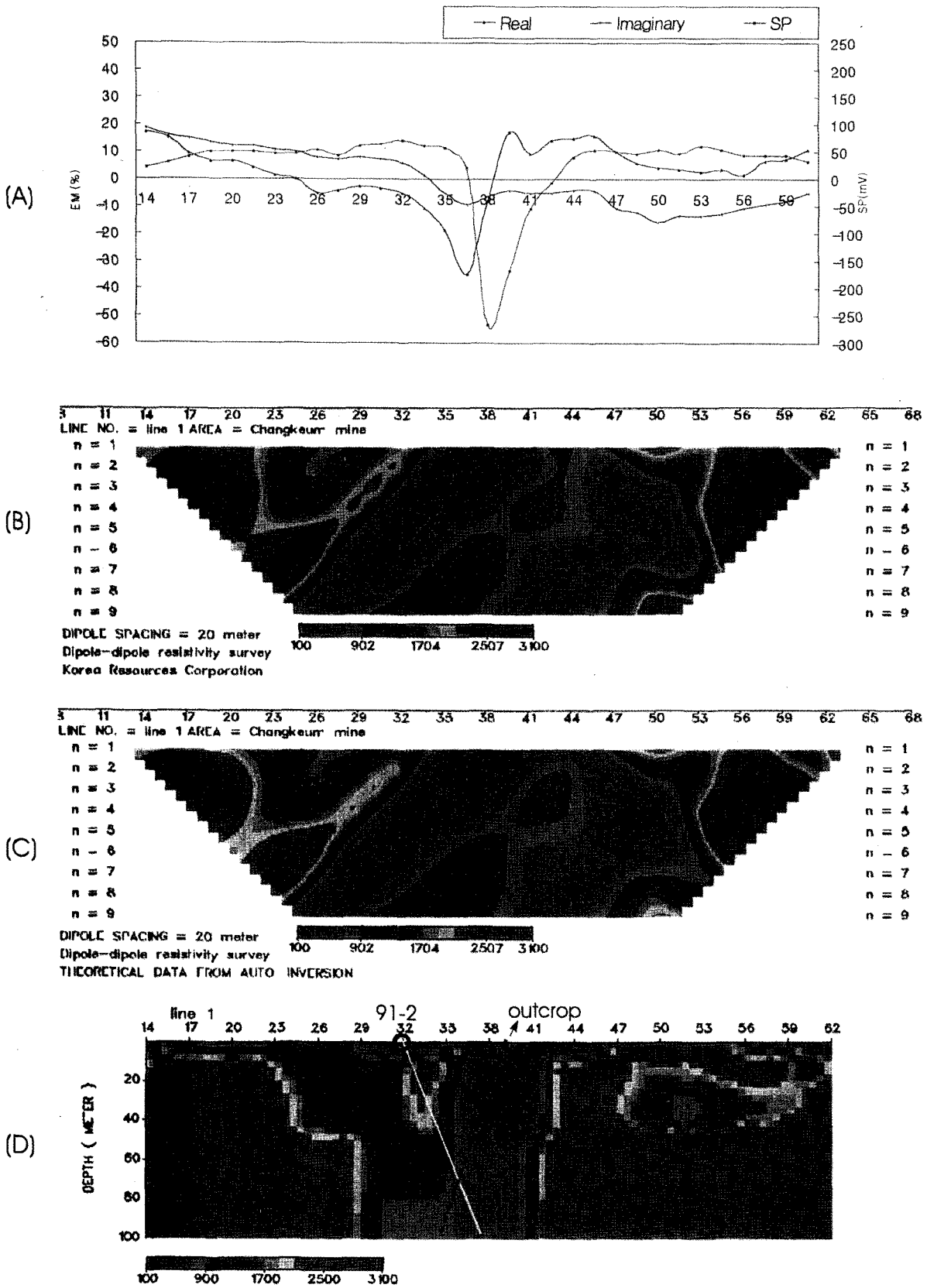


Fig. 5. Integrated geophysical line survey profiles for outcrop of ChangKoom mine. (A) VLF-EM and Self-potential profiles. (B) Dipole-Dipole apparent resistivity pseudo-section of field data. Dipole spacing $a=20$ m. (C) Theoretical apparent resistivity pseudo-section calculated from 2-D inversion model using finite difference method. (D) Theoretical resistivity distribution for model.

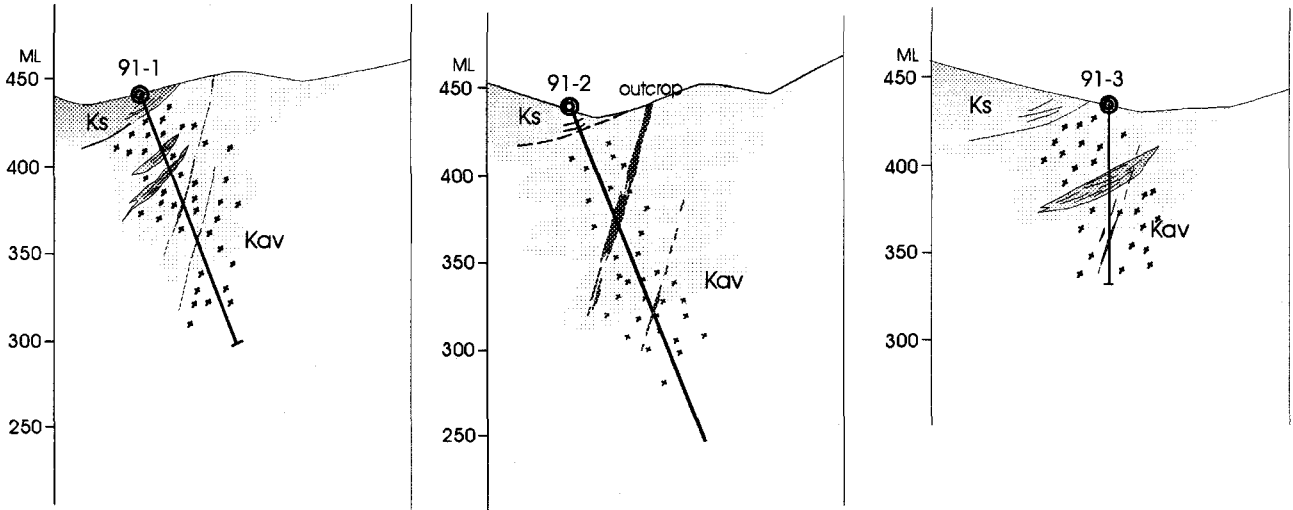


Fig. 6. Sections for drilling results of ChangKoom 91-1, 91-2 and 91-3 drilled for geophysical anomaly, where Ks is sedimentary rocks and Kav is acidic volcanics.

시추탐사

포착된 상기 물리탐사 이상대 원인 규명과 노두광체의 하부 발달상을 파악하여 보고자 3개공에 대한 시추탐사가 수행되었으며 시공결과를 각각 설명하면 다음과 같다(Fig. 6).

장금 91-1호

본 공은 이상대의 남측 연장부에서 이상대의 원인 구멍을 목적으로 N60E 방향 및 70° 경사공으로 시공되었다. 시공 결과 공내에서 나타나는 암석은 사암, 셰일 등의 퇴적암류와 응회암, 유문암질 규장암 등의 화산암류로 구성되며 이들은 서로 호층으로 발달되고 있다. 굴진 심도 59.8~60.3 m(위폭 0.5 m), 63.0~65.3 m(위폭 2.3 m), 84.5~85.0 m(위폭 0.5 m)의 구간에서 자류철석, 황철석, 방연석, 섬아연석 등의 황화광물을 배태하는 3개조의 광체가 착맥되었다.

장금 91-2호

자연전위 및 전자 이상대의 원인 구멍을 목적으로 이상대의 중심부를 대상으로 시공 방향 E, 경사 70°로 시공되었다. 시공 결과 공내지질은 사암, 셰일 등의 퇴적암류 및 응회암으로 구성되며 전체적으로 황철석이 소량 배태되어 있다. 굴진 심도 45.5~46.0 m(위폭 0.5 m), 65.2~70.0 m(위폭 4.8 m) 구간에서 방연석, 섬아연석, 황철석 등의 황화광물을 함유하는 광화대 및 광체가 각각 확인되었으며 이중 하부 구간에서의 착맥 광체가 노두 광체의 연장인 것으로 확인되었다.

장금 91-3호

본 공은 상기 이상대의 북측 연장부에서 수직으로 시공되었다. 시공 결과 공내지질은 응회암 및 사암으로 구성되며 공내 암석에 전반적으로 미립의 황철석이 배태되어 있고 심도

67.2~68.5 m(위폭 1.3 m), 80.7~82.0 m(위폭 1.3 m) 구간에서 황철석 등의 황화광물을 광염상으로 함유하는 광체 및 광화대가 각각 확인되었다. 장금 91-1, 2호 공보다는 광체의 폭 및 품위가 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났다.

결과 및 고찰

조사 지역에 대한 시추 결과 장금 91-2호 공에서는 방연석, 섬아연석, 황철석 등의 황화광체가 위폭 4.8 m의 비교적 양호한 맥폭을 보이고 품위도 대체로 양호한 것으로 나타났으나 장금 91-2호 공에서는 위폭이 2.3 m, 장금 91-1호 공에서는 위폭이 1.3 m로 점차 작아질 뿐 아니라 품위도 저하되는 것으로 나타나 노두 광체는 약 70° 정도로 서경하면서 심부까지 발달되고 있으나 남, 북측으로의 연장 발달상이 미약해지는 것으로 나타났다.

이러한 시추 결과를 감안할 때, 노두광체에 의한 영향으로 형성된 자연전위 이상대를 형성하는 등전위선 분포가 조밀하고 전위 경도가 큰 쪽으로 지하 전도체는 경사지며, VLF 전 탐사 이상 반응을 가져온 전도체는 동상성분의 양의 peak치 보다 음의 peak치 크기(intensity)가 더 큰 서측으로 경사지는 것으로 나타났다. 이러한 효과는 비저항 탐사 결과 자동역산으로 계산된 지하의 진비저항 분포에서도 서측으로 경사지는 저비저항체의 발달 모습과도 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

한편 노두광체의 주향 연장은 91-1호와 91-2호 사이의 거리, 즉 약 30 m 이상 연장되는 것으로 보이며 포착된 자연전위 및 전자 이상대의 형태를 감안하면 적어도 50 m 정도는 연장될 것으로 보이나 지표 근처에서 노두 광체는 91-1호 쪽보다는 91-3호 쪽으로는 연장성이 상대적으로 미약할 것으로 판단된다.

결 언

전라북도 진안군 부귀면 황금리 일대에서 맥상 황화광체 및 주변 지역의 지질광상 조사 및 물리탐사를 시행하였다.

조사지역 부근의 지질은 경상계의 상부 유천층군에 해당되는 퇴적암류와 산성 화산암류로 구성되며 광상은 주로 산성 화산암류를 모암으로 하여 황철석, 자류철석 및 소량의 방연석 등의 황화광물이 광염상으로 배대되거나 일부 맥상의 광체를 형성하고 있다.

자연전위 이상대의 해석 결과, 전도체는 등전위선 분포가 조밀하고 전위 경도가 큰 쪽으로 경사지며, 동상성분의 절대치가 더 큰 음의 peak치 방향인 서측으로 경사지는 광체에 의한 VLF 이상 반응을 확인하였고 쌍극자 전기비저항탐사

결과도 서경하는 광체에 의한 반응을 확인할 수 있다. 이에 대한 시추탐사 결과 광체의 주향 방향으로는 약 50 m가 연장 발달되며 70°W의 경사를 갖는 맥상 황화광체가 부존됨이 확인되었다.

참고문헌

1. 대한광업진흥공사, 1990, 장금 광산 기본조사 보고서 (미발간).
2. 대한광업진흥공사, 1991, 기타지구(장금 광산) 기본조사 보고서(미발간).
3. 대한광업진흥공사, 1992, 장금 광산 시추결과 보고서 (미발간).