

銅店鑛山 銅鑛床에 對한 I.P物理探查

房基烈*·李勝鐘**·韓敏浩**·李慶鎔**

Induced Polarization Prospecting at the Dongjeom Copper Mine

Ki Yual Bang, Min Ho Han, Seung Jong Lee and Kyong Yong Lee

Abstract: I.P exploration is conducted mainly at the alluvium-covered granodiorite stock of the Red-Hill area at the Dongjeom coal mine, employing Canadian Mcphar equipments of variable frequencies-domain method along a total of 8.5 survey line.

Mineralization zone is found by I.P anomalies along the I.P the profile of frequency mode. Comparing with the past drilling data, the cause of each anomaly is furthermore identified as copper-bearing mineralized zones.

As alteration and mineralization cover all over the Red-Hill altered grandiorite, copper bearing sulfide veinlets and strings filled out the fractured and altered zones.

序 言

國內賦存資源이 貧弱하고 資源多消費 産業構造型인 우리나라는 高度의 産業成長에 따른 主要 原料資源의 需要가 急激히 늘어가고 있다. 이에 우리는 國內 未確認 賦存資源을 積極 探查·開發하고 나아가 海外資源 開發을 爲한 探查技術 蕃積을 圖謀해야 할 段階에 있다.

따라서 本 研究은 地下賦存鑛物資源에 對한 地質調査 및 試鑛探查에 依해 鑛體의 品位와 規模가 이미 確認된 地域을 選定, 深部鑛物資源에 對한 物理探查方法인 誘導分極(I.P) 探查를 實施, 그 基本的인 地質學의 特性과 周邊岩石間의 物理的인 性質을 考察하여 次後 深部賦存鑛體에 對한 I.P探查適用事例을 例示하고자 하는데 그 目的이 있다.

本 域의 位置는 慶南 昌寧郡 吉谷面 吉谷里에 所在하는 銅店鑛山으로 一名 “붉은 등 地域”이라 稱하며, 地質은 慶尙系 新羅統에 屬하는 鎭東層이 本 地域의 南側에 分布되어 있으며, 이를 後期에 貫入한 花崗閃綠岩體가 中央部에 岩柱狀으로 分布되어 있다.

이 花崗閃綠岩은 深한 變質作用을 받아 石英의 發達과 더불어 全般的으로 황철광이 鑛染되어 있으며, 鑛化作用 및 變質作用은 主로 變質帶를 中心으로 發達되

고 있으며, 試鑛結果에 依한 高變質帶의 含銅鑛體의 平均品位는 Cu 0.77%以上이다.

本 域에서 實施된 I.P探查를 층적층으로 被覆되어 있는 花崗閃綠岩體를 主 對象으로 9個測線 總 8.5Km를 遂行하였다. 探查結果 各 測線別로 나타나는 I.P異常으로 鑛化帶의 分布範圍를 確定짓고, 過去 試鑛資料와 相互對比하여 各 異常의 原因을 糾明했으며, 나아가 本 域에 發達分布하는 含銅鑛體의 地下賦存樣狀을 밝힌 것이다.

地質概要

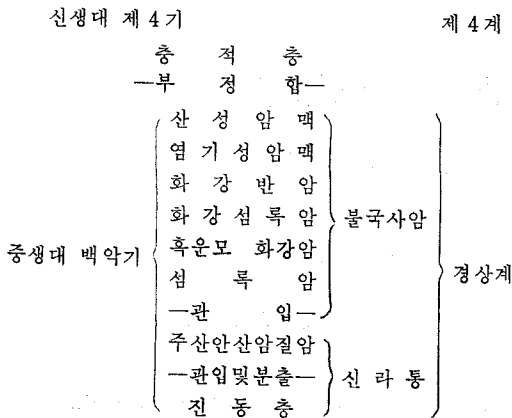
本域은 四面이 山으로 둘러싸인 小盆地를 이루고 있으며, 이 地域 全體的인 地質은 慶尙系 新羅統에 屬하는 鎭東層이 鎭區 南側으로 發達分布하며 이를 後期에 貫入한 花崗閃綠岩體가 鎭區 中央部에 岩柱狀으로 分布하고 있다.

鎭東층의 岩相은 회색 및 암회색을 주로 띠는 이암, 세일, 알코스사암 및 흑색점판암으로 構成되어 있는데, 特히 鈣化작용 生成物인 처트의 박층이 협재되어 있다. 그의 화강암체와의 접촉주변부와 岩脈들이 貫入되고 있는 곳에서는 hornfels化 되어 있는 곳이 많이 관찰된다.

또한 불국사통의 화강섬록암체는 中央部에 分布되어 있는데, 本岩은 深한 變質作用을 받고 있어 大部分의 長石은 鈉雲母화되어 있고 石英의 發達과 더불어 全般

* 韓國動力資源研究所

** 高麗大學校地質學科



的으로 황철광이 鑛沿되어 있어 prophyllitization의 代表的인 岩相을 띄고 있다.

이들 鑛染狀의 황철광의 산화작용 結果, 갈철광화된 gossan이 地表에 널리 分布되어 있는데 그 색깔이 붉어 일명 "붉은 등"이란 地名이 붙여져 있기도 하다.

또한 本域에 무수히 貫入發達되고 있는 염기성암맥, 화강반암 및 심성암맥들의 脈岩類는 大部分이 南北方向性을 갖고 있다.

鑛床概要

本域에 分布發達하고 있는 화강섬록암체는 大部分이 深한 變質作用을 받았으며, 本 區域內 物理探査가 實施된地域은 층적층으로 皮복되어 있어 露頭發見은 거의 不可能하다. 화강섬록암체 內에는 N10°~20E°의 方向性을 갖고 있는 石英脈 乃至 석영세맥들이 많이 發達하고 있는 것으로 보아 이들 석영맥과 석영세맥들의 밀집대는 高變質帶를 形成하고 있다.

變質帶는 석영-견운모상(quartz-sericite facies)과 석영-사장석-흑운모상(quartz-plagioclase-biotite facies)로 區分되는데 前者는 石英脈들의 주위에 發達되고 있으며, 後者는 本域中央部에서 主로 發達하고 있다. 이들 變質相에 依한 變質帶를 中心으로 鑛化作用 및 變質作用을 받아 長石은 高領土 乃至 粘土鑛物化되어 있고 이들 變質帶에는 強한 pyritization을 받아 황철석, 황동석, 휘수연 및 자철석 細脈들이 賦存한다(金善億, 1977).

以上の 石英의 再結晶作用, 장석류의 견운모화작용, 석영 및 황철석 細脈 등의 現象으로 보아 本域의 變質帶 形成과 鑛化作用은 화강섬록암 貫入時 形成된 殘留 熱水에 依한 것으로 思料된다.

本域 銅鑛床의 產出相을 試錐 結果와 對比하여 보면 上記 變質帶內에 賦存 發達하는 銅鑛床은 ① 石英脈과

石英細脈內 황철석과 밀접하게 關係되는 形 ② 황철석의 鑛沿帶나 細脈이 變質帶內에 밀접 賦存하는 形 ③ 염기성암내 황동석과 황철석이 賦存하는 形으로 區分이 되고 있다.

本域의 高變質帶의 含銅鑛體의 平均品位를 試錐結果 資料에 依해 算出하면 Cu 0.77% 以上이다.

I.P 物理探査

探査方法

一般的으로 物理探査의 調查測線設定은 그 地域의 地形條件, 地質境界 및 鑛體規模 등에 따라 定할 수가 있는데, 그 測定方向은 大體로 鑛體의 走向과 수직되게 設定을 하지만, 간혹 鑛體의 異常帶 再確認과 그 연장성 與否를 把握하기 爲해 鑛體의 走向과 一致하게 設定하는 경우도 있다.

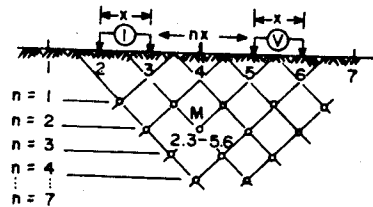
또한 I.P探査의 電流電極間의 間격은 地下鑛體의 深度를 大略 推定하여 決定할 수가 있는데, 보통의 경우 地形條件을 考慮, 50m로 많이 使用하고 있다.

電極配列選擇은 地下深部の 鑛況把握에는 쌍극자(dipole-dipole) 배열을 많이 利用하며, 地下鑛體의 傾斜에 對한 情報를 得하기 爲해서는 gradient array를 兼用하기도 한다.

따라서 本域의 I.P探査測線設定은 鑛東層과 花崗閃綠岩과의 境界部를 充分히 看把할 수 있도록 普通의 경우보다 電極間隔을 넓혀 그 測線을 길게 하였고, 方向은 거의 東西方向이다.

또한 測線間의 距離도 大體로 100m로 間격을 두어 全體의인 鑛況과 그 延長性 與否를 確認토록 하였고, 本 I.P 探査는 9個 測線總 8.5km에 걸쳐 實施되었다.

本 探査에 使用된 機器는 캐나다의 Mcphar社製 可變周波數法(variable frequency method)을 利用한 것으로 使用된 周波數는 0.3CPS와 2.5CPS이다.



DIPOLE - DIPOLE PLOTTING METHOD

Fig. 1 Survey specifications and data plotting method.

Electrode Array	Dipole-Dipole
Electrode Interval	X=80m
Separations	n=1 to 7 (inclusive)
Frequencies	0.3 and 2.5Hz

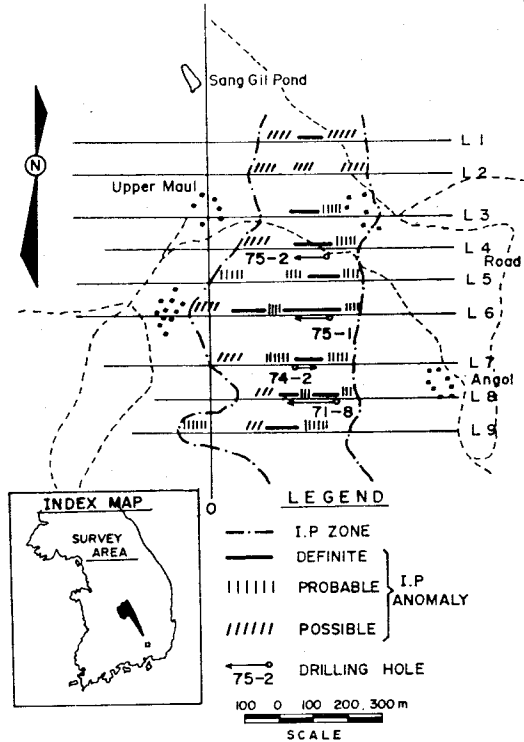


Fig. 2 Plan map of the Red-Hill deposit.

電極配列은 Fig. 1과 같이 dipole array로서 電極間隔은 80m로 하고 電流電極과 電位電極間的 距離를 $n=7$ 까지 보아 理論上 可探深度 320m를 把握하도록 했다 (William H. Pelton and Peter K. Smith, 1976).

結果解析

本域에 實施한 I.P探查結果, 모두 10個의 I.P異常帶를 確認하였으며, 이들 異常帶에 對한 各測線別 平面圖를 도면 Fig. 2와 같이 南北方向으로 一定한 幅을 가진 I.P zone을 보여주고 있다.

이들 異常帶中 既試錐 探查가 完了된 인접 地域의 測線을 中心으로 좀더 仔細하게 詳述하면 다음과 같다.

Line 4: 測線 4의 探查結果는 Fig. 3에 나타나 있다 測線의 80E~150E의 地下淺部에서 比較的 弱한 異常과 200E~320E사이에서의 地下 約 180m深部에서 比抵抗值: 31~60 Ω -m, M.C.F=80~164, P.F.E=4~12를 나타내주는 두개의 異常帶가 確認된다.

그런데 深部에서 나타나는 異常帶는 380E方向으로 連結이 되는 異常이다. 이것은 殘留熱水에 依한 용액이 地表의 약침부로 올라오면서 이루어진 一種의 細脈들에 依한 異常으로 간주된다.

Line 6: 測線 6은 I.P結果中에서 I.P anomaly zone이 가장 넓은 測線이다. 이 結果는 Fig. 4.에서 보듯

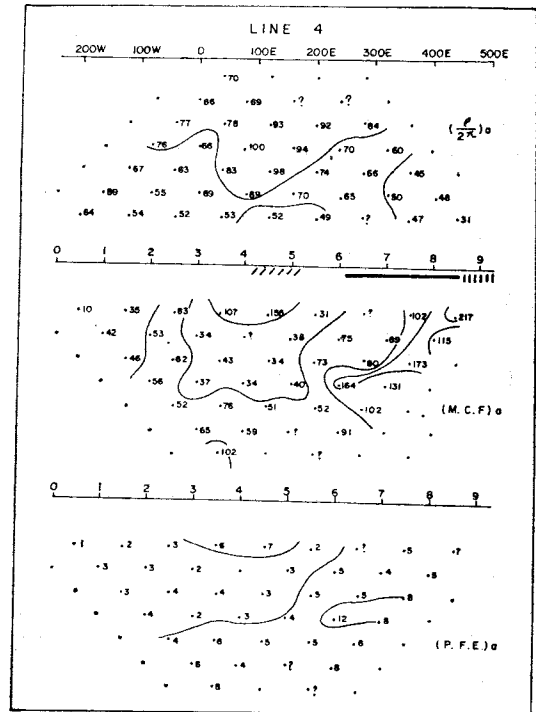


Fig. 3 Pseudosection for I.P result of the Dongjeom copper mine area.

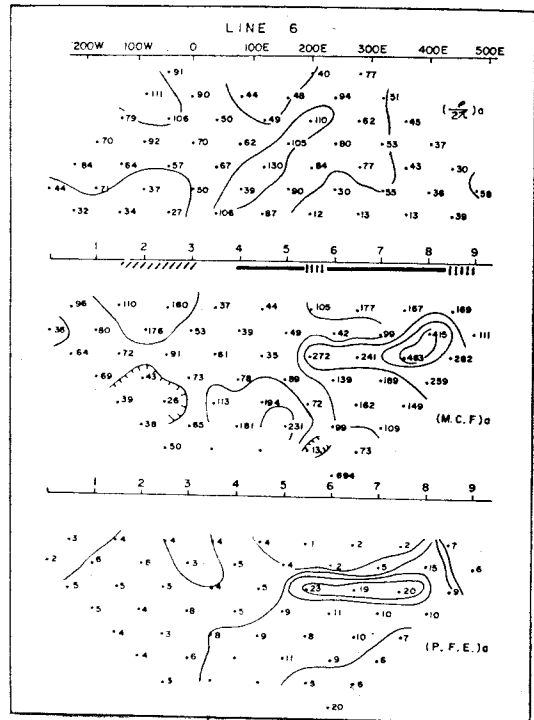


Fig. 4 Pseudosection for I.P result of the Dongjeom copper mine area.

이 서쪽편 地下淺部로서 하나의 異常이 나타나며 동쪽 側에서 다소의 범위가 넓은 異常帶가 確認된다.

即 0~200W지점의 地下異常은 測線 5와 같은 overburden clay의 傳導성에 의한 것으로 보이며 80E~400E에 걸쳐 形成되는 異常帶는 地下 鑛體에 의한 것으로 간주된다. 本 異常帶는 地下 約 160m를 中心으로 規模가 큰 眼球 type의 鑛體를 이루고 있다. 이것은 $\frac{\rho}{2\pi} = 12 \sim 58 \Omega - m$, $M.C.F = 111 \sim 463$, $P.F.E = 10 \sim 23$ 의 높은 値를 보여주고 있는데 특히 300E~400E사이의 것은 強한 異常을 보여주고 있다. 아마도 一種의 變化帶에 屬하는 部分에서 농집된 鑛體에 의한 異常으로 推定이 된다.

Line 7: 測線 7은 이 마을 田畠의 가장자리에 位置하는 소위 “정자나무” 바로 南部에 設定된 測線으로써 I.P 探査結果資料中 가장 幅이 좁은 anomaly zone을 갖는 測線이기도 하다. Fig. 5에서 보듯이 測線 5와 6의 西쪽에서 나타났던 異常은 다소 弱해짐을 보여주고 있다. 이것은 南部로 올수록 overburden의 傳導度가 적어짐을 볼 수 있는데, 다시말해 南部로 갈수록 피복된 clay層이 얇아지는 경향이다. 반면 東쪽의 230E~360E사이의 地下에서는 매우 強한 異常을 보여주고 있는데, 이 地域은 測線 6과 거의 같은 深度로서

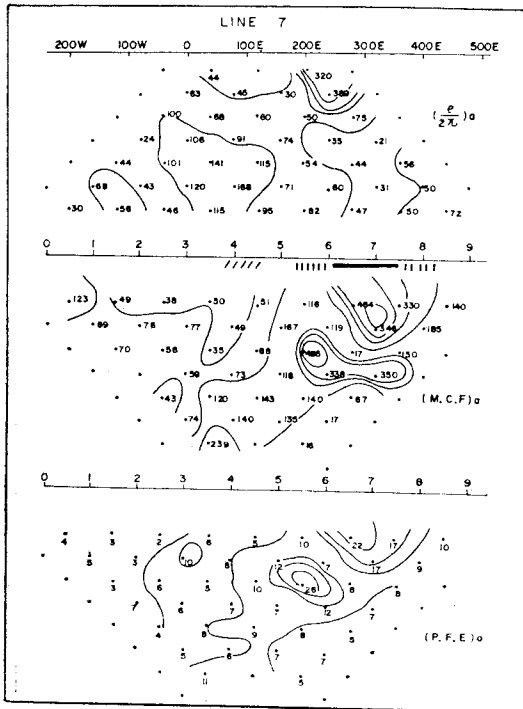


Fig. 5 Pseudosection for I.P result of the Dongjeom copper mine area.

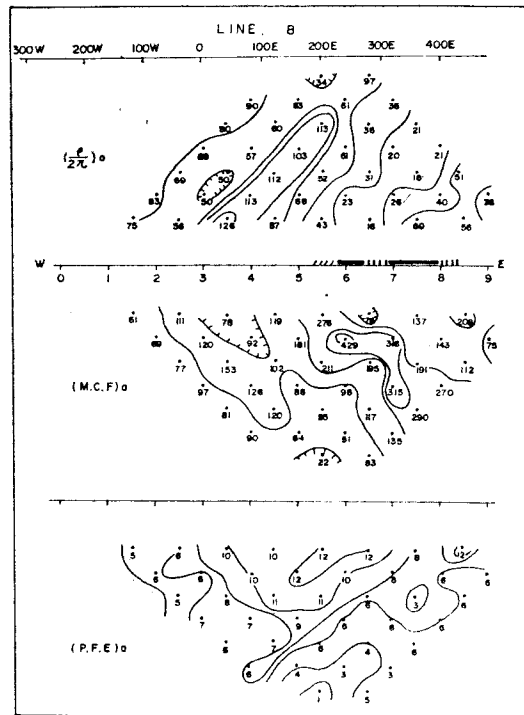


Fig. 6 Pseudosection for I.P result of the Dongjeom copper mine area.

本 I.P 探査結果에서 가장 큰 異常値를 보여주는 곳이기도 하다. 即 比抵抗値 = 21~47 $\Omega - m$, $M.C.F = 338 \sim 546$, $P.F.E = 17 \sim 26$ 을 갖는 매우 높은 異常値이다.

이 異常은 變質帶에 의한 것으로써 300E~340E 地下 約 120m에서는 $M.C.F$ 가 546異常을 보여주고 있다.

이 異常은 變質帶의 範圍內에 鑛物들의 농집에 의한 높은 I.P效果와 金屬傳導度 現象이다.

Line 8: 測線 8에 對한 I.P探査結果는 Fig. 6에 表示되어 있다. 여기에서 보듯이 200E~300E 地下에서 $\frac{\rho}{2\pi} = 16 \sim 21 \Omega - m$, $M.C.F = 211 \sim 316$, $P.F.E = 6 \sim 8$ 의 比較的 높은 鑛常을 보여주고 있으나 $M.C.F$ 에 비해 $P.F.E$ 의 値가 相對的으로 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이런 結果는 傳導성은 좋으나 I.P效果에 對한 周波數效果가 좋지 못한 것으로 思料된다. 이것은 $M.C.F$ 의 pseudosection으로 보아서는 鑛常帶의 方向性을 보여주고 있으나 $P.F.E$ 의 等電位線에서는 전혀 그 方向性을 나타내지 않고 있기 때문이다.

以上的 各 測線別로 記述된 事項들을 基礎하여 本域에 分布된 地下鑛體件의 全體의인 trend를 把握하기 爲하여 I.P結果에 따른 金屬傳導度의 factor를 選擇, 即 $n=3$ 에 해당하는 數値를 測線別로 記入하여 地下

I.P frequency mode에 關한 平面圖를 作成하였다.

Fig. 7에서 보는바와 같이 line 1에서 line 9사이의 全體의인 異常帶추세를 보면, 50W를 中心으로 東쪽으로 갈수록 그 數値가 크짐으로 보아 東側이 더욱 鑛化作用을 深하게 받았음을 알 수 있다.

이것을 좀더 具體的으로 살펴보면 50W~150E에는 M.C.F值가 100以下로 나타나고 M.C.F값이 100以上인 地域은 150E~455E 部分으로 나타난다. 이를 地質鑛床學的으로 分析하면 火成岩鑛床이 鑛東層을 貫入時 形成되는 殘留熱水에 依해서 그 주위에 일어나는 鑛化作用으로 볼 수 있다. 特히 180E~270E의 위치에서 line 6~line 8에 걸쳐 形成되는 異常帶와 line 6의 320E~410E의 위치에서 생기는 anomaly는 다른 어느 부분보다도 크게 나타나고 있다. 이는 黃철석의 鑛染帶나 細脈이 變質帶內에 밀집 賦存하는 것으로 추정된다. 이것을 試錐結果(D74-2)에 依하면 本變質帶에는 探한 pyritization을 받아 黃철석, 자철석, 黃동석 등이 나타나고 있음을 관찰할 수 있다(Harold O. Seigel, 1959).

I. P結果解析과 試錐探查 對比

本 調査地域은 1970년부터 1975년까지 約 6年間에 걸쳐 광역 및 精密地質調査와 自然電位探查와 더불어 約 12個 孔 2,710m의 試錐探查가 實施한 곳으로, 鑛體의 全般的인 鑛況과 그 品位가 이에 確認된 地域이다. 그 中 I.P測線과 인접한 試錐孔을 살펴보면 D75-V75-1, D74-2, D71-8의 4個孔을 選定할 수가 있다.

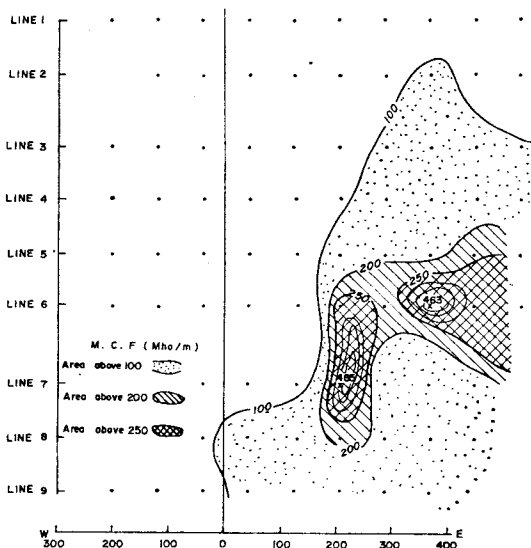


Fig. 7 Dongjeom copper I.P frequency mode, n=3 of the metal conduction factor.

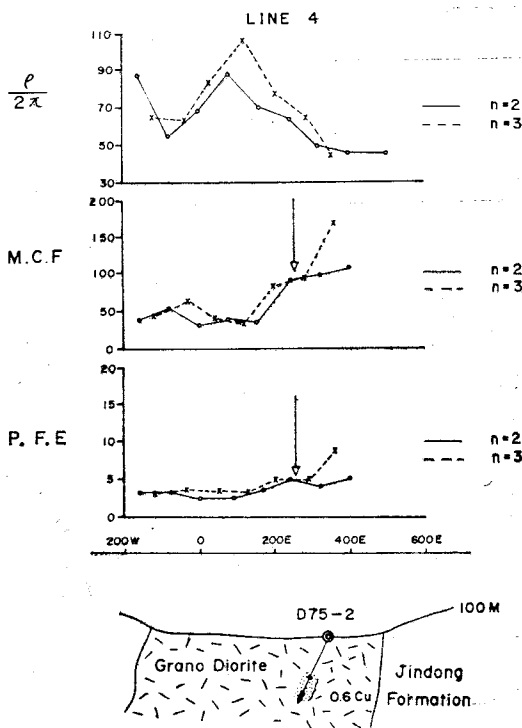


Fig. 8 Profile comparison, I.P frequency mode-drilling data.

따라서 試錐探查結果와 I.P探查解析을 相互對比 해봄으로써 本城의 銅鑛體에 對한 I.P探查의 適用性 與否를 考察할 수가 있을 것이다. 各 測線別로 試錐結果資料를 I.P結果解析과 比較·檢討해 보면 다음과 같다.

I.P line 4와 D75-2의 對比; D75-2試錐孔은 測線 4의 350E에서 南部로 約 30m 떨어진 지점에서 시추방향 EW65°로 200m深度를 把握하기 爲해 實施한 孔이다.

따라서 이 試錐結果資料와 I.P 測線 4의 結果資料를 比較·檢討하기 爲해서 Fig. 8과 같이 比抵抗, 금속전도도, 周波數效果의 各 n=2, n=3에 해당되는 數値를 記入하여 I.P mode를 作成하였고, 地形斷面圖上에 D75-2의 位置를 plotting시켰다.

그림에서 보는바와 같이 346E지점에서 시추한 結果는 地下 139m에서 0.5Cu와 直폭 0.15m의 銅鑛體가 着脈되었다.

이것을 I.P結果斷面圖에서 살펴보면 203E 地下直下部가 된다. 즉 이들을 M.C.F와 P.P.E의 n=2 및 n=3의 값과 比較해보면 거의 一致됨을 보여주고 있다. 또한 이것은 I.P profile을 參考하면 深部로 갈수록 M.C.F 및 P.F.E가 높게 나타남을 볼 수 있다.

Table 1 The result of D75-2.

Depth	Direction	Dip	Range of Ore Shoot	Real Width (m)	Grade (%)
200m	EW	65°	139.2~139.5	0.15	0.52
			187.8~187.97	0.085	0.45
			189.0~189.4	0.2	0.49
			192.3~192.7	0.25	0.82

上記記述된事項들은 아래 D75-2 試錐結果 Table 1과도 잘一致가 되고 있음을 보여주고 있다.

I.P line 6와 D75-1의 對比: D75-1 試錐孔의 位置는 I.P測線 6上的 356E지점으로 화강섬록암과 진동층의 경계지점 부근이다. 試錐方向 EW60°로 地下深部 200M 把握하기 爲한 試錐孔이다.

本孔의 探查結果는 Fig. 9에서 보는바와 같이 300E 直下部 122m지점에서 0.5%Cu의 銅鑛體가 着脈되었다. 이를 周波數領域의 各 I.P mode들과 비교해 보면 300E와 400E에서 두개의 異常이 確認되고 있다.

그런데 400E에서 나타나는 I.P異常은 화강섬록암과 진동층의 地質的인 경계지점에서 發生하는 I.P異常이며 300E에서의 異常은 地下鑛體에 依한 것으로 試錐結果와도 잘一致되고 있다.

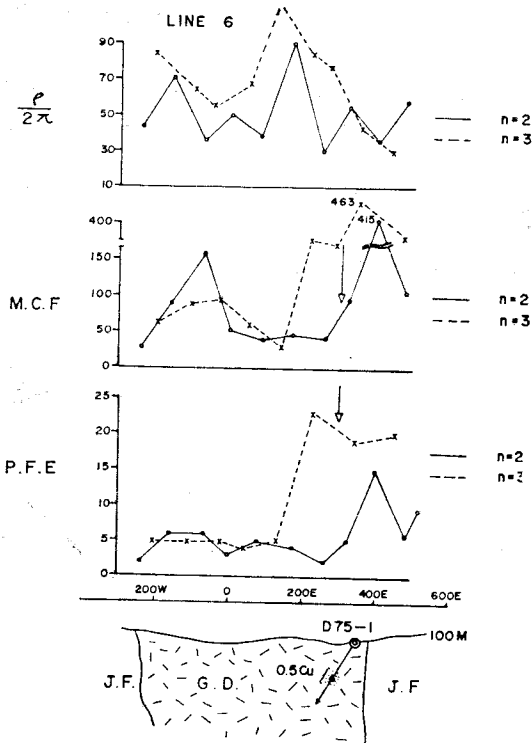


Fig. 9 Profile comparison, I.P frequency mode-drilling data.

그런데 400E에서 나타나는 I.P異常은 화강섬록암과 진동층의 地質的인 경계지점에서 發生하는 I.P異常이며 300E에서의 異常은 地下鑛體에 依한 것으로 試錐結果와도 잘一致되고 있다.

I.P line 7과 D74-2의 對比: D74-2 試錐孔은 240E 지점에서 試錐方向 WE70°로 250m地下 深部를 探查한 孔이다. 周波數領域의 比抵抗 M.C.F, P.F.E의 各 mode 단면도를 作成하여 살펴보면 Fig. 10와 같이 2개의 I.P異常이 나타남을 볼 수 있다. 卽 300E에서 $n=2$ 일 경우의 異常은 $\frac{\rho}{2\pi} : 31\Omega-m$, M.C.F=546, P.F.E=17의 높은 異常을 보여주고 있으며 220E지점의 $n=3$ 일때의 異常은 $\frac{\rho}{2\pi} = 54\Omega-m$, M.C.F=485 P.F.E=26의 높은 이상을 各各 보여주고 있다. 이것은 아래 Table 2의 試錐結果와도 잘一致가 된다.

이 現象을 다시 I.P단면도(Fig. 5)에서 보면 地下深部로 갈수록 I.P의 높은 異常現象으로 보아 鑛體의 品位도 높아질 것으로 解析되고 있는데 이것 역시 시추 결과와 잘 付合되고 있는 事實이다.

그러나 한가지더 첨언되어야 할 것은 上記 I.P異常은 하나의 鑛體에 依한 것이라기 보다는 하나 以上の 尤화세맥들에 依한 것으로 간주되어 지는 것이다.

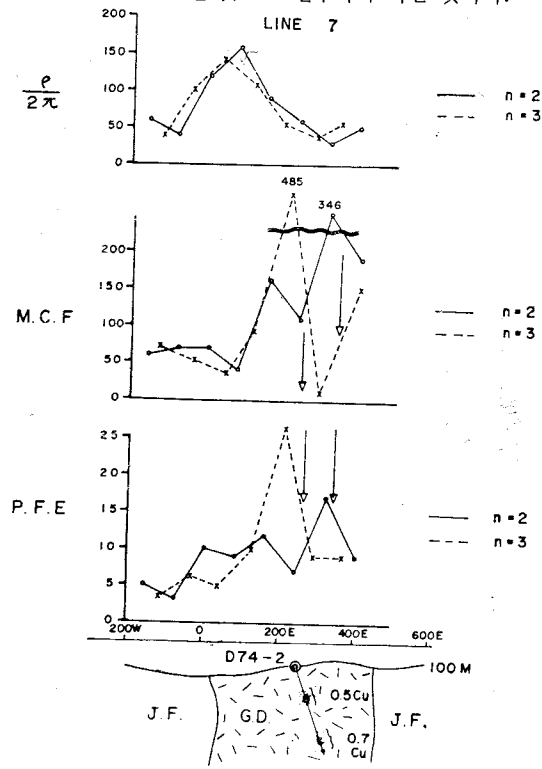


Fig. 10 Profile comparison, I.P frequency mode-drilling data.

Table 2 The result of D74-2.

Depth	Direction	Dip	Range of Ore Shoot	Real Width(m)	Grade (%)
250m	WE	70°	93.7~93.9	0.068	0.52
			205.7~205.8	0.061	0.88
			207.5~207.7	0.068	0.64
			217.9~218.1	0.068	0.56

또한 D74-2試錐孔의 試錐方向은 다른 試錐孔과는 달리 反對方向인 WE方向으로 試錐를 하였으나 本域의 鑛況으로 비추어 보아 만일 EW方向으로 試錐했다더라도 역시 着脈되었을 것으로 추측 된다.

I.P line 8과 D71-8의 對比 : D71-8試錐孔은 本域의 試錐探査中에서 가장 長孔의 試錐로써 380E지점에서 試錐方向 EW70°로 450m地下 深部探査이다.

비록 長孔의 試錐였으나 地下深部에서만 着脈되었을 뿐, 地下淺部에는 이렇다할 鑛體의 흔적은 없는 것으로

로 나타났다. 그러나 I.P斷面圖(Fig. 11)에서 나타나는 各周波數領域의 mode들은 地下淺部 160m以內에서 나타나는 異常들로 試錐斷面圖와는 一致가 되지 않고 있다. 하지만 이들 異常은 250E 地下直下部의 淺部에서는 높은 m.C.F值를 보여주고 있음을 보여주고 있다. 따라서 本異常은 母岩이 變質作用을 받아 高變質帶를 形成, 황철광들의 鑛染에 依한 것으로 추측이 된다. 그러나 本異常이 I.P結果와 다른 試錐資料와의 一致되는 點을 감안, 이 異常을 着脈하려면 D71-8의 試錐地點에서 서쪽으로 約 100m로 옮겨 280E地點에서 추가시추함이 바람직 할 것이다.

結 論

우리나라와 같이 심한 지각변동과 험준한 산악지형 조건에서의 I.P 探査適用은 探査裝備運搬과 그 資料解析에 많은 問題點이 있다. 그러나 本 研究地域은 층적층으로 피복된 대단히 良好한 地形條件에 따라 銅鑛床의 地下深部發達狀況을 確認하기 爲한 今般 I.P探査適用與否는 地質鑛床調査 및 試錐結果와도 잘 一致함에 따라, 深部鑛體確認을 爲한 다른 物理探査方法 보다도 가장 適合하다고 思料된다.

本 研究를 통한 銅鑛床의 I.P探査 및 試錐結果와의 對比를 통한 結論을 要約하면 다음과 같다.

1) 本域 中央部에 賦存하는 火成섬록암체는 變質作用과 황철광화작용에 수반하는 銅鑛化作用을 받고 있음이 再確認되었다.

2) 붉은등지역의 火成섬록암체내에 發達하고 있는 含銅鑛化帶의 走向은 大體의으로 南北方向이며 傾斜는 거의 수직으로 나타난다.

3) I.P zone內에 形成되는 강한 異常帶의 $\frac{\rho}{2\pi}$ M.C.F, P.F.E의 數值分布狀況 即 深부와 東側으로 갈수록 높아지는 경향으로 보아 地下鑛體는 東側으로 延長되었음을 시사해 준다.

4) 試錐探査에 依한 着脈區間은 주로 50cm以內인 반면, I.P異常은 좀더 範圍가 넓게 나타나는데, 이것은 含銅鑛化帶의 變質帶에 依한 것으로 思慮된다.

5) 本域의 I.P探査結果는 試錐探査結果와 잘 一致됨으로 보아 正確한 本域의 鑛體의 規模를 確認키 爲해서는 I.P測線 3의 北部異常帶에 對한 試錐探査가 要求된다.

6) I.P探査時 地下鑛體의 傾斜에 對한 情報를 探知하려면 dipole-dipole 配列方法과 gradient 配列方法을 同時에 使用함이 有用할 것으로 思料된다.

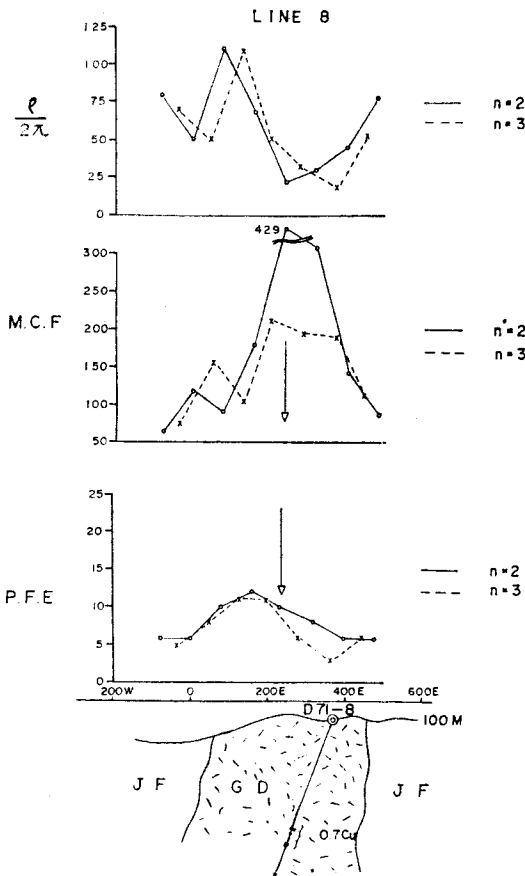


Fig. 11 Profile comparison, I.P frequency mode-drilling data.

參 考 文 獻

金善億 (1977) 慶南鑛域鑛化帶 및 북은등 地域銅鑛化帶試錐報告. 調查研究報告, 資源開發研究所.

William H. Pelton and Peter K. Smith (1976) Map-

ping porphyry copper deposits in the philippines with I.P. Geophysics, v. 4, No. 1, p.106-122.

Harold O. Seigel (1959) Mathematical Formulation and type curves for induced Polarization. Geophysics, v. XXIV, No. 3, p.547-565.