

## 沃川帶內 新堂—道田里 地域에 대한 ELF-MT探查 研究

閔庚德\*·田正秀\* 鄭承桓\*\*

### ELF-MT Survey Between Sindangri and Dojonri Area in the Okchon Zone

Kyung Duck Min, Jeong Soo Jeon, and Seung Hwan Chung

**Abstract :** The ELF-MT survey has been conducted at 9 points along the national road between the Sindangri and Dojonri area to study on the boundary between the Okchon and Choson systems, and subsurface geological structure of these two systems.

Natural electromagnetic fields of 7.8, 14, and 20 Hz in the Schumann resonant frequency band were used for ELF-MT measurement. Apparent resistivity values were calculated from the measured magnetic and electric fields at each frequency, and resistivity sections were obtained by means of a trial and error method for one-dimensional analysis and finite element method for two-dimensional analysis.

The results of this study show that the resistivities of the Okchon and Choson systems are 700-3500 ohm-m and 40-5000 ohm-m, respectively. The boundary between these two systems is a fault with the width of 1 km fault zone and resistivity value of 200 ohm-m, and is located around Koburangjae.

Another fault is appeared in Sindangri, and its resistivity value is 130 ohm-m. Intrusion of biotite granite is distributed in Jungchijae, and its resistivity value is 750 ohm-m. The area between Susanri and Koburangjae shows the highest resistivity value of 3500 ohm-m because metabasite and amphibolite are distributed in that area.

Extremely low resistivity value of 40 ohm-m around Yongamsan is due to the Yongam formation, which is composed of graphitic black slate and overlying Choson Great Limestone group.

#### 序論

本研究는 沃川帶內 沃川層群과 朝鮮累層群 사이의 關係 및 地質構造 研究를 위하여 水安堡—丹陽 사이의 國道上 新堂里—道田里 사이에서 20km의 測線을 設定하고 9개의 測點에서 ELF-MT 深査와 精密野外地質調査를

實施하였다.

沃川帶의 地質 및 地質構造, 그리고 沃川層群과 朝鮮累層群의 關係에 대해서는 많은 學者들의 研究가 行하여 졌으나 研究者간의 異見이 많다. 沃川帶 解析上의 論亂은 研究方法이 地表地質調査가 主가 되었기 때문이므로, 本研究에서는 이러한 問題點을 解決하기 위하여 定量的인 資料에 의한 解析을 實施하기 위하여 深部地質構造 把握에 効率的인 ELF-MT 深査法을 利用하였다. 本研究를 위하여 ELF-MT 深査 測定에 協力해 주신 日本 京都大學校 地質鑛物學敎室의 여러분에게 感謝드립니다.

\*延世大學校 地質學科 (Dept. of Geology, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea)

\*\*韓國動力資源研究所 (Korea Institute of Energy and Resources, Garibong-Dong, Kura-Gu Seoul, 152-600, Korea)

地質

地質概要

本研究를 遂行하기 위하여 設定한 測線地域은 沃川層群과 朝鮮累層群이 接하는 곳으로 本域의 基盤岩인 朴達嶺變成岩復合體는 本域에서는 나타나지 않으나 隣接地域인 婦山, 東良面 一帶에서는 地表에 잘 나타난다. 本域의 最下部層인 선캠브리아기 沃川層群의 古云里

層, 西倉里層과 黃江里層(閔庚德外, 1987)은 봉화재斷層 西部에 넓게 分布하며, 캠브리아기 大石灰岩層群의 石灰岩層과 돌로마트層이 地域 東部に 分布하며, 봉화재斷層을 境界로 沃川層群과 接하고 있다.

塩基性 火成岩類인 玄武岩으로 부터 變成된 metabasite 및 거의 變成되지 않은 角閃石斑樞岩이 봉화재斷層을 따라 貫入하고 있으며, 白堊紀 佛國寺 花崗岩이 月岳山 一帶에 分布하고 있다(Fig.1).

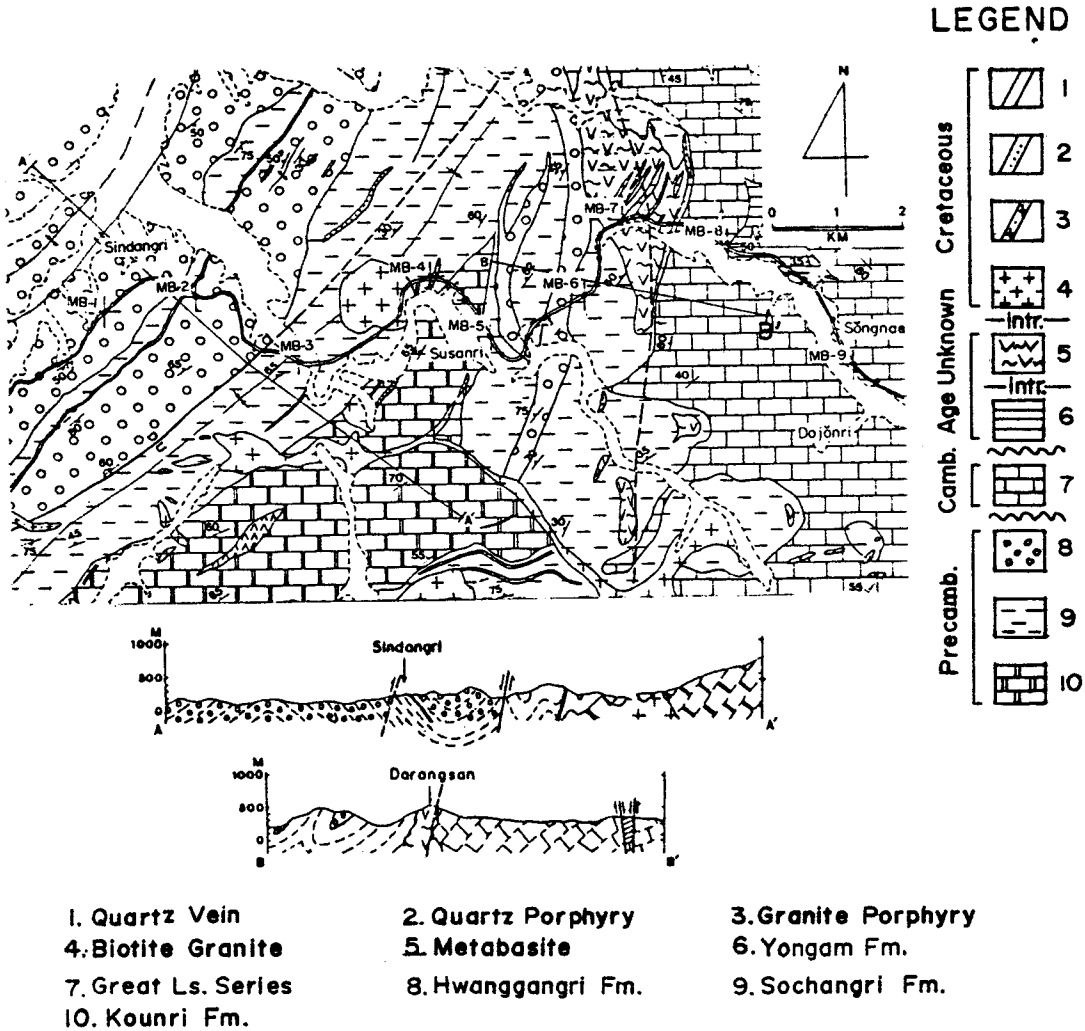


Fig. 1 Geologic map and MT measurement stations (MB) between Sindangri and Dojonri.

地質各論

基盤岩類

本域에 分布하지는 않으나 隣接 北部地域인 中原郡 東良面과 婦山 一帶에 分布하며, 時代는 선캠브리아기로서 花崗岩과 縞狀片麻岩으로 構成되어 있다.

沃川層群

從來에는 古云里層, 西倉里層, 北老里層, 鳴梧里層과 文周里層으로 區分하였으나 閔庚德外(1987)는 北老里層을 黃江里層의 褶曲에 의한 反復으로, 鳴梧里層은 西倉里層의 背斜部로, 文周里層은 西倉里層과 同一層으로 判斷하여 古云里層, 西倉里層과 이를 不整合으로 덮고 있는 黃江里層으로 區分하였다.

古云里層: 봉화재斷層 西南部의 壽山里와 月岳山 사이의 地域에 넓게 分布하며, 主로 黑色粘板岩, 細粒結晶質石灰岩, 暗褐色變質千枚岩質岩과 石灰珪酸岩의 互層으로 構成되어 있다. 走向은 N 40-70°E이며, 傾斜는 45-60°NW 이나 褶曲의 影響으로 이와는 相反되어 나타나기도 한다.

西倉里層: 봉화재斷層의 西部에 主로 分布하며 봉화재斷層에 의해 切斷되었다. 雲母片岩, 綠泥石片岩, 黑色슬레이트로 構成되어 있으며, 石灰岩과 珪岩을 挾하기도 한다. 走向은 N 20-50°E이며, 傾斜는 45-75°NW가 優勢하나 40-70°SE도 存在한다.

黃江里層: 本域의 西北部에 主로 分布하며 西倉里層의 背斜部에도 좁게 帶狀으로 分布한다. 主로 含礫千枚岩質岩으로서, 礫은 珪岩, 石灰岩, 花崗岩과 片麻岩이며 地域에 따라 礫의 含量에 差異가 많다. 基質物은 泥質이나 變成되어 슬레이트나 綠泥石片岩으로 變하였으며, 때로는 石灰質을 含有하는 部分도 있다. 走向은 N 55°E가 優勢하나 傾斜는 多樣하다.

朝鮮果層群

大石灰岩層郡의 石灰岩層과 돌로마이트層이 地域 東部에 넓게 分布하며 봉화재斷層을 境界로 하여 西쪽의 沃川層郡과 接하고 있다. 이들 石灰岩類는 結晶質石灰岩과 돌로마이트 그리고 돌로마이트質石灰岩으로 構成되어 있으며, 走向은 N10-70°E이고, 傾斜는 30-75°NW가 支配的이나 이와 相反되는 部分도 있다.

龍岩層

城岩里 一帶에 大石灰岩層群 위에 不整合으로 놓여 있다. 主로 黑色粘板岩, 黑色粘板岩質세일 및 砂質세일로 構成되며 走向은 N15°W, 傾斜는 35-50°SW가 優勢하다.

火成岩類

玄武岩으로부터 變成된 metabasite는 大部分 岾부랑재와 봉화재斷層을 中心으로 帶狀으로 分布한다. 白堊

期 佛國寺 花崗岩類인 黑雲母花崗岩은 月岳山 一帶와 壽山里 東北部에 岩株 乃至 岩脈狀의 貫入 形態로, 花崗斑岩은 동막골 南部에 岩脈狀으로, 石英斑岩과 石英脈은 小規模의 脈狀으로 分布한다.

ELF-MT 探查

Magnetotelluric(MT) 法은 地磁氣의 變動과 이에 의해 誘導되는 地電流를 同時에 測定하여 地下의 電氣比 抵抗分布를 알아내는 地球物理探查方法으로서 Cagniard(1953)에 의하여 最初로 提案되었다. 本研究에서는 周波數가 數Hz-數百Hz 사이의 ELF(extremely low frequency)帶 中에서 地表面과 電離層 사이의 Schumann共振現狀에 의해 強度가 크고 멀리 傳播되는 7.8, 14, 20Hz를 利用하였다.

探查理論

波源을 包含하지 않는 等方均質인 媒質에서 Maxwell 方程式은

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} - i\omega \epsilon \vec{E} \dots (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = i\omega \mu \vec{H} \dots (2)$$

으로 表現되며, 여기서  $\omega$ 는 角周波數,  $\epsilon$ 는 誘電常數,  $\mu$ 는 透磁率, 그리고  $\sigma$ 는 電氣傳導度이다.

식(1)에서 變位電流  $i\omega \epsilon \vec{E}$ 는 MT法에서는 主로 0.001-100Hz의 周波數를 利用하고 電氣比抵抗은 1000 ohm-m 內外이므로 無視할 수 있으며(Kaufmann et al, 1983), 平面電磁氣波가 垂直으로 入射할 경우 水平方向으로의 偏微分은 0이 되므로 식(1), (2)로부터 Helmholtz 方程式이 誘導된다. 이로부터 電氣場과 磁氣場의 成分을 求하며, 이들 成分의 比(Z)를 Impedence라 하며

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x} = -\frac{i\omega\mu}{k} \dots (3)$$

여기서 Z는 復素數이며  $k^2 = i\omega\mu\sigma$ 이다.

따라서, 等方均質한 水平面上에서의 電氣比抵抗은

$$\rho = \frac{1}{2\pi f} (|Z|^2) \dots (4)$$

이 된다. 여기서 f는 주파수이며,  $E_x, E_y, H_x, H_y$ 는 水平面上에서 各各 垂直方向의 電氣場과 磁氣場의 成分이다.

地下가 水平多層의 構造로 各層이 等方均質인 境遇에는 地表面에서 測定한 Impedence로부터 外見電氣比 抵抗  $\rho_a$ 를 식(4)로부터 求할 수 있다. 즉,

$$\rho_a = \frac{1}{2\pi\mu f} (|Z|^2) \dots (5)$$

이다. 또한, Helmholtz 方程式으로 부터 n개의 水 平 地 層에 對한 一般解를 求하면

$$Z(z_0=0) = -\frac{i\omega\mu}{k_1} \coth[k_1 h_1 + \coth^{-1} \left\{ \frac{k_3}{k_2} \coth(k_2 + \coth^{-1} \left[ \frac{k_2}{k_3} \coth[k_3 h_3 + \dots + \coth^{-1} \left( \frac{k_{n-2}}{k_{n-1}} + \coth \frac{h_{n-1}}{h_n} \right) \dots \right] \right\} \right] \dots (6)$$

이며, 여기서  $h_m, \rho_m, k_m$ 은 m번째 層의 두께, 電氣比 抵抗, k이다. 새로운  $Q_0$ 를  $|Q_0|^2 = \rho_a / \rho_1$ 로 定義하면 식(5)로 부터

$$\rho_a = \frac{1}{2\pi\mu f} (|Z|^2 = \rho_1 |Q_0|^2) \dots (7)$$

이 되며, 計算을 간편하게 하기 위한 recurrence formula(Kunetz, 1972)는

$$\begin{aligned} Q_0 &= 1 + 2 \cdot \frac{R_1 \cdot U_1}{1 - R_1 \cdot U_1} \\ R_P &= \frac{L_P + R_{P+1} \cdot U_{P+1}}{1 + L_P \cdot R_{P+1} - U_{P+1}} \dots (8) \\ L_P &= \frac{\sqrt{\rho_{P+1}} - \sqrt{\rho_P}}{\sqrt{\rho_{P+1}} + \sqrt{\rho_P}} \\ U_P &= \exp(-2 \cdot \frac{h_P}{4\pi\beta_P} \cdot \sqrt{4\pi\mu}) \end{aligned}$$

으로서  $R_{n-1} = L_{n-1}$ 부터 始作하여  $R_{n-1}, R_{n-2}, \dots, R_1$ 을 求한후 식(7)에 의하여 外見電氣比抵抗을 求할 수 있다. 따라서 地下가 n개의 水 平 層으로 이루어졌을 境遇, 水 平 地 表 面 上 에서 任 意 的 方 向 과 此 에 直 交 하 는 電氣場과 磁氣場 成分을 測定하여 식(5)로 부터 外見電氣比抵抗을 求할 수 있으며, 또한 各層의 두께와 電氣比抵抗을 알면 식(7)에 의해 地 表 面 上 的 外見電氣比抵抗을 求할 수 있으므로 이들 값을 比較하여 1次元 構造解析이 可能하다.

그러나 地球內部는 不均質하므로, 微細하며 等方均質인 媒質들의 不規則한 調合으로 이루어져 있고 構造線 方向(x方向)으로는 一定하다고 假定할 경우, 이는 x方向으로는 電氣傳導도는 一定하나, y, z方向으로는 discrete形態로 變하는 2次元 構造이다. 따라서 식(1), (2)로 부터 x方向으로의 偏微分은 0이 되므로 이를 定理하면

$$\frac{1}{\sigma_{zz}} \frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} + \frac{1}{\sigma_{yy}} \frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} + \omega\mu H_x = 0$$

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \omega\mu\sigma_{xx} E_x = 0 \dots (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_x}{\partial z} &= \omega\mu \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} &= -\sigma_{yy} \end{aligned}$$

이 된다. 上記式으로 부터  $E_x, H_x$ 를 求하는 것은 平行 地 層, dike等과 같은 簡單한 構造를 除外하고는 解析的 方法에 의한 解를 求하기가 不可能하기 때문에, 本研究에서는 有限要素法(finite element method)를 利用하였다.

有限要素法의 適用은 에너지 函數에 對한 Hamilton의 最小化 原則에 基礎를 두고, 먼저 全體를 有限한 數의 四角形 要素로 分割하여 各 要素에 對한 節點에서의 電氣場과 磁氣場成分을 求하며 이들을 全要素에 對해서 合한 global matrix는

$$[K] \cdot [A] = 0$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서  $[K]$ 는  $n \times n$  行列式이고 ( $n$ 은 節點數),  $[A]$ 는 모델의 電氣場 혹은 磁氣場成分을 나타내는 것으로, 外部境界條件을 附與한 後, Gaussian 消去法에 의해 電氣場 혹은 磁氣場成分을 求할 수 있다(Reddy et al, 1975, 鄭承桓, 1984).

測定 및 測定資料 處理

本研究에서 MT source로는 赤道地方에서의 雷放電에 의해 誘導된 電磁氣波中 ELF 帶로서, 地表面과 電離層 사이의 Schumann 共振現象에 의해 強度가 크고 멀리 傳播되는 7.8, 14, 20Hz의 周波數를 利用하였다.

ELF-MT 深查 測定器機로는 日本 京都大學校에서 自體 製作한 ELF-MT meter를 使用하였다. 이는 磁氣場을 測定하기 위한 誘導 coil과 電氣場을 測定하기 위한 電極, 그리고 增幅 및 filtering 을 하는 ELF-MT meter로 構成되어 있다.

深查地域內的 地質構造는 地表地質調查結果 走向이 대체로 NNE-SSW 方向이므로 南北方向과 東西方向의 電氣場과 磁氣場成分을 測定하기 위하여, 測線은 水安堡와 丹陽을 잇는 國道上에서 新堂里와 道田里 사이의 약 20Km를 設定하였으며, 총 9개의 測點에서 測定을 實施하였다(Fig. 1).

電氣場을 mV/km, 磁氣場을 gamma 單位로 測定하면 地表面에서 測定된 서로 直交하는 電氣場과 磁氣場成分의 比를 통하여 周波數에 對한 外見電氣比抵抗  $\rho_a$ 를 식(5)로부터

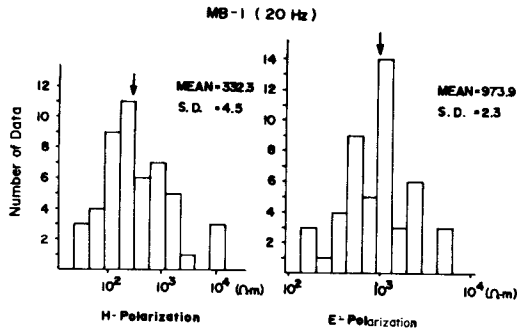


Fig. 2 Distribution of apparent resistivity value for one station.

$$\rho_a = \frac{1}{5f} |Z|^2$$

와 같이 간단히求할 수 있다.

만약 地球內部가 等方均質하다면 外見電氣比抵抗은 測定方向이나 時間의 變化에 關係없이 同一한 값을 갖을 것이다. 그러나 自然電磁氣場은 같은 場所에서도 時間의 變化에 따라 變하며, 地球內部 또한 不均質하므로 2次元 解析을 爲해 走向方向의 電氣場과 이에 垂直인 磁氣場(E-Polarization) 및 走向方向에 平行한 磁氣場과 이에 垂直인 電氣場(H-Polarization)을 各各 50回 測定하여 外見電氣比抵抗을 求하였다. Fig. 2는 測點 MB-1에서 20Hz 周波數를 利用했을 때의 外見電氣比抵抗 分布圖로서  $\log(\rho_a)$ 는 正規分布에 가까운 分布를 하고 있으며, 外見電氣比抵抗은 測定值를 提供하여 求하므로 對數平均에 의해 求한 平均外見電氣比抵抗값을 各 測點에서 該當 周波數에 對한 값으로 하였다. 各 測點別로 周波數에 對한 平均外見電氣比抵抗값은 Table 1과 같다.

資料解析

測定된 外見電氣比抵抗값과 이에 相應하는 地下深部の 電氣比抵抗 分布를 求하는 逆算解析過程을 통하여 1次元解析을 實施한 後, 이를 基礎로 2次元解析을 實施하였다.

1) 1次元 모델에 의한 解析

1次元解析을 實施하기 爲해 各 測點下部는 水平方向으로 無限하고 等方均質인 여러개의 水平層으로 이루어진 水平多層構造로 假定했다.

表皮深度(P)는 等方均質인 媒質에 電磁氣波가 入射하여 振幅이  $1/e$ 로 減衰할 때 까지의 深度로서

$$P = \sqrt{(2\rho T / 2\pi\mu)}$$

여기서 T는 주기이며, 단위는 km이다(Cagniard, 1953). 表皮深度는 媒質의 電氣比抵抗( $\rho$ )에 比例하고, 周波數( $1/T$ )에 反比例하므로 여러 周波數에 對해 測定하면 낮은 周波數일 수록 深部地下構造의 影響을 反映하므로 여러 周波數를 測定하므로써 垂直深查가 可能하다. 本研究에서는 7.8, 14, 20 Hz의 除限된 周波數만을 使用하였으므로 2-3層 構造에 對한 解析을 實施하였다.

最初 모델 設定은 地表地質調査結果를 基礎로 하고, 標準曲線(master curve)과, 周期와 電氣比抵抗의 變化에 따른 表皮深度와 測定 外見電氣比抵抗값들을 나타낸 圖票에 의해 電氣比抵抗의 差異가 심한 境界面과 電氣傳導度의 合을 求하는 方法(Kaufmann et al, 1981)을 利用하여 設定했다.

式(7)에 의하여 最初 모델에 對한 外見電氣比抵抗을 計算한 後, 測定外見電氣比抵抗값과 比較하면서 模型을 修正하여 測定值의 95% 信賴區間에 包含될 때까지 反復 計算하였다(Fig. 3).

Table 1 Apparent resistivity values at each station and three different frequencies(ohm-m)

Station(MB)	7.8Hz		14Hz		20Hz	
	H-pol	E-pol	H-pol	E-pol	H-pol	E-pol
1	348.5	1568.8	584.0	2341.4	332.3	937.9
2	40.7	238.3	30.6	253.9	45.5	335.7
3	1776.6	3318.3	1037.1	2622.1	1457.2	1646.2
4	348.9	737.2	767.0	585.3	623.8	564.7
5	3071.8	327.2	1975.0	468.8	894.1	660.3
6	12015.0	8208.2	11159.8	17386.1	6362.8	14086.5
7	123.4	465.5	286.7	309.3	229.4	288
8	137.6	49.3	56.1	50.9	397.9	103.1
9	2432.3	6924.9	2785.7	11306.9	2133.0	3539.8

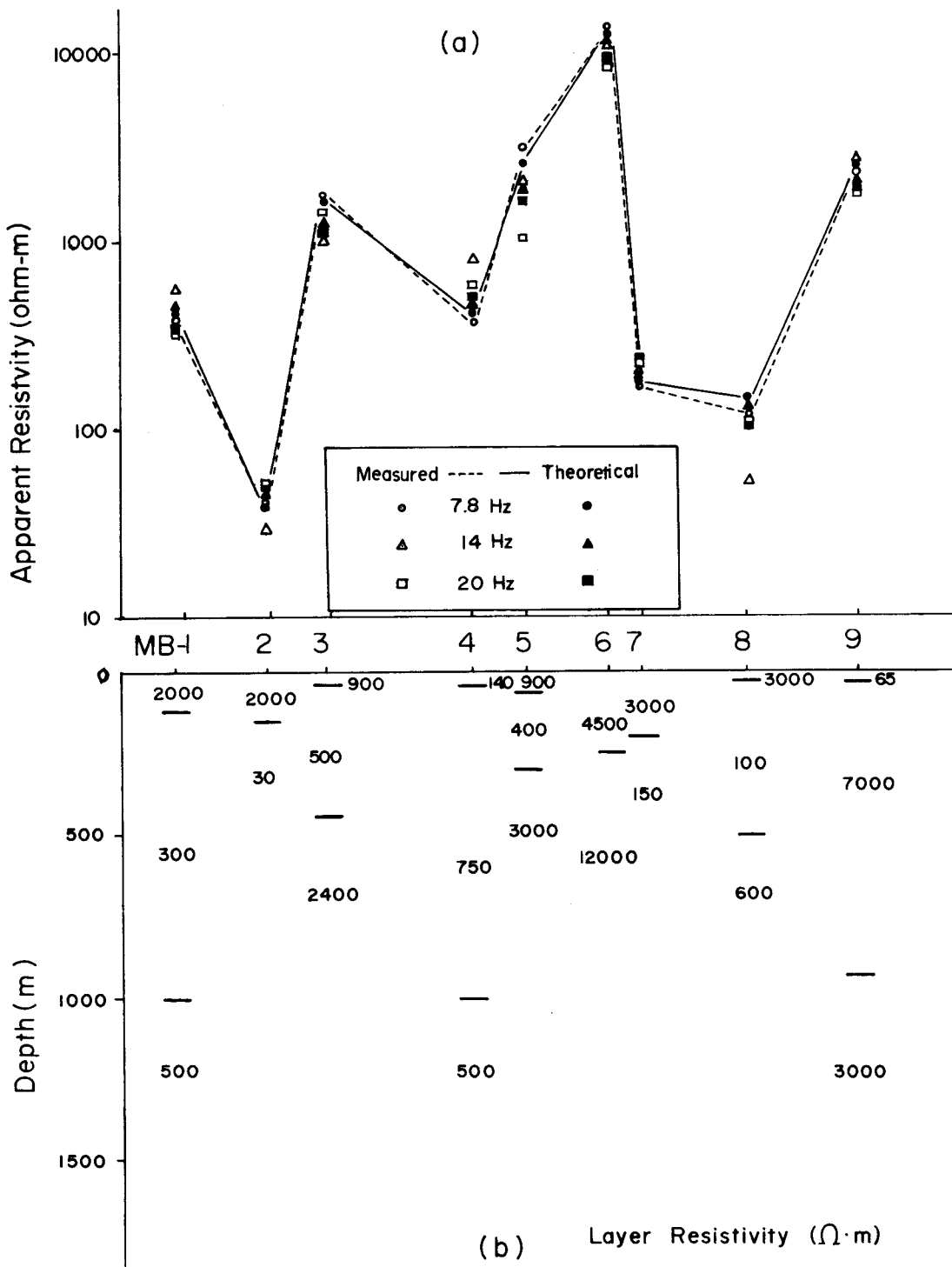


Fig. 3 (a) Mean apparent resistivity profiles of measured and calculated Value  
 (b) Interpreted resistivity section derived from one-dimensional inversion along survey line.

2) 2次元 構造 解析

1 次元構造 解析時 各 測點別로 測點下部構造는 水平 方向으로 一定하며, 단지 垂直方向으로만 電氣比抵抗 分布가 變化한다고 假定함으로서 隣接測點의 下部構造 와는 獨立의으로 取扱하였다. 그러나 測點間의 거리는 약 1km 程度이므로 隣接地域의 電氣比抵抗分布가 相異 할 때에는 이를 考慮해야하므로, 本研究에서는 有限要素法을 適用하여 數值解를 求했다.

測線下部의 地下斷面을 直四角形의 要素로 分割하였으며, 測點과 멀리 떨어져 있는 要素일 수록 測點에 미치는 影響이 작기 때문에 研究對象地域에서는 細分하고 外廓으로 가면서 크게 하였으며, 電子計算器의 記憶容量과 計算의 效率性을 考慮하여 총 416개의 要素로 分割하였다(Fig. 4). 또한 外廓境界 設定時에 表皮深度의 3-4倍 정도 擴張할 경우에는 外廓境界에 의한 誤差는 許容 可能하므로(Reddy et al, 1975), 本研究地域中 最大表皮深度는 MB-6에서 19.8km 이므로 要素岡의 크기는 가로 145.0km, 地表面 上部로는 48.5km, 下部로는 69.0km로 하여 最大表皮深度의 3.2倍를 延長하여 外廓境界를 設定하였다.

식(7)의 解를 求하기 위한 外廓境界條件으로는 下部境界에서는 電氣場과 磁氣場 成分이 0이 되도록 하였으며, 左右境界에서는 垂直方向의 偏微分이 0이 되도록 하였다. 上部境界인 空氣層의 最上部에서는  $H_x=(1.0, 0.0)$ 이고  $E_x=(1.0, 0.0)$ 인 常數값을 取하였다(Reddy et al, 1975). 이와 같은 有限要素岡과 境界條件을 利用하여 等方均質한 媒質들의 不規則한 形態와 크기를 갖지만 한 方向(走向方向)으로는 一定한 2次元構造解析

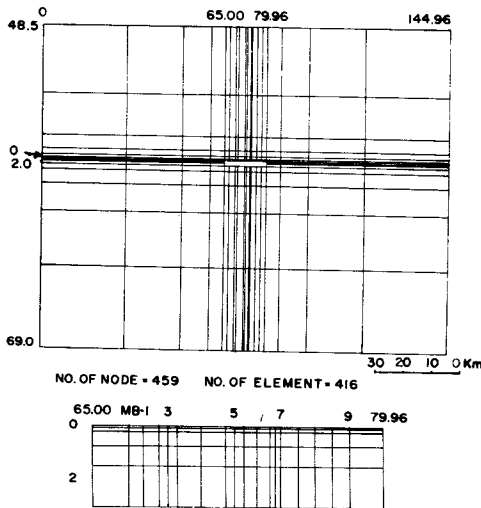


Fig. 4 A finite element mesh for two dimensional modeling.

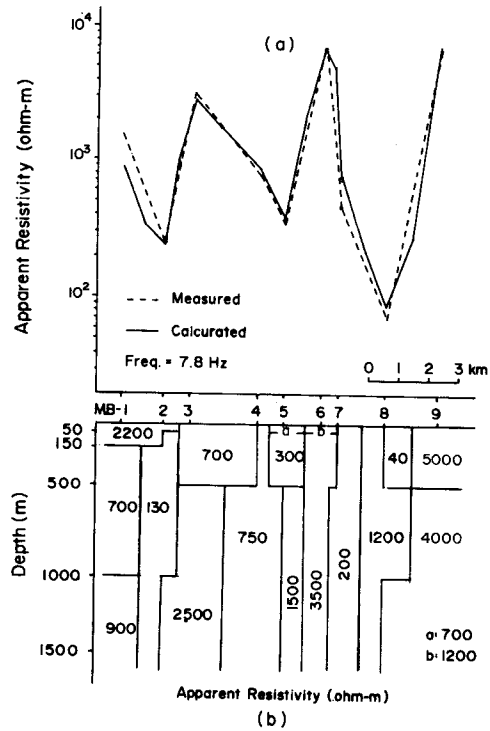


Fig. 5 (a) Apparent resistivity profiles of the measured and calculated values for two-dimensional model (b) Interpreted resistivity section along survey line.

을 實施하였다.

2次元構造 解析時 가장 重要한 最初 모델의 設定은 1次元 解析結果 얻어진 층별 電氣比抵抗값과 두께는 利用하였으며, 인접하고 유사한 電氣比抵抗값을 갖는 部分은 한 媒質로 묶어 各各의 要素에 該當하는 電氣比抵抗값을 附與했다. 最初 모델에 의한 外見電氣比抵抗값을 求한 後, 測定値와 差異가 最小가 되도록 모델을 修正하여 反復 計算하였다.

Fig. 5(b)는 모델 修正結果 最終的으로 求한 解析結果圖이며, Fig. 5(a)는 最終的으로 求한 모델에 對하여 周波數는 7.8Hz 이고 E-Polarization 인 境遇에 計算한 外見電氣比抵抗값과 測定外見電氣比抵抗값을 比較한 것이다.

測點 MB-1에서 MB-7 사이의 沃川層群 地域은 700-3500 ohm-m, MB-8과 MB-9사이의 朝鮮累層群 地域은 40-5000 ohm-m의 電氣比抵抗값을 가지며, 研究地域 構成岩石의 電氣比抵抗은 Table 2와 같다.

MB-2(新堂里) 測點下部와 MB-7과 MB-8(꼬부랑재) 測點사이의 地域은 130-250 ohm-m의 낮은 電氣比抵抗값을 나타내는데 이는 斷層과 이에 隨伴된 破碎帶

Table 2 Resistivity ranges of rocks (Telford et al, 1976, \* measured by Yun, 1988)

Rock	Resistivity (Ohm-m)
Granite	$3 \times 10^2 - 10^6$
Schist	20-10 <sup>4</sup> * 9941-20086
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Graphitic Slate	10-10 <sup>2</sup> * $8.54 \times 10^{-4}$
Gneiss	$6.8 \times 10^4 - 3 \times 10^6$
Limestone	1- $6.4 \times 10^6$ * 2110-2747
Dolomite	50-10 <sup>7</sup> * 4332
Amphibolite	* 10524-37361
Metabasite	* 3349-4386
Phyllite	* 9004-12556

의 존재 때문인 것으로 解析되며, 모두 西쪽으로 高角度로 傾斜하고 있으나, MB-6 測點下부의 3500 ohm-m의 電氣比抵抗값을 갖는 部分은 봉화재 斷層帶의 軟弱部를 따라 貫入한 電氣比抵抗값이 높은 角閃石斑糲岩과 이 一帯에 分布하는 metabasite의 影響으로 解析된다. 이는 重力探查結果(朴惠心, 1987)와 잘 一致하고 있으나 雙極子排列法探查結果(尹春成, 1988)와도 電氣比抵抗값의 差異는 있으나 變化樣相은 잘 一致하고 있다. 電氣比抵抗값의 差異는 要素의 크기가 충분히 細分되어 있지 못하여 여러 周邊岩石들이 하나의 要素에 包含되기 때문으로 思料된다.

MB-4(炭枝里) 下部에서는 周邊部보다 낮은 750 ohm-m의 電氣比抵抗값을 나타내는데, 이는 野外地質調査(閔庚德外, 1987)에서도 확인된 黑雲母花崗岩이 岩株狀으로 分布하고 있기 때문이다.

MB-8 測點右測의 극히 낮은 40 ohm-m의 電氣比抵抗값을 보이는 部分은 電氣比抵抗이 매우 낮은 黑鉛質黑色粘板岩을 주로 하는 龍岩層이 分布하기 때문에 解析된다. 그러나 이 層은 下部로 延長되지 않고 野外地質調査(閔庚德外, 1987)에서도 南北方向으로 延長이 부족하고, 層理의 走向과 傾斜가 大石灰岩層群과 類似的한 點으로 보아 不整合 關係로 思料된다.

MB-7과 MB-8 測點사이의 大石灰岩層群이 隣接地域과 다른 大石灰岩層보다 낮은 1200 ohm-m의 電氣比抵抗값을 갖는 이유는 左側의 봉화재 斷層帶와 右側에 存在하는 電氣比抵抗값이 매우 낮은 龍岩層 때문이다.

## 結 論

沃川帶內 沃川層群과 朝鮮累層群의 關係 및 地質과 地質構造를 研究하기 위하여 新堂里와 道田里 사이의 總 20Km의 測線을 設定하고 9個의 測點에서 MT探查와 野外地質調査를 實施하고 이들을 綜合 解析한 結果는 다음과 같다.

1. 本 研究地域에서 沃川層群과 朝鮮累層群은 꼬부랑재附近에서 斷層으로 接하고 있으며, 沃川層群은 700-3500 ohm-m, 朝鮮累層群은 40-5000 ohm-m의 電氣比抵抗값을 갖는다.

2. 新堂里 附近과 꼬부랑재 附近의 130과 200 ohm-m의 낮은 電氣比抵抗값은 이 地域에 發達된 新堂里斷層과 봉화재斷層 및 이에 수반된 破碎帶로 解析되며 모두 西쪽으로 高角度로 傾斜하고 있다.

3. 炭枝里 附近의 周邊部보다 낮은 750ohm-m의 電氣比抵抗값은 이 地域에 岩株狀으로 貫入分布하고 있는 花崗岩體에 起因한다.

4. 水山里와 꼬부랑재 사이의 3500 ohm-m의 높은 電氣比抵抗값은 metabasite와 이를 貫入한 角閃石斑糲岩 때문이다.

5. 大石灰岩層內에 分布하는 40 ohm-m의 극히 낮은 電氣比抵抗값은 黑鉛質黑色粘板岩으로 構成된 龍岩層 때문이다, 이는 大石灰岩層위에 不整合으로 分布하고 있는 것으로 解析된다.



## 参考文献

- 閔庚德, 金玉準, 金奎漢(1987), 沃川帶의 地質과 地構造 研究-忠州-堤川 中間地域의 地質과 地構造-, 韓國科學財團 研究報告書, 38p.
- 朴惠心(1987), 堤川 西南部 沃川帶 地域에 대한 重力探查 研究, 延世大學校 大學院 地質學科 碩士學位論文.
- 尹春成(1988), 沃川帶內 德山面 地域에 대한 電氣比抵抗探查 研究, 延世大學校 大學院 地質學科 碩士學位論文, 43p.
- 鄭承桓(1979), 有限要素法에 의한 IP 모델링 研究, 서울大學校 大學院 資源工學科 博士學位論文, 115p.
- (1986), 金屬鑛床 探查를 위한 AMT 探查法, 大韓鎭山學會誌 제23권 1호, p. 9-15.
- Cagniard, L.(1953) Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics* Vol.18, p.605-635.
- Chung, S.H.(1984) Etude de l'effect des structures a deux dimensions en magnetotellurique par la methode des elements finis, These de Docteur Ingenieur, I.N.P.L., Nancy, France.
- Kaufman, A.A. and Keller, G.V.(1981) The magnetotelluric sounding method, Elsevier, 559p.
- Kunetz, G., et al.(1975) Principles of magnetotelluric prospecting, Geruder Borntraeger, Berlin-West-Stuttraart, 118p.
- Reddy, I.K. and Rankin, D.(1975) Magnetotelluric response of laterally inhomogeneous and anisotropic media, *Geophysics* Vol.40, p.1035-1045.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A. (1976) *Applied geophysics*, Cambridge Univ.Press, 860p.
- Zienkiewicz, O.C.(1977) The finite element method 3rd ed., MacGraw-Hill, 787p.