

# 母岩의 電氣比抵抗 變化에 따른 外見比抵抗의 變化樣相에 關한 模型研究

閔 庚 德\* · 全 明 純\*\*

## A Model Study on the Variation of Apparent Resistivity along with Electric Resistivity Change of Host Rock

Kyung Duck Min · Myoung Soon Jun

**Abstract:** A model study was conducted for the investigation of apparent resistivity variation along with electric resistivity variation of host rock and dip variation of bed.

Experiments were carried out for the cases of horizontal and dipping beds in a water tank by using Wenner and Schlumberger arrays and by changing salinity of water. The ratios of resistivity values of the bed to that of brine were 1 : 10, 1 : 50, 1 : 100 and 1 : 500.

Natural coally-shale of 55cm×35cm×3.5cm was used as a bed for experimental model, and brine as a host rock.

Equi-resistivity curves and characteristic curves were obtained for each case of the experiment. The equi-resistivity curve was drawn both on the cross section parallel to strike of bed and longitudinal section perpendicular to it. The characteristic curve was drawn on the cross section. In the case of dipping bed of different dips, the curves are parallel to the boundary of the bed in the upper part of the bed, and are inclined to the opposite direction with the same angle of the dip of bed in the lower part. We can deduce, from the equi-resistivity curves, the location, shape and dip of the bed.

It is shown in the characteristic curves that when the ratio of resistivity value of bed to that of host rock increases, the slope of curves becomes steeper, location of low-resistivity zone lower, and the width of it narrower. The slope of curves also becomes steeper when dip of bed increases. We can deduce, from the characteristic curves, the ratio of resistivity values between adjacent beds.

It was found out from the experiments that electric resistivity method could be applicable to prospecting for underground geology with an electric resistivity contrast of 1 : 10. This fact strongly suggests that distinction of coal from coally-shale could be possible in a certain field condition.

### 1. 序 論

地下를 構成하고 있는 岩石, 鑛物의 諸般 物理的 性質中 電氣的 性質을 利用한 電氣比抵抗法은 有用鑛物, 地下水 및 地下 地質構造探査에 많이 利用되는 地球物理探査法中의 하나이다.

電氣比抵抗法의 보다 効率的인 探査에의 應用을 위한 三次元 模型研究는 外國의 境遇 1930年頃 이래 現

今까지 繼續되고 있으며, 國內에서도 1965年(洪準箕, 김진만 以來 많은 研究가 活發히 進行되었다. 特히 石炭資源의 探査와 開發을 위한 電氣比抵抗法에 對한 模型研究(梁都一外 2人, 1976, 徐正熙, 1977, 柳仁杰外 2人, 1976)도 行해지고 있으나 아직까지 炭層 自體에 依한 anomaly 研究에만 그쳐 實際 探査時 가장 큰 問題點中의 하나로 指摘되고 있는 母岩의 電氣比抵抗의 變化에 따른 炭層의 外見比抵抗의 變化樣相 및 炭層과 炭質砂岩이나 炭質 shale 과의 區別 可能性에 關한 研究는 未洽한 狀態이다.

\*연세대학교 지질학과

\*\*자원개발연구소 기초연구실

本 研究에서는 水槽桶을 利用하여 模型層의 傾斜 및 測線條件을 變化시켜 가면서 母岩인 水溶液의 電氣比 抵抗 變化에 따른 外見 比抵抗의 變化樣相에 關하여 調査하였다. 特히 炭層과 周圍 炭質砂岩이나 炭質 shale 과의 電氣比抵抗值의 比가 極히 작은 點을 고려하여, 炭層과 炭質砂岩이나 炭質 shale 과의 區別 可能性을 調査하였다. 그 區別이 可能하다면 어떻게 區別할 것인지를 알아보기 위하여 模型層과 水溶液과의 電氣 比抵抗值의 比의 變化에 따른 外見比抵抗의 變化樣相을 研究 考察함으로써 效率의인 石炭資源探查를 爲한 指針을 마련하는데 그 目的을 두었다.

2. 實 驗

母岩의 電氣比抵抗 變化에 따른 外見比抵抗의 變化 樣相을 考察하기 위하여 模型實驗을 실시하였다.

2-1 實驗裝置: 본 實驗에서 外見電氣比抵抗 測定을 爲한 爲한 實驗裝置는 다음과 같다.

水槽桶은 가로 190cm, 세로 120cm, 높이 100cm의 木製桶이며 (민경덕, 이영훈, 1979), 水桶槽內에는 NaCl 水溶液을 채워 이를 模型母岩으로 생각하였다. 母 岩의 電氣比抵抗은 NaCl 水溶液의 濃도를 변화시킴으 로써 조절하였다.

電極은 가로 93cm, 세로 15.5cm, 두께 2.5cm의 絕 緣體인 Bakelite 판에 一列로 2cm 間隔으로 41개의 구 멍을 뚫고, 여기에 直徑 4mm, 길이 4cm의 炭素棒 을 고정시킨 것이다. (민경덕, 이영훈, 1979). 이 전 극판은 上下 및 水水平移動이 가능하여 水槽桶內에서 水 溶液의 水深과 測線의 위치를 변화시킬 수 있다. 또한 각 전극은 配電盤上의 端子에 연결되어 있어서 필요한 위치에 있는 전극을 移動하지 않고 配電盤에서 選擇, 使用할 수 있게 하였다.

電氣比抵抗測定機는 Yokogawa type 3244이며 (민 경덕, 이영훈, 1979), 이의 電源으로는 직접 제작한 ac -dc 變換機에 의해 ac 100volt의 入力를 dc 12 volt로 變換하여 使用하였다.

模型層은 가로 55cm, 세로 35cm, 두께 3.5cm인 coally shale 自然石으로서 이의 固有電氣比抵抗值은 0.1Ω-m 이다.

다음으로 本 實驗에 使用된 固有電氣比抵抗 測定을 爲한 裝置는 Fig.1에서 보는 바와 같다.

測定하려는 物體의 上下端에 놓인 水銀을 媒體로 하여 Yokogawa type 3244의 電流電極과 電位電極을 각 物體의 兩端에 接觸시킨다. 이때 水銀은 物體와 電 極과의 電氣的 接觸을 양호하게 해줌으로서 測定誤差 를 적게 한다.

物體의 斷面積을 A, 길이를 L이라 할 때 이의 固有

$$\rho = \frac{A}{L} R$$

로 주어진다. 여기서 R은 電氣比抵抗 測定機에 依해 測定된 物體의 電氣抵抗이다.

끝으로 NaCl 수용액의 固有電氣比抵抗을 測定하기 爲한 美國製 Model CA-2A Type Conductivity Meter 를 使用하였다.

2-2 實驗方法: 前述한 實驗裝置의 性能을 檢討하기 爲한 模型層을 넣지 않은 상태에서 Wenner 및 Schlumberger 配列法을 利用하여 Blank Test 를 실시하였으 며, 그 結果는 양호하였다. (민경덕, 이영훈, 1979).

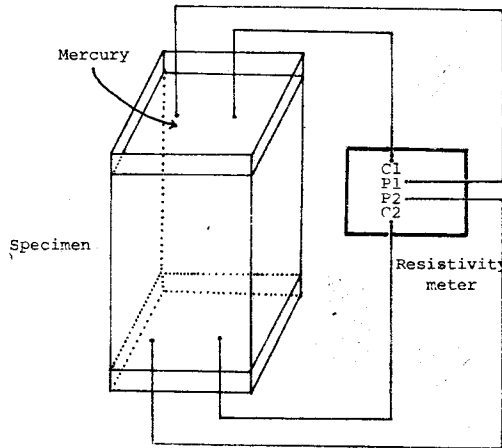


Fig.1 Measuring set-up for the electric resistivity of a specimen

또한 實驗中 誤差를 일으킬 수 있는 水溶液의 溫度 變化와 蒸發現象을 最少한으로 줄이기 爲한 爲한 單시간 內에 實驗을 行하였으며 水桶桶 境界面의 影響을 없애 기 爲한 爲한 水桶桶의 中央에서 實驗을 行하였다.

本 實驗을 爲한 水桶桶內의 水深은 항상 35cm로 固定하였으며, 水水平模型層은 水面으로부터 6.5cm되는 깊이 에 위치시켰고, 傾斜模型層은 傾斜角을 30°, 45° 및 60°로 취하여 層의 一端 끝이 항상 水面에 接하도록 위치시켰다.

NaCl 水溶液의 電氣比抵抗은 NaCl의 양을 調整하여 模型層과의 電氣比抵抗值의 比가 1:10, 1:50, 1:100 및 1:500이 되도록 變化시켰다.

上記 實驗條件 各各에 對하여 Wenner 및 Schlumberger 配列法에 의한 電氣比抵抗 水水平 및 垂直探查를 실시하였다.

探查 測線은 模型層의 走向과 平行한 경우와 이에 垂直되는 方向으로 設定하였으며, 傾斜層인 경우 走行 과 平行한 測線은 層과의 거리가 6.5cm 되는 위치에 設定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

電氣比抵抗法에 依한 模型實驗으로 부터 各 實驗條件에 따른 等比抵抗曲線圖를 作成 考察하였다. 또한 母岩의 電氣比抵抗 變化에 따른 外見電氣比抵抗의 變化樣相을 考察하기 위하여 電極間隔(Wenner 配列法인 경우에는  $a$ , Schlumberger 配列法인 경우에는 電流電極 間隔의  $1/2$  인  $L$ )과 模型層의 깊이( $Z$ )의 比를 橫軸에, 測定된 外見比抵抗值( $\rho_a$ )와 模型層의 固有比抵抗( $\rho_1$ )과의 比를 縱軸으로 log-log paper 에 plot 한 特性曲線을 作成 考察하였다. 이들에 對한 實驗結果 및 考察은 다음과 같다.

3-1 等比抵抗曲線圖: 이는 測線을 模型層의 走向과 平行하게 設定한 경우 (세로斷面)와 測線을 模型層의 走向에 直角으로 設定한 경우 (가로斷面) 각각에 對하여 Wenner 및 Schlumberger 配列法에 依해 測定된 外見比抵抗值를  $0.2\Omega\text{-m}$ ,  $1\Omega\text{-m}$ ,  $2\Omega\text{-m}$  또는  $10\Omega\text{-m}$ 의 間隔으로 作成한 等比抵抗 斷面圖이다.

1) 세로 斷面圖: Fig. 2는 模型層과 주위 模型母岩의 電氣比抵抗值의 比가  $1:10$  이고 層의 傾斜가  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  및  $60^\circ$ 로 變化할때의 세로 斷面圖이다.

外見電氣比抵抗值는 같은 깊이에서는 Schlumberger 配列法에 依해 測定한 값이 Wenner 配列法에 依해 測定한 값보다 낮게 나타난다.

等比抵抗曲線의 樣相은 模型層이 位置하고 있는 곳에서는 外見比抵抗의 값이 一定하여 層의 上下 境界면과 거의 平行하며, 層의 양 끝에서는 그 값이 增加하여 曲線은 아래로 구부러진다. 두 配列法 共히 깊이가 增加함에 따라 外見比抵抗值는 減少하다가 增加하며, 等比抵抗曲線의 間隔은 넓어진다. 이는 模型層의 固有比抵抗值가 주위의 模型母岩인 NaCl 水溶液보다 낮기 때문이며, 또한 模型層의 두께가 얇아서 層으로 부터 멀어 질수록 層의 影響을 적게 받기 때문이다.

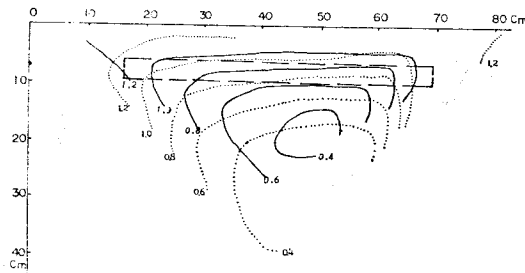
이와같은 等比抵抗曲線圖의 樣相은 模型層과 주위 模型母岩의 電氣比抵抗值의 比가  $1:50$ ,  $1:100$  및  $1:500$ 인 경우에도 모두 같았으며 단지 模型母岩의 固有比抵抗值의 增減에 따라 等比抵抗曲線의 值가 增減할 뿐이다.

또한 같은 實驗條件下에서는 水平層으로 부터 傾斜가  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  및  $60^\circ$ 로 增加해 가면서 같은 깊이에서의 外見比抵抗值는 점점 낮아지는데 이는 斷面에 나타나는 層의 두께가 傾斜가 클수록 크게 나타나기 때문이다.

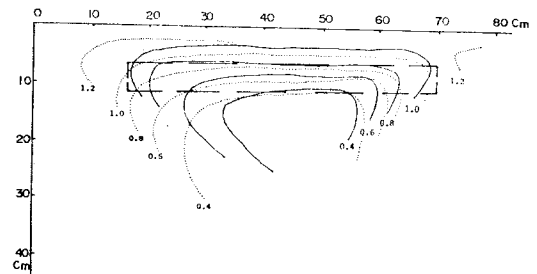
2) 가로斷面圖

Fig. 3은 模型層과 주위 模型母岩의 電氣比抵抗值의 比가  $1:10$ 이고 層의 傾斜가  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  및  $60^\circ$ 로 變化 할때의 가로 斷面圖이다.

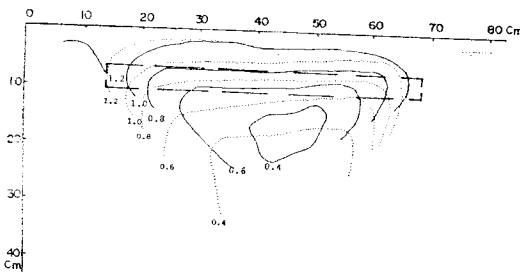
a) 水平模型層(Fig. 3A): 模型層이 位置한 곳을 지나



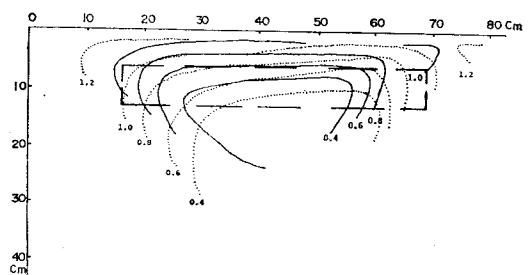
(A) Dip of bed is  $0^\circ$



(C) Dip of bed is  $45^\circ$



(B) Dip of bed is  $30^\circ$



(D) Dip of bed is  $60^\circ$

Fig. 2 Equipotential curves on the cross section of water tank;  $\square$  bed, — Wenner array, ..... Schlumberger array. Number on the curve represents the value of apparent resistivity.

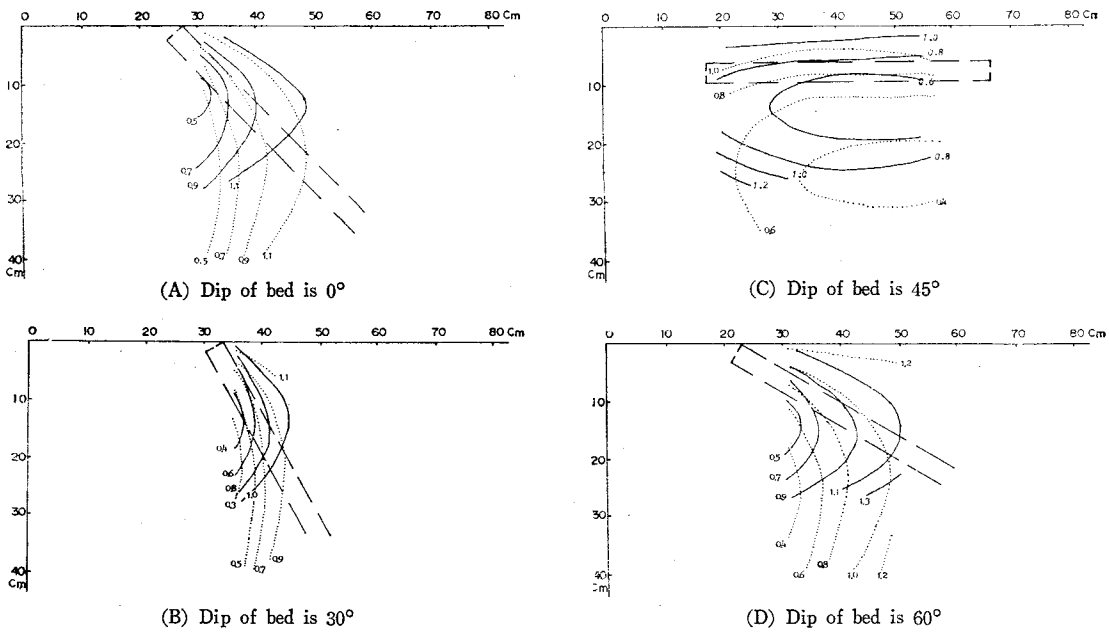


Fig. 3 Equi-resistivity curves on the longitudinal section of water tank; □ bed, — Wenner array, ..... schlumberger array. Number on the curves represents the value of apparent resistivity.

下部로 가면서 電氣比抵抗의 間隔은 넓어지다가 다시 좁아진다. 電氣比抵抗의 값이 減少하는 것은 模型層의 固有比抵抗値가 주위 模型母岩의 그것보다 낮기 때문이며, 그 값이 다시 增加하는 것은 層의 두께가 얇고 層으로 부터 거리가 멀어짐에 따라 層의 영향을 적게 받기 때문이다.

b) 傾斜 30° (Fig. 3B) : 外見比抵抗値는 模型層 上部에서는 깊이가 增加함에 따라 減少하다가 그 下部에서는 增加하는데 그 增加率이 세로 斷面圖보다 더 뚜렷하다. 等比抵抗曲線의 樣相은 模型層 上部에서는 層과 平行하고 稠密하나 깊이가 깊어짐에 따라 그 間隔은 넓어진다. 模型層 下部에서는 曲線의 間隔이 다시 좁아지면서 模型層 上部에서와는 反對方向으로 30° 정도의 角을 이룬다.

c) 傾斜 45° (Fig. 3C) : 外見比抵抗値의 깊이에 따른 變化나 等比抵抗曲線의 樣相은 傾斜가 30°인 경우와 類似하나 層의 下部에서는 等比抵抗曲線의 傾斜가 層과 反對方向으로 45° 정도 角을 이루는 點이 다르다.

d) 傾斜 60° (Fig. 3D) : 外見比抵抗値의 깊이에 따른 變化나 等比抵抗曲線의 樣相은 傾斜가 30°나 45°인 경우와 類似하고 層의 下部에서는 等比抵抗曲線의 傾斜가 層과 反對方向으로 60° 정도 角을 이루는 點이 다르다.

이와같은 等比抵抗曲線圖의 樣相은 模型層과 주위 模

型母岩의 電氣比抵抗値의 比가 1 : 50, 1 : 100 및 1 : 500인 경우에도 모두 같았다.

이상의 세로 및 가로 斷面의 等比抵抗曲線圖로 부터 電氣比抵抗値의 比가 極히 적은 1 : 10인 경우에도 電氣比抵抗 探查法은 그 適用이 可能함을 알 수 있다. 즉, 세로 斷面圖에서는 層의 賦存形態를, 가로 斷面圖에서는 層의 傾斜 정도와 賦存位置를 推定할 수 있다.

3-2 特性曲線圖 : Fig. 4는 模型層과 模型母岩과의 電氣比抵抗의 比의 變化에 따른 外見比抵抗의 變化樣相을 나타내는 曲線圖이다. 이 曲線圖은 測線을 走向과 平行하게 設定하여 測定한 세로 斷面圖의 data로 부터 作成하였으며 이를 考察하던 다음과 같다.

1) 模型層과 주위 母岩과의 電氣比抵抗値의 比가 1 : 10, 1 : 50, 1 : 100 및 1 : 500인 경우 모두 模型層에 이르기 전 깊이에서는 特性曲線의 기울기가 0에 가깝다. 模型層이 位置하고 있는 깊이를 지나면서 기울기는 커지고, 一定한 깊이에 이르면 기울기가 0인 低比抵抗帶를 形成한다. 깊이가 더욱 增加하면 曲線의 기울기는 逆轉된다. 그러나 特性曲線의 기울기는 1 : 10, 1 : 50, 1 : 100 및 1 : 500인 경우가 각각 다르다. 즉, 1 : 10인 경우가 가장 작고 1 : 50, 1 : 100 및 1 : 500으로 가면서 점점 커진다.

2) 電氣比抵抗値의 比가 같은 條件에서는 水平層으로부터 傾斜가 30°, 45° 및 60°로 增加하면서 特性曲

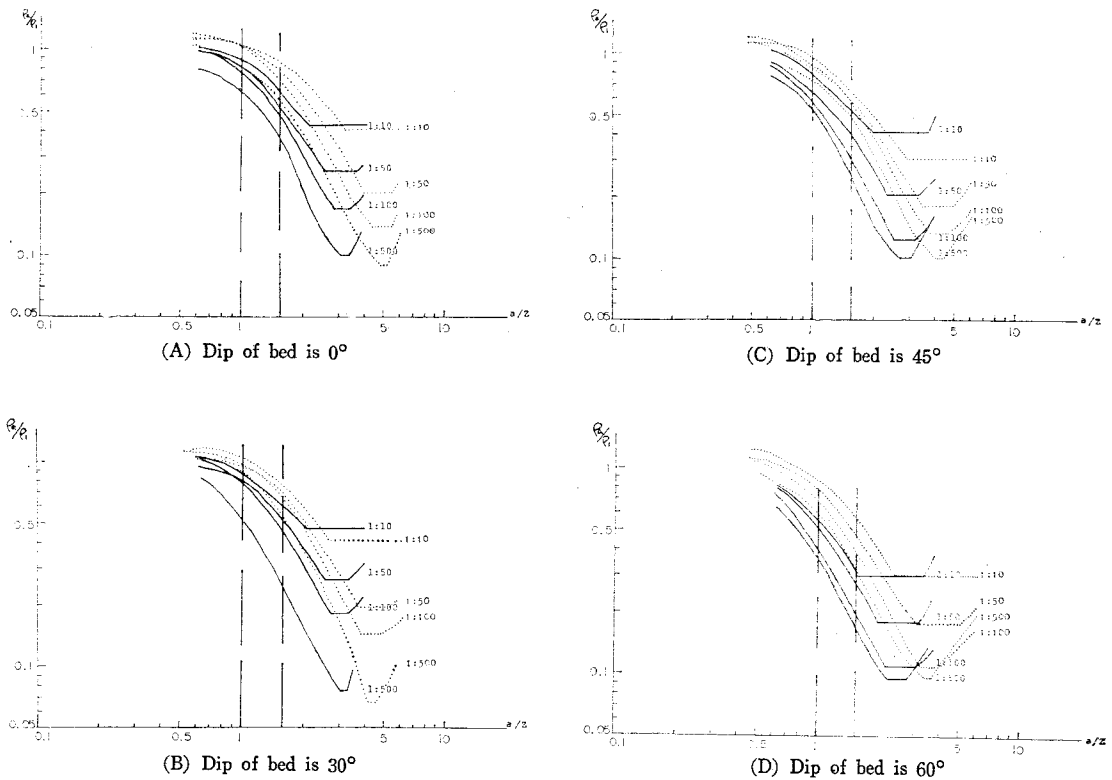


Fig. 4 Characteristic curves of the quantity  $\rho a / \rho_1$  versus  $a/Z$ ;  $\square$  bed, — Wenner array, ..... schlumberger array. Number on the curve represents the ratio between resistivity values of bed and host rock.

線의 기울기가 커진다.

3) 低比抵抗帶의 位置는 層과 母岩과의 電氣比抵抗值의 比가 1:10, 1:50, 1:100 및 1:500으로 變해 가면서 점점 낮아지고 低比抵抗帶의 폭은 좁아진다.

以上の 特性曲線圖로 부터 電氣比抵抗值의 比가 極히 작은 1:10인 경우에도 電氣比抵抗探查法은 그 적용이 可能하다. 즉, 特性曲線의 기울기나 低比抵抗帶의 位置를 考察, 解析함으로써 地下 地層間의 電氣比抵抗值의 比를 類推할 수 있으며 이는 또한 石炭과 炭質 shale의 區別에도 利用이 可能할 것으로 思料된다.

#### 4. 野外調査

實驗에 依해 얻어진 特性曲線을 실제 野外探查 結果 解析에 적용할 수 있는지의 與否를 檢討하기 위하여 忠北 報恩炭田 一帶에서 電氣比抵抗探查를 실시 하였다.

測線은 40m 間隔으로 含炭層內에 炭層의 豫想走向과 平行하게 設定하고, 測線上에서 30~40m 間隔으로 15個의 測點을 設定하였다(Fig. 5). 각 測點에서 Schlumberger 配列法에 의해 電氣比抵抗 垂直探查를 실시 하였다.

測定器機로는 Sweden 製 Abem DC Terrameter를 使用하였다.

#### 4-1 報恩炭田의 地質概要

本 炭田은 忠北 報恩郡 馬老面에 位置하며 本域의 地質은 大石灰岩統으로 보이는 石灰岩類와 平安系에 對比되는 變性堆積岩類 및 이들을 貫入한 球顆狀流紋岩으로 構成되어 있다. 石灰岩類는 斷層에 의해 變性堆積岩類 上部에 位置한다.

變性堆積岩類는 下部로 부터 片岩帶와 含炭帶로 區分되고 片岩帶는 絹雲母片岩으로 構成되며 一部 變性度가 약한 地域에서는 黑色砂岩으로 存在한다.

含炭帶는 이들 變性堆積岩類 上部에 位置하고 黑色 shale로 構成되어 있으며 層厚는 約 40m에 달한다. 이들의 走向은 大개 N60°E, 傾斜는 NW45°이고, 이 含炭帶下部에 연속이 좋지 않은 炭層이 狹在한다.

本 地域에 分布하는 岩石의 顯微鏡 觀察에 의하면 絹雲母片岩의 主成分鑛物은 quartz, sericite, opaque

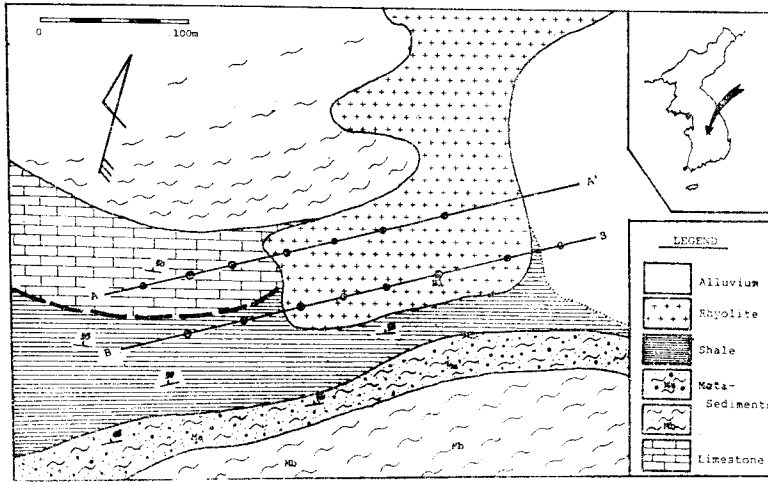


Fig. 5 Geologic map of Boeun coal mine area.

mineral 이고, 副成分鑛物은 zircon, hematite, biotite 로 構成된다.

石英粒子 相互間은 polygonal-granoblastic texture 를 보이며, sericite 에 의해 둘러싸인 이들 石英粒의 集合體는 眼球狀이나 lens 狀으로 된 lepidoblastic texture 를 보인다.

원마도가 좋은 zircon 은 本岩이 堆積起源임을 指示한다.

黑色砂岩은 變質을 받은 carbonaceous sericite, sandstone 으로 石英粒 사이의 結晶部分이 部分的으로 再結晶 받아 崩陷상組織을 보이나, 아직도 源來의 組織을 상당히 維持하고 있다. 構成鑛物은 quartz, sericite, carbon, hematite 이다.

黑色 shale 은 quartz, clay, carbon, sericite 와 white mica, tourmaline 으로 構成되며 再結晶 된 程度의 差異가 있어 帶狀으로 나타난다.

石灰岩은 calcite 와 少量의 magnetite 로 構成되며, calcite 는 cleavage 가 잘 발달되었고 여기에 rupture 가

Table. 1 Resistivity values of rocks taken from Boeun coal mine area.

Rock Name	Resistivity (unit: $\Omega$ -m)
Limestone	1,000,000
Sandstone	570,000-810,000
Rhyolite	44,000-160,000
Schist	20,000
Shale	410-560
Coaly shale	0.6
Coal	0.1

발달되어 本岩이 再結晶된 후 dynamic-metamorphism 을 받은 것으로 보인다.

球狀狀流紋岩은 orthoclase, plagioclase, quartz, sericite 로 構成된 matrix 와 spherulite 반경으로 이루어져 있다.

本地域에서 採取한 岩石에 對하여 실험실에서 固有電氣比抵抗値를 測定한 結果는 Table 1 과 같다.

4-2 野外調査에 의한 特性曲線

野外調査結果 測點 B<sub>1</sub>(Fig. 5 참조)에서 얻은 特性曲線은 Fig. 6 과 같다. 그림에서 橫軸에 표시한 data는 測點 B<sub>1</sub>에서 實施한 試抽 data 이다.

特性曲線은 實驗結果와 같은樣相을 보인다. 그림에서 curve I 로 表示된 部分은 shale 層과 그 下部의 rhyolite 層 (shale 과 rhyolite 의 電氣比抵抗의 比는 1 : 200) 에 의한것이고, curve II 로 表示된 部分은 shale 層과 그 下部의 sandstone 層 (shale 과 sandstone 과의 電氣比抵

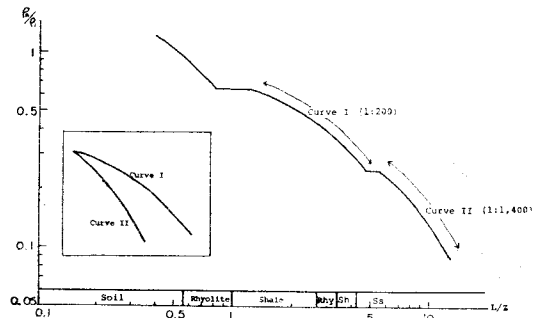


Fig. 6 Characteristic curve obtained from surveying point B1 on Fig. 5. Rectangular area indicates the difference in slopes of curve I and II. Boring data are displayed along the abscissa.

抗의 比는 1 : 1,400)에 의한 것이다.

두 경우 모두 shale 層이 存在하는 位置에서는 기울기가 0 이고, shale 層을 지나 깊이가 깊어짐에 따라 기울기는 증가하며, 增加率은 두 경우가 각각 다르다 (Fig. 6의 직사각형내의 그림참조). 즉 shale 과 電氣比抵抗의 比가 큰 sandstone 에 의한 curve II 가 shale 과의 電氣比抵抗의 比가 작은 rhyolite 에 의한 curve I 보다 기울기가 더 크다.

이는 실험에서 얻은 特性曲線의 結果와 잘 一致한다.

### 5. 結 論

電氣比抵抗法을 利用한 水槽實驗을 통해서 等比抵抗曲線圖와 特性曲線圖를 作成하고, 이를 分析, 解析하여 野外調查와 比較, 檢討하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 電氣比抵抗值의 比가 1 : 10인 경우 (우리나라 炭과 炭質 shale 의 電氣比抵抗值의 比는 1 : 15~1 : 650)에도 電氣比抵抗探查法은 그 적용이 可能하다.
- 2) 等比抵抗曲線圖에서 水平層인 경우 曲線은 層의 上下 境界면과 平行하며, 傾斜層인 경우 層 上部에서는 層의 境界면과 平行하고 層의 下部에서는 層의 傾

斜와 反對方向으로 層의 傾斜와 같은 角度로 傾斜한다.

3) 上記 2)의 結果는 等比抵抗曲線圖로 부터 層의 賦存位置, 傾斜정도, 賦存形態를 推定할 수 있음을 示唆한다.

4) 特性曲線圖에서 層과 주위 母岩과의 電氣比抵抗值의 比의 變化에 따라 特性曲線의 기울기, 低比抵抗帶의 位置 및 그 폭은 각각 다르다. 즉, 電氣比抵抗值의 比가 커짐에 따라, 特性曲線은 기울기가 커지고, 低比抵抗帶의 位置는 낮아지고, 低比抵抗帶의 폭은 좁아진다.

5) 電氣比抵抗值의 比가 같은 條件에서는 水平層으로 부터 傾斜가 增加하면서 特性曲線의 기울기도 增加한다.

6) 上記 4) 및 5)의 結果는 特性曲線으로 부터 地下 地層間의 電氣比抵抗值의 比를 類推할 수 있으며, 이는 石炭과 炭質 shale 의 區別에 利用될 수 있음을 示唆한다.

7) 野外調查에서 얻은 特性曲線은 實驗에 의한 特性曲線과 같은 樣相을 보였으며, 그 變化樣相이 試抽 data 로 부터 類推한 結果와 잘 一致하였다.

### References

Dobrin, M. B., 1976. Introduction to Geophysical Prospecting. 3rd ed. McGraw-Hill

Endo, G., Takechi, M., and Matsuzaka, S., 1973. "Study on the three-dimensional modelling of strata in electrical prospecting—its experimental equipment and the accuracy of measurements" 일본 물리 탐광, vol. 26, No. 5, pp. 724-736

Endo, G., Takechi, M., and Matsuzaka, S., 1974. "Study on the three-dimensional modelling of strata in electrical prospecting a method of analyzing three dimensional modelling of strata in resistivity method" 일본 물리 탐광, vol. 27, No. 2, pp. 166-181.

Hong, C. K., and Kim, C. M., 1965. "A model study on resistivity method in electrical exploration" Jour. Kor. Inst. Mineral and Mining Engin. vol. 2, pp. 1-10.

Hyun, B. K., 1971. "A resistivity model study on topographical effects in dipole dipole method" Jour. Kor. Inst. Mineral and Mining Engin., vol. 8, pp. 1-9

Kigam, 1978, Geology of the Boeun coalfield.

Min, K. D., and Lee, Y. H., 1979. "An electrical resistivity model study for the interpretation of simple geologic structures" Jour. Kor. Inst. Mining Geol. vol. 12, No. 1, pp. 1-12

Parasnis, D. S., 1962. Principles of Applied Geophysics. Chapman & Hill, London

Pekeris, C. L., 1940. "Direct method of interpretation in resistivity prospecting" Geophysics, vol. 5, pp. 31-42

Suh, J. H., 1977. "A model study to detect continuity of subsurface coal seams by electrical prospecting method" Jour. Kr. Inst. Mineral and Mining Engin., vol. 14, No. 2, pp. 87-96.

Van Nostrand, R. G., and Cook, K. L., 1955. "Apparent resistivity for dipping beds a discussion" Geophysics, vol. 20, p. 140-147

Van Nostrand, R. G., and Cook, K. L., 1966. Interpretation of Resistivity Data, United States Government Printing Office, Washington, pp. 1-310

Vozoff, K., 1958. "Numerical resistivity-analysis; Ho-

- rizontal layers" *Geophysics*, vol. 23, No. 3, pp. 536-556
- Vozoff, K., 1960. "Numerical resistivity interpretation; general inhomogeneity" *Geophysics*, vol. 25, No. 6, pp. 1184-1194
- Watson, R. J., and Johnson, J. F., 1938. "On the extension of two-layer methods of interpretation of earth resistivity data to three and more layers" *Geophysics*, vol. 3, pp. 7-21
- Zohdy, A. R., 1965. "The auxiliary point method of electrical sounding interpretation, and its relationship to the dar Zarrouk parameters: *Geophysics*, vol. 30, pp. 644-660