

# 地層模型에 의한 電氣比抵抗 探查法 研究

閔 庚 德\* · 李 英 焄\*

## A Study on the Electrical Resistivity Prospecting for Geologic Model Strata

Kyung Duck Min · Young Hoon Lee

**Abstract :** A model study was conducted for the interpretation of simple geologic structures. Experiments were carried out for the cases of two horizontal beds and dipping beds in a water tank by using Wenner and Schlumberger arrays respectively. As a geologic stratum of experimental model, cement be (cement: sand=1:2) of 70cm×60cm×10cm was used.

It was found out from a preliminary experiment that a measuring sounding of Wenner arrays is one third of the distance between two current electrodes, and Schlumberger arrays is one fourth of the distance which is a half of the value determined by usual method of calculation.

Equi-resistivity curves were obtained for the cases of horizontal beds and dipping beds, and mapped on the longitudinal and cross sections of the water tank. These curves delineate the shape and degree of dip of bed to some extent. The calculation of depth to beds by using a master curve is somewhat complicated and inexact. In this study, new method for this calculation using a  $\rho_a/\rho_1$ -a graph was proposed, and turned out that this method is simpler and exact.

### 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 電氣比抵抗探查法은 有用 鑛物, 地下水 및 地下地質構造 探查에 많이 利用되는 地球物理探查法中의 하나이다.

지금까지의 電氣比抵抗法을 利用한 三次元 模型研究은 地層內에 존재하는 鑛體에 對한 研究였고, 地層만을 對象으로한 研究는 試圖된 바 없는 것으로 思料된다. 따라서 本研究은 地層만을 對象으로 하는 研究의 一環으로서 地下地質構造의 基本이 되는 水平層 및 傾斜層 模型에 關한 研究를 試圖함으로써 電氣比抵抗法에 依한 보다 광범위하고도 精確한 地下地質構造解析을 위한 지침을 마련하며, 三次元 模型研究에 對한 有效性을 糾明하고, 또한 地下資源開發 및 地下水開發, 더 나아가서는 건축 및 토목工事의 基監調査를 爲한 指針을 마련하고자 한다.

### 2. 實 驗

#### 2-1. 實驗裝置

本 研究에 使用된 三次元 模型水槽는 가로 190cm, 세로 120cm, 높이 100cm의 木製桶으로서 桶內部를 두께 1mm의 비닐을 둘러 防水를 補完하였다. 水槽內의 電解質로는 上水道물을 使用하였고 電極은 가로 93cm,

세로 15.5cm, 두께 2.5cm의 絶緣體인 베이크라이트板에 一列로 2cm 間隔 41個의 구멍을 뚫어 여기에 電極을 設置할 수 있게 하였으며, 이 板을 上下 및 水平移動이 可能케 함으로써 水深을 變化시킬 수 있도록 하였다(Fig. 1 참조).

實驗에서 誤差를 일으킬 수 있는 要因으로서는 電解質의 溫度變化와 蒸發, 水槽桶 境界面의 影響 그리고 電極에 依한 影響 등이 있다. 溫度變化와 蒸發에 依한 測定誤差를 줄이기 위하여 短時間 內에 實驗을 하였으며, 境界面의 影響을 피하기 위하여 水槽桶의 中央部分에서만 實驗을 行하였다. 電極으로는 直徑 4mm, 길이 4cm의 炭素電極을 베이크라이트板의 구멍에 固定시켰으며, 이때 各 電極은 水中에 10mm가 들어갈 수 있도록 調整하였다. 이 電極들은 測定器 옆에 裝置한 配電監上의 41個 端子에 連結하여 必要한 位置에 있는 電極들을 配電監에서 마음대로 選擇使用케 하므로써 每 測定마다 必要로 하는 電極移動을 피하고 電極移動에 따른 測定誤差를 除去하였다. 그러나 溫度變化와 蒸發에 對한 裝置를 하지 못하여 氣溫이 急變할 때 電解質의 平均比抵抗이 全體의 으로 上昇 또는 下降함을 實驗에서 觀察할 수 있었으나 단 시간내의 實驗에서는 이와 같은 現象을 無視할 수 있었다.

比抵抗測定器로는 低周波數 比抵抗探查器 Yokogawa type 3244를 使用하였다. 模型地層으로는 Openning이

\* 연세대학교 지질학과

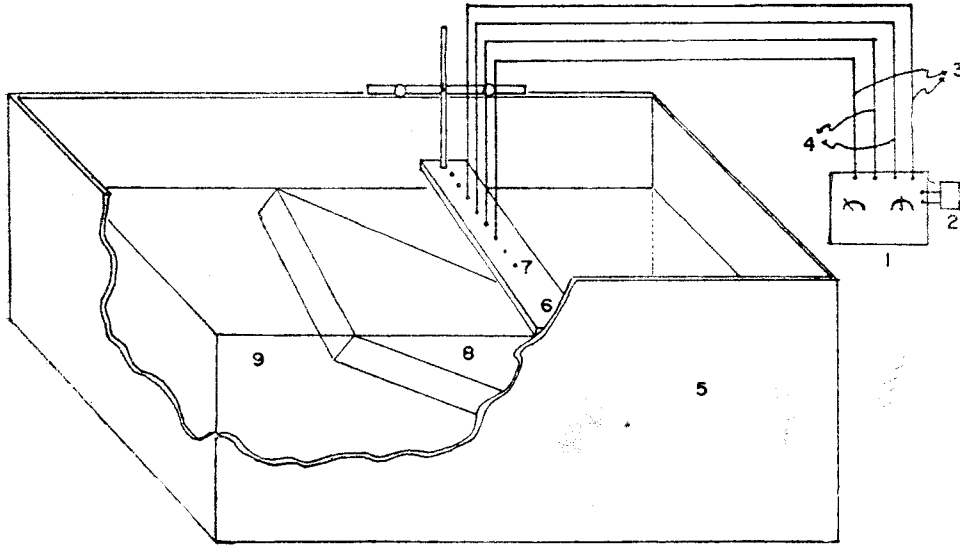


Fig. 1. 實驗裝置

- 1. 比抵抗 探查器
- 2. Battery
- 3. 電流電極
- 4. 電位電極
- 5. 水槽桶
- 6. 베이크라이트板
- 7. 炭素電極
- 8. 模型地層
- 9. 물

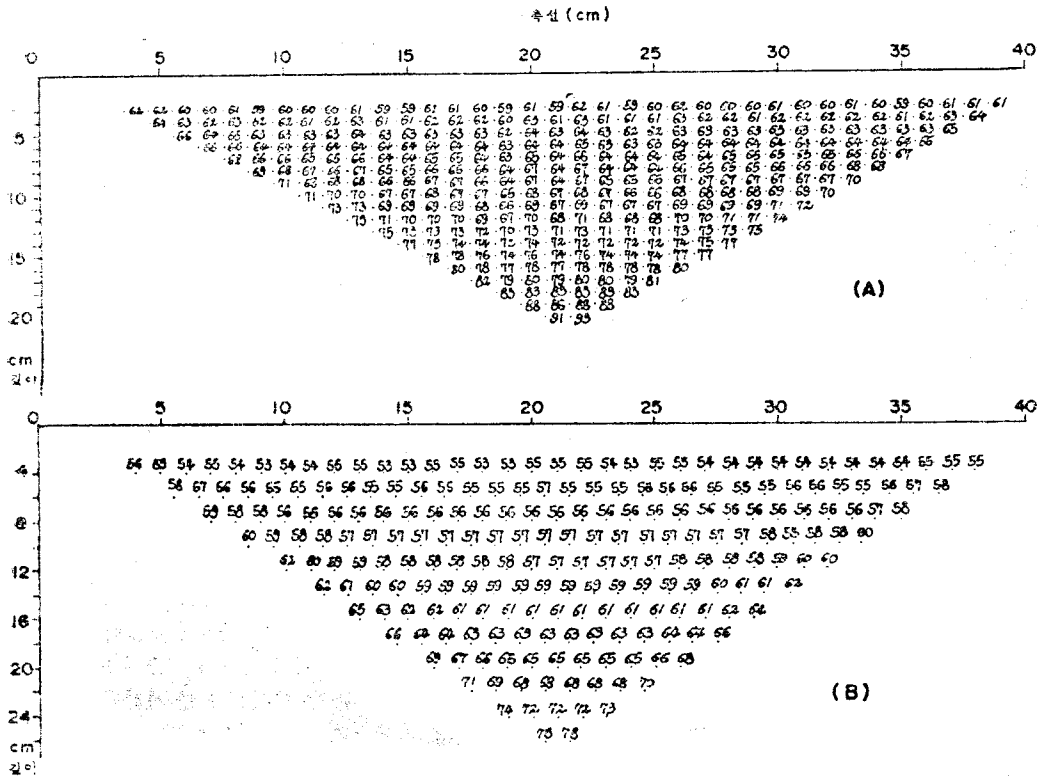


Fig. 2. 各配列法에 의한 Blank test (水深 55cm)

A. Schlumberger 配列法

B. Wenner 配列法

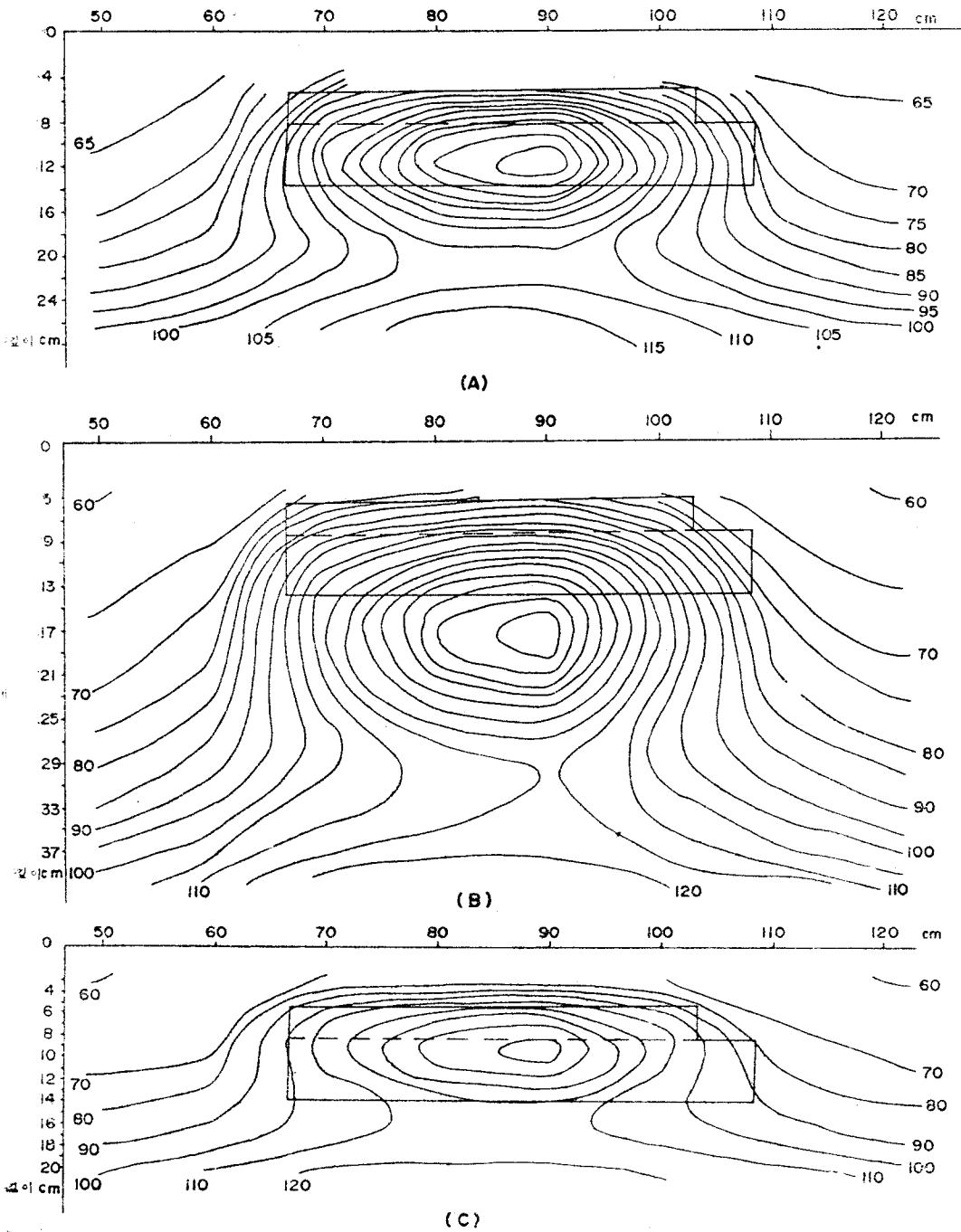


Fig. 3 各配列法에 의한 等比抵抗曲線圖 (模型地尺: 千枚岩 깊이 5.5cm)

- A. 測定깊이를 電極間隔과 같게 취했을 때의 Wenner 配列法
- B. 測定깊이를  $a$ 로 취했을 때의 Schlumberger 配列法
- C. 測定깊이를  $\frac{1}{2}(a+b)$ 로 취했을 때의 Schlumberger 配列法

2mm (U.S. standard mesh 10)되는 채로 걸른 모래와 포트랜드 시멘트를 2:1로 2개월간 양생한 것으로써 크기가 가로 70cm, 세로 60cm, 높이 10cm이다.

2-2. 豫備實驗

本實驗에 앞서 三次元 模型水槽實驗裝置의 性能을 檢討하기 위하여 模型地層을 넣지 않은채로 Wenner配列法과 Schlumberger配列法에 依하여 各各 blank test를 實施하였다(Fig. 2).

또한 各 配列法에 依한 測定깊이 決定方法과 測定值의 垂直斷面에서의 表示方法을 알아보기 위해 千枚岩 (phyllite) 2個를 겹쳐서 가로 42cm, 세로 37cm, 두께 8cm의 크기로 하여 水深 5.5cm에 位置시키고 外見比抵抗 (apparent resistivity)을 測定하였다(Fig. 3). 이때 測定可能한 깊이는 Wenner 配列法일 境遇에는 從來의 計算方法에 依해 算出된 깊이와 같았으나, Schlumberger配列法인 境遇에는 從來의 計算方法에 依해 算出된 깊이의 1/2임을 알 수 있었다. 그러므로 本 研究에서 使用한 水槽桶에서 各 配列法에 依한 最大 測定깊이는 電流電極間의 最大距離가 78cm, 電位電極間隔 2cm이므로 Schlumberger 配列法은 20cm이며 Wenner 配列法은 26cm이다. 또한 測定值의 垂直斷面에서의 表

示方法으로 Fig. 4에서와 같이 直角 二等邊 三角形의 頂點에 表示하는 方法을 考案하였으며, 이 方法이 가장 正確한 方法임이 實驗結果로 부터 證明되었다.

Blank test의 結果도 上記方法으로 表示한 것이고 이 blank test 結果, 水槽桶境界部에서는 外見比抵抗值가 中央部에서의 값보다 1~2Ω-m정도의 큰 값을 갖는데 이는 水槽桶의 境界面 影響이다. 各 配列法의 電極間隔에 對한 外見 比抵抗의 平均値는 table 1와 같고 誤差는 約 ± 5%이며 水槽桶境界面에 依한 誤差를 補正할 境遇 그 誤差는 ± 1~2%이다. 따라서 本 研究에서 使用한 水槽裝置는 그 誤差를 無視할 수 있을 만큼 適合하다.

Tab. 1 Blank test의 外見比抵抗平均値

Wenner		Schlumberger	
a	외견비저항 평균치 (Ω-m)	a	외견비저항 평균치 (Ω-m)
4	54.3	5	60.3
		7	62
6	55.8	9	63.3
		11	64.1
8	56.4	13	65
		15	65.9
10	57.5	17	66.8
		19	67.9
12	58.3	21	69
		23	70.1
14	59.8	25	72.5
		27	73.7
16	61.7	29	75.7
		31	78.2
18	63.7	33	80
		35	83
20	66	37	87.5
22	68.8	39	92
24	72.6		
26	78		

2-3. 本 實驗

地下地質構造의 基本이 되는 水平層과 傾斜角이 다른 몇個의 傾斜層을 水槽桶內에 設定하고 Wenner 配列法과 Schlumberger 配列法에 依하여 이들에 對한 外見比抵抗을 測定하고 等比抵抗曲線圖를 作成하였다. 實驗中 水槽桶 內의 水深은 항상 60cm로 固定하였으며 水平層은 水面으로 부터 10cm와 15cm되는 깊이에 位置시켰고, 傾斜層은 傾斜角을 30°, 45°, 60°로 취하여 層의 한쪽 끝이 항상 水面에 位置하게 하였다(Fig. 5). 傾斜層의 境遇 電極配列은 層의 走向과 平行하게 하였으며 外見比抵抗曲線圖는 水槽桶의 가로斷面圖와 세로斷面圖에 各各 作成되었다. 세로斷面圖는 層의 깊이가 10cm되는 位置에 있는 側線을 따라서 測定하였다.

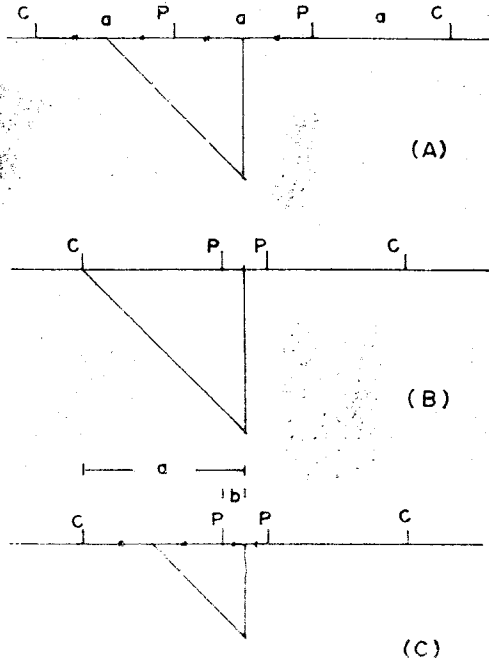


Fig. 4 各 配列法에 係한 測定值의 垂直斷面에서의 表示法  
 A) Wenner 配列法에 係한 表示法, 이는 從來의 表示法과 同一하다 ( $t=a$ )  
 B) Schlumberger 配列法에 係한 從來의 表示法,  $t=\frac{1}{2}a$   
 C) 本 研究에서 考案된 Schlumberger配列法의 表示法,  $t=\frac{1}{2}(a+b)$ .

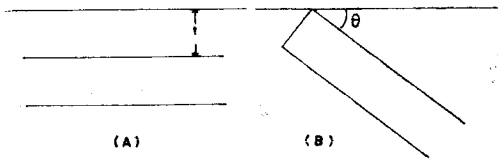


Fig. 5 模型地層의 構造

- A) 깊이  $t=10\text{cm}$ 와  $15\text{cm}$ 의 水平層
- B) 傾斜  $=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 의 傾斜層

3. 結果 및 考察

電氣比抵抗法에 依한 三次元 模型水槽實驗으로 부터 模型地層에 따른 等比抵抗曲線圖를 作成 考察하고, 層의 깊이決定을 위하여 垂直探查에서 얻은 測定值를 垂直斷面에 새로운 方法으로 表記하고, 이를 理論적으로 比較 檢討해 본 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 各 模型地層에 따른 等比抵抗曲線圖 (Fig. 6~10)

이는 水槽桶의 가로斷面과 세로斷面에 Schlumberger 配列法과 Wenner 配列法에 依해 測定한 比抵抗值를 5  $\Omega$ -m 間隔으로 作成한 等比抵抗曲線圖이다.

A. 깊이 10cm에 位置한 模型水平層에 對한 等比抵抗曲線圖 (Fig. 6)

1) 세로斷面圖; 같은 깊이에서 Schlumberger 配列法에 依한 外見比抵抗值가 Wenner 配列法에 依한 것보다 높다. 等比抵抗線은 模型地層의 上下境界面과 거의 平行하며, 模型地層의 양옆 境界面부근에서 外見比抵抗값이 증가하는 것은 水槽桶境界面의 影響에 依한 것이다. Schlumberger 配列法인 境遇에는 下部로 갈수록 等比抵抗線이 조밀해지며 60 $\Omega$ -m과 65 $\Omega$ -m의 等比抵抗線間隔이 넓은 것은 模型地層인 下部層의 外見比抵抗值가 上部層의 물層보다 낮기 때문에 나타나는 것이며 Wenner 配列法인 境遇에도 같은 結果를 나타낸다.

2) 가로斷面圖; 模型地層으로 부터 水槽桶의 境界面이 멀리 떨어져 있으므로 外見比抵抗值는 境界面 影響을 거의 받지 않는다. 等比抵抗曲線은 模型地層의 境界面과 거의 平行하며, 上部層보다 下部層의 比抵抗이 낮아 上部의 等比抵抗線間隔이 넓어짐을 보인다. 따라서 境界面의 影響을 받지 않는 가로斷面圖가 세로 斷面圖보다 더 좋은 結果를 보인다.

B. 깊이 15cm에 位置한 模型水平層에 對한 等比抵抗曲線圖 (Fig. 7)

1) 세로斷面圖; 깊이가 10cm인 模型水平層보다 外見比抵抗值가 높다. 이는 깊이가 增加함에 따라 外見比抵抗值가 增加하기 때문이다. Schlumberger 配列

法인 境遇 曲線의 稠密度가 下部層에서 높다. 等比抵抗曲線은 水平層과 平行하게 나타나며 Wenner 配列法인 境遇에도 같은 結果를 나타낸다.

2) 가로斷面圖; 境界面의 影響을 받지 않아 等比抵抗曲線은 地層境界面과 平行하게 잘 나타나며, 上部層에서 外見比抵抗이 減少하는 現象을 보이는데 이는 下部層의 外見比抵抗이 낮기 때문이다. Fig. 7은 Fig. 6과 같은 結果를 보여 주고 있다.

C. 模型地層傾斜가 30°인 傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖 (Fig. 8)

1) 세로斷面圖; 傾斜層인 境遇 세로 斷面圖는 下部層까지의 깊이가 10cm인 곳에서 電極配列을 地層의 走向과 平行하게 하여 測定한 結果를 圖示한 것이다. 깊이가 10cm에 位置한 水平層의 結果 (Fig. 6)와 比較할 때 外見比抵抗값이 5  $\Omega$ -m 정도 낮다. 이는 上部의 傾斜진 層의 影響이다. 地層境界面과 等比抵抗線이 平行하게 나타나는 것으로 보아 두 結果는 서로 類似하다.

2) 가로斷面圖; 深度가 얇은 곳에서는 地層境界面과 等比抵抗線이 대체로 平行하며 이는 層의 影響에 依한 것이다. 深度가 깊어질수록 地層境界面과는 斜交하며 水面과 平行하게 나타나는데 이는 層의 影響에 비해서 물의 影響이 크기 때문이다. 各 配列法에 依한 等比抵抗曲線圖를 比較하면 外見比抵抗值가 다른 樣相은 모두 같다.

D. 模型地層傾斜가 45°인 傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖 (Fig. 9)

1) 세로斷面圖; 各 配列法에 依한 等比抵抗曲線은 水平層 (Fig. 6) 및 傾斜가 30°인 傾斜層인 境遇 (Fig. 8)와 類似하여 等比抵抗線은 地層의 境界面과 대체로 平行하다.

2) 가로斷面圖; 各 配列法에 依해 測定한 曲線은 深度가 얇은 곳에서는 地層境界面과 等比抵抗線이 대체로 平行하며 深度가 깊은 곳에서는 等比抵抗曲線이 地層境界面과 斜交하며 水面과 平行하다.

E. 模型地層傾斜가 60°인 傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖 (Fig. 10)

1) 세로斷面圖; 各 配列法에 依한 等比抵抗曲線은 水平層 (Fig. 6)과 傾斜가 30° 및 45°인 傾斜層 (Fig. 8, 9)인 境遇와 類似하다.

2) 가로斷面圖; 이 또한 傾斜가 50° 및 45°인 傾斜層에 依한 等比抵抗曲線과 類似하다.

以上の 等比抵抗曲線圖로 부터 세로 斷面圖를 보면 水平層과 傾斜層(電極配列과 地層의 走向이 平行)의 等比抵抗曲線圖가 모두 같은 樣相을 보이며, 가로斷面圖

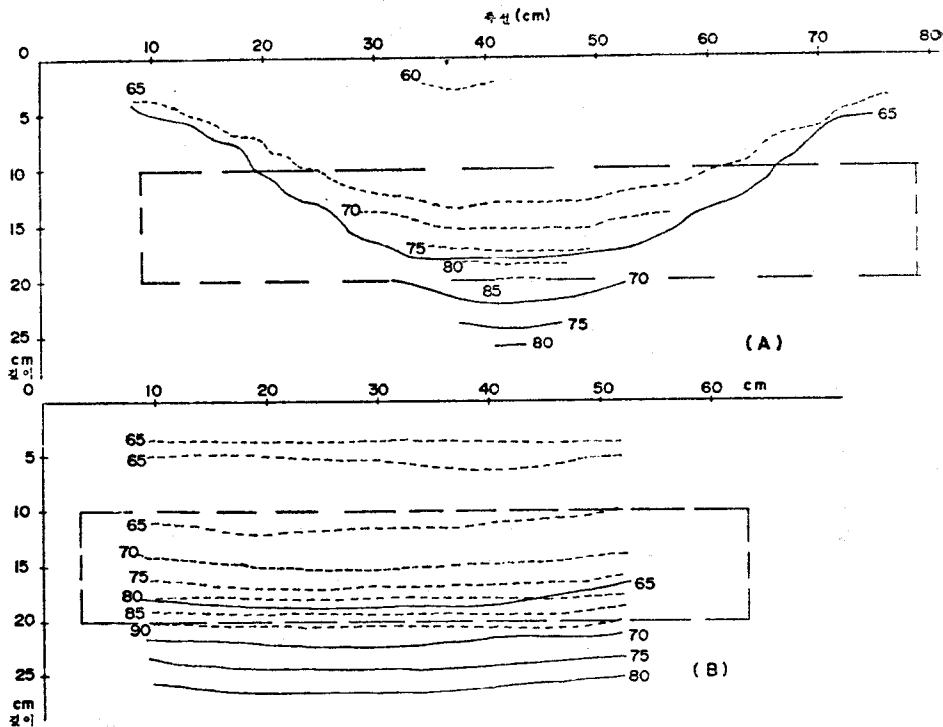


Fig. 6 各配列法에 따른 깊이 10cm에 위치한 模型水平層에 對한 等比抵抗曲線圖 (5Ω-m 間隔)  
 — Wenner 配列法, ..... Schlumberger 配列法  
 A) 세로斷面 等比抵抗曲線圖 B) 가로斷面 等比抵抗曲線圖

에서는, 水平層의 等比抵抗曲線圖는 下部層까지의 깊이와는 상관없이 地層境界面과 等比抵抗線이 平行하고, 傾斜層의 等比抵抗曲線圖는, 深度가 얇은 쪽에서는 地層境界面과 等比抵抗線이 平行하나 深度가 깊은 쪽에서는 地層境界面과 斜交하면서 水面과 平行함을 나타낸다. 이와같은 特性은 두 配列法에 公히 나타나나 Wenner 配列法일 境遇 더욱 뚜렷하다. 따라서 이러한 等比抵抗曲線圖로 부터 地層의 模樣과 傾斜有無를 解析할 수 있다.

2. 各 模型地層의 垂直探查結果에 依한  $\rho_a/\rho_1$ -a graph 等比抵抗曲線圖로 부터는 下部層까지의 깊이를 알수 없다. 從來에 垂直探查의 結果인 外見比抵抗  $\rho_a$ 와 電極間隔 a를 log-log graph에 plot하고, 理論的으로 求한 master curve를 利用하여 깊이를 決定하였다. 그러나 이 決定方法은 상당히 번거로운 뿐만 아니라 不正確하다.

두께가 t이면 電氣比抵抗이  $\rho_1$ 인 層이 二個의 水平하고 평평한 境界面에 依해 上部는 空氣層과 接觸하고

下部는 電氣比抵抗이  $\rho_2$ 인 層과 接觸 있을 境遇 image method에 依해서 電極配列法에 따라 外見比抵抗  $\rho_a$ 를 求해보면, Wenner配列法에 依한 것은

$$\rho_a = \rho_1 \left[ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{[1 + (2nt/a)^2]^{1/2}} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{[1 + (nt/a)^2]^{1/2}} \right] \dots (1)$$

이고, Schlumberger配列法에 依한 것은

$$\rho_a = \rho_1 \left[ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{1,2}^n}{[1 + (2nt/a)^2]^{2/3}} \right] \dots (2)$$

- 여기서  $k_{1,2}$ ; 反射係數
- $t$ ; 깊이
- $a$ ; 電流電極間의 1/2

이다. 여기서 下部層이 絶緣體일 境遇( $\rho_2 = \infty$ ), 電源으로 부터의 거리가 上部層의 두께에 比해서 상당히 멀 때 電流는 層理面에 平行하게 흐르며 電流密度는 均一하다고 假定할 수 있다. 이때 Wenner 配列法에 依

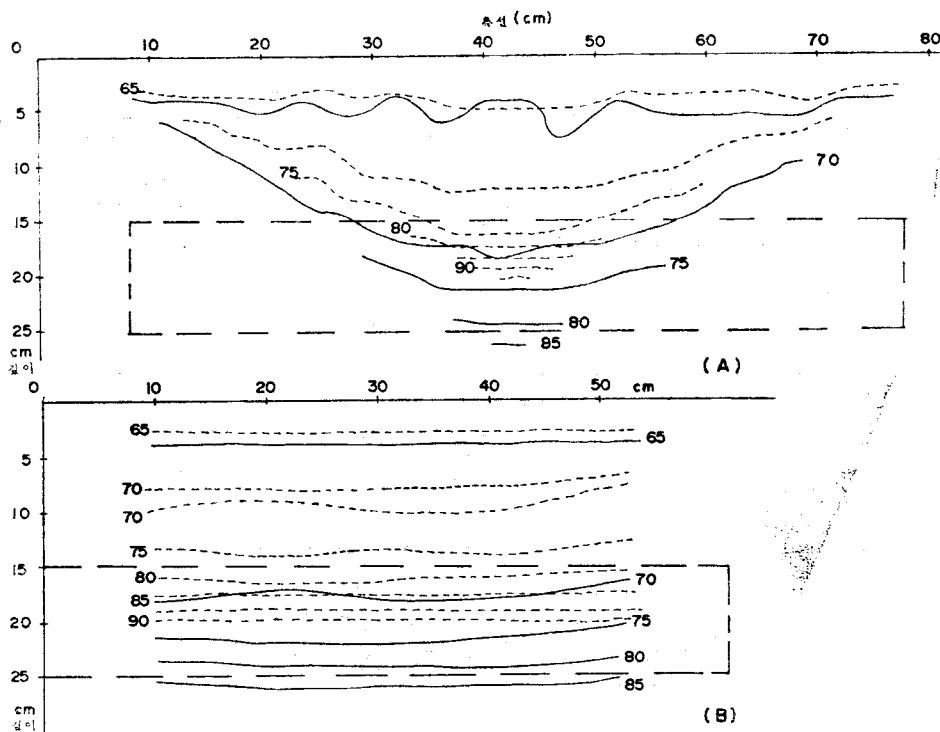


Fig. 7 各 配列法의 다른 깊이 15cm에 位置한 模型水平層에 對한 等比抵抗曲線圖 (5Ω-m 間隔)  
 —Wenner 配列法 .....Schlumberger 配列法  
 A) 세로斷面 等比抵抗曲線圖 B) 가로斷面 等比抵抗曲線圖

해 測定된  $\rho_a$ 는

$$\rho_a = 1.38 \frac{a\rho_1}{t} \dots\dots\dots (3)$$

이고, Schlumberger配列法에 依해서 測定된  $\rho_a$ 는

$$\rho_a = \rho_1 \frac{a}{t} \dots\dots\dots (4)$$

이다. 式 (3), (4)로부터

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = \frac{1.38}{t} a \quad \frac{\rho_a}{\rho_1} = \frac{1}{t} a \dots\dots\dots (5)$$

이 되고 式(5)에서 上部層의 두께  $t$ 가 一定하면 電極間隔  $a$ 와  $\rho_a/\rho_1$ 사이의 關係는 線形(linear)임을 알 수 있다.

本 研究에서는 實際 野外探查時에 最下部層을 絕緣體로 생각할 수 있고, 이때 式 (5)의  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 는 比例한다는 점에 着眼하여 探查資料解析을 爲한 새로운 方法을 考案하였으며 模型實驗을 通하여 其의 適用性을 證明하였다. 模型實驗으로는 下部層까지의 깊이가 10cm인 水平層과 傾斜層(傾斜 30°, 45°, 60°)에 對하여 垂直探查를 實施하였다. 傾斜層인 境遇에는 깊이가 10cm 되는 곳에서 層의 走向方向으로 電極을 配列하였는데

이는 깊이가 10cm되는 水平層에 對한 結果와 比較하기 爲함이다.

各 垂直探查結果를  $\rho_a/\rho_1 - a$  graph에 plot하여 解析한 結果는 다음과 같다.

A. 下部層까지의 깊이가 10cm인 水平層에 對한 垂直探查結果 (Fig. 11)

1) Schlumberger 配列法에 依한 境遇;  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 一定하게 線形的으로 시작하는 점이 電流電極間隔의  $\frac{1}{2}$ 인  $a=19cm$ 이고, 이로부터 깊이를 계산(Fig. 4(c))하면 實際 깊이와 一致한다. 電極間隔이 19cm이내에서 曲線이 增加하였다가 減少하는데 이는 下部層의 外見比抵抗値가 物層보다 낮아서 物層의 깊이 增加에 따른 外見比抵抗値의 增加를 抑制하기 爲함이다.

2) Wenner 配列法에 依한 境遇; 曲線이 增加하기 始作하는 點, 즉  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 線形的으로 增加하는 點이 電極間隔  $a=12cm$ 이고 이로부터 깊이를 計算(Fig. 4 (a))하면 實際 깊이와 거의 一致한다.

B. 模型地層의 傾斜가 30°, 45°, 60°인 傾斜層에 對한

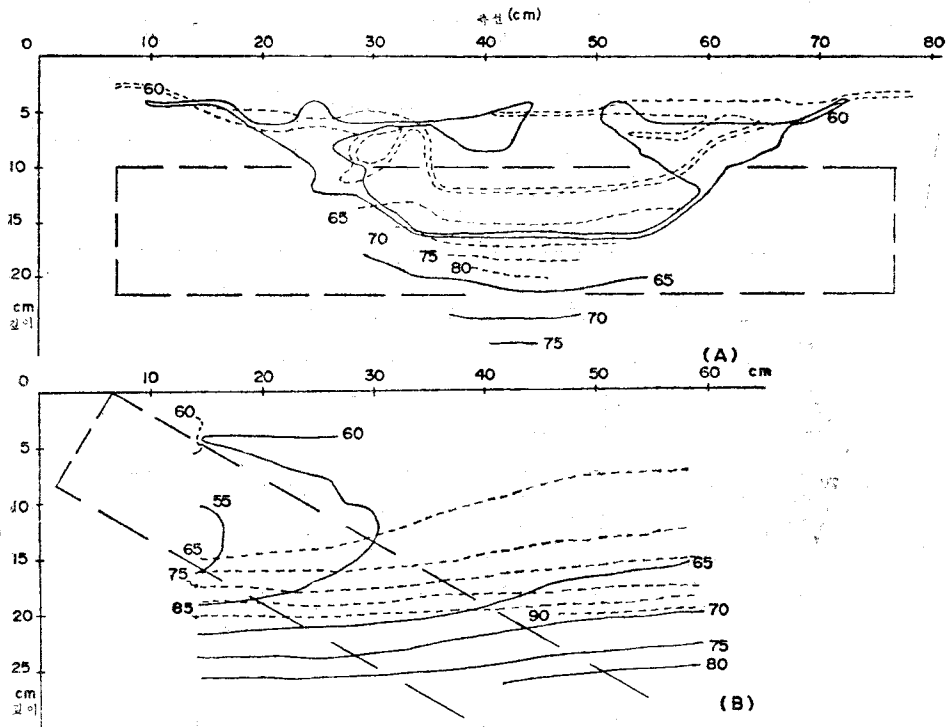


Fig. 8 各配列法에 의한 傾斜 30°의 傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖 (5Ω-m間隔)  
 — Wenner 配列法 ..... Schlumberger 配列法  
 A) 세로斷面 等比抵抗曲線圖 B) 가로斷面 等比抵抗曲線圖

垂直探查結果 (Fig. 12)

1) Schlumberger配列法에 의한 境遇;  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 線形的으로 增加하는 點이, 30°의 傾斜層에서는 電流電極間隔의  $\frac{1}{2}$ 인  $a=19\text{cm}$ 이며 이의 探查깊이는 10cm, 45°의 傾斜層은  $a=21\text{cm}$ 이고 이의 探查깊이는 11cm, 60°의 傾斜層에서도  $a=21\text{cm}$ 이고 이의 探查깊이가 11cm로 實際깊이와 一致한다.

2) Wenner配列法에 의한 境遇;  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 線形的으로 增加하기 始作하는 點이, 30°의 傾斜層에서는 電流電極間隔의  $\frac{1}{3}$ 인  $a=14\text{cm}$ 이고, 45°의 傾斜層에서는  $a=16\text{cm}$ , 60°의 傾斜層은  $a=14\text{cm}$ 이다. 이 Wenner配列法인 境遇 電流電極間隔의  $\frac{1}{3}$ 과 探查깊이가 一致한다 (Fig. 4). 그러므로 實際깊이와 약간의 誤差가 있으나 거의 一致한다.

以上으로 本 研究에서 考案한  $\rho_a/\rho_1$ - $a$  graph에 依한 下部層까지의 깊이 決定法은 그 適用性이 良好하며 Wenner 配列法보다 Schlumberger 配列法을 利用하는 것이 더 正確하다. 즉 Schlumberger의 境遇 電流電極間隔

의  $\frac{1}{4}$ 을 探查깊이로 取한 結果値와 實際깊이가 一致되게 나타나며, Wenner 配列法의 境遇 電極間隔은 探查깊이와 一致하며 實際깊이와 거의 一致함을 나타내었다. 이는 同一한 媒質內에서는  $\rho_a/\rho_1$ 이  $a$ 가 增加함에 따라 一定한 기울기를 가지고 線形的으로 增加하고, 그 다음媒質에서는 다른 값의 一定한 기울기를 가지며 繼續적으로 增加한다는 事實에 起因된다고 思料된다. 따라서 master curve를 使用하지 않고도 下部層까지의 깊이를 簡單하고도 正確하게 結定할 수 있음을 알 수 있다.

本 解析方法을 確認하기 위하여 아래와 같이 下部層까지의 깊이가 15cm되는 水平層과 傾斜가 45°인 傾斜層에 對하여 實驗裝置에서 같은 電極間隔인 경우 探查可能깊이가 더 큰 Wenner配列法을 選擇하여 垂直探查를 實施하였다 (Fig. 13).

垂直探查 結果;  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 線形的으로 增加하기 始作하는 點이 깊이 15cm인 水平層에서는  $a=16\text{cm}$ , 45°의 傾斜層에서는  $a=14\text{cm}$ 로 實際깊이와 一致함을 보



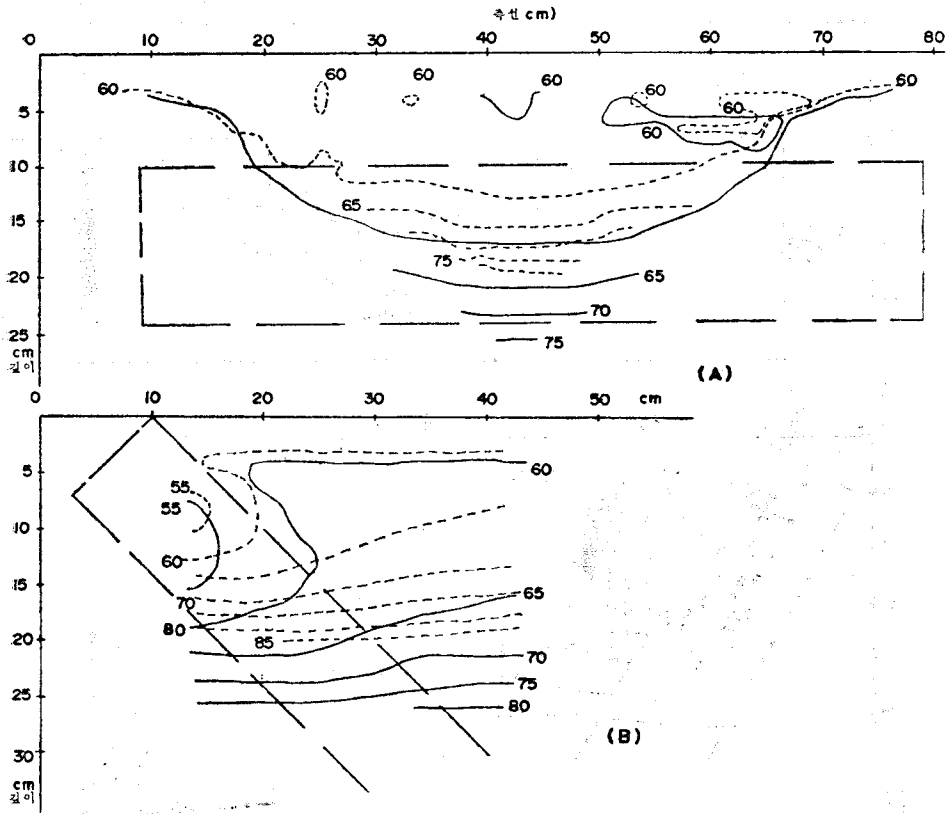


Fig. 9. 各 配列法에 의한 45°傾斜의 傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖(5Ω-m間隔).  
 — Wenner 配列法, ..... Schlumberger 配列法  
 A) 세로斷面 等比抵抗曲線圖 B) 가로斷面 等比抵抗曲線圖

인다.

3. 下部層이 絶緣體가 아닌 두個의 水平層에 對한  $\rho_a/\rho_1 - a$ 의 理論 graph

實驗條件(最下部層의  $\rho = \infty$ )과는 다른 즉 下部層이 絶緣體가 아닌 두個의 水平層에 對하여  $\rho_a/\rho_1 - a$  graph를 理論的으로 作成하고 이를 考察하였다.

Schlumberger配列法에 의한 式 (2)에 依해서  $\rho_a/\rho_1$ 를 구하였다. 여기서 反射係數 K를 1.0에서 -1.0까지 (0은 除外) 0.1間隔으로, 層의 두께  $t$ 를 5~45까지 5 cm間隔으로, 電極間隔  $a$ 를 3~41까지 2 cm間隔으로 하여  $\rho_a/\rho_1$ 를 computer를 利用하여 計算하였다. 이 計算值를  $\rho_a/\rho_1 - a$  graph에 plot하고  $\rho_a/\rho_1$ 이  $a$ 의 增加에 따라 線形的으로 增加하는지를 考察하였다. 그 結果 各 反射係數  $k$ 와 깊이  $t$ 에 對한 曲線이 電流電極間隔의  $\frac{1}{2}$ 인  $a$ 와 下部層까지의 깊이  $t$ 가 一致하는 값에서

그 增加가 線形的으로 始作됨을 알 수 있었다. 本論文에서는 反射係數  $K=0.5$ 인 境遇만을 添附한다 (Fig. 14).

따라서 理論 graph에서도  $\rho_a/\rho_1$ 과  $a$ 가 線形的으로 增加하기 始作하는 點으로 부터의 깊이를 決定할 수 있음이 確認되었다. 그러나 그 값은 本研究의 實驗結果에서 얻어진 깊이보다 약 2배 정도 깊게 나타나는데, 이는 實驗條件에서는 最下部層의 比抵抗이  $\infty$ 의 絶緣體인 反面理論式에서는 傳導體( $\rho \neq \infty$ )이기 때문인 것으로 思料된다.

#### 4. 結 論

電極比抵抗法에 依한 三次元 模型水槽實驗을 通하여 얻은 結果와 이를 理論的으로 比較檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

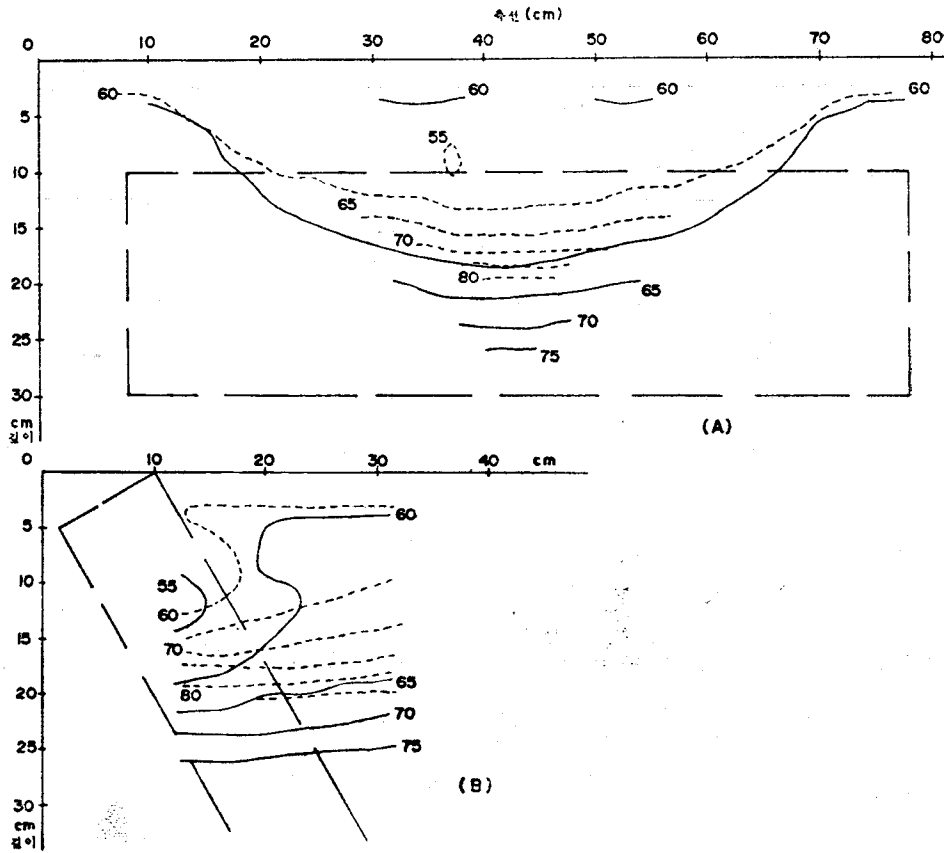


Fig. 10. 各配列法에 의한 60°傾斜層에 對한 等比抵抗曲線圖(5Ω-m 間隔)

— Wenner 配列法, ..... Schlumberger 配列法  
 A) 세로斷面 等比抵抗曲線圖      B) 가로斷面 等比抵抗曲線圖

1) Schlumberger 配列法과 Wenner 配列法을 利用한 電氣比抵抗法의 blank test 結果는 外見比抵抗值의 誤差가 各各 ±5% 이내 이나(Fig. 2, 표 1 參照), 境界面附近의 外見比抵抗值을 無視할 境遇 그 誤差는 1~2% 이다. 따라서 本 水槽實驗裝置는 電氣比抵抗法의 精密實驗에 充分하다고 判斷된다.

2) 各 配列法에 依한 電極間隔에 따른 探查깊이와 測定值의 垂直斷面에의 表示方法은 豫備實驗結果, Wenner 配列法인 境遇 探查깊이가 電流電極間隔의  $\frac{1}{3}$  倍이며, Schlumberger 配列法인 境遇 探查깊이가 從來에는 電流電極間隔의  $\frac{1}{2}$  倍이었으나  $\frac{1}{4}$  倍임이 밝혀졌다(Fig. 3, 4 參照).

3) 下部層까지의 깊이가 10cm, 15cm의 水平層과 傾斜가 30°, 45°, 60°인 傾斜層에 對한 實驗結果, 세로斷

面의 外見等比抵抗曲線圖는 各各 地層境界面과 等比抵抗曲線이 平行하며, 가로斷面의 等比抵抗曲線圖는 水平層인 境遇 地層境界面과 等比抵抗線이 平行하게 나타나고, 傾斜層인 境遇는 傾斜角度에 따라 약간의 差異가 있으나 深度가 얇은 部分은 地層의 傾斜境界面과 等比抵抗線이 平行하고 深度가 깊은 部分에서는 地層境界面과 상관없이 水面과 平行하게 나타난다. 이는 傾斜層의 影響을 받기 때문에 深度가 얇은 쪽에서는 平行하나 깊은 쪽에서는 傾斜層의 影響을 받지 않기에 水面과 平行하게 나타난다. 따라서 外見等比抵抗曲線圖로 부터 層의 模樣과 傾斜有無를 探查할 수 있다(Fig. 6~10 參照).

4) 從來에는 下部層까지의 깊이決定方法으로서 master curve 를 利用하였으며 이 方法은 不正確성과 번거

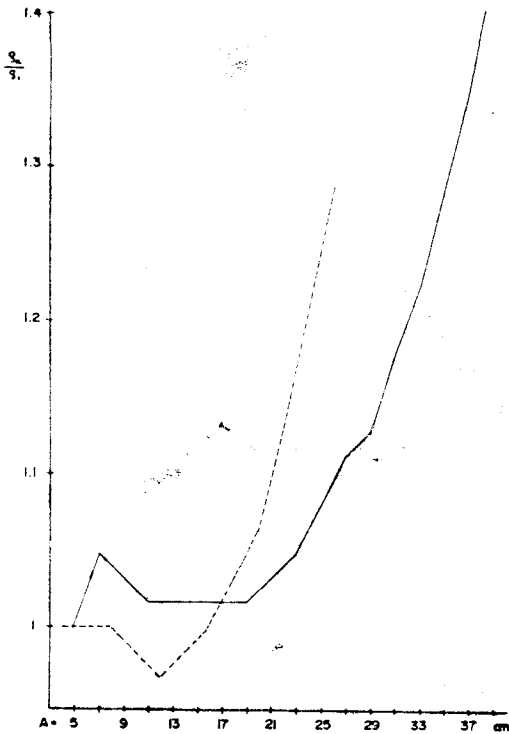


Fig. 11 깊이 10cm 模型水平層에 對한 垂直探查의  $\rho_a/\rho_1-a$  graph  
— Schlumberger 配列法 ..... Wenner 配列法

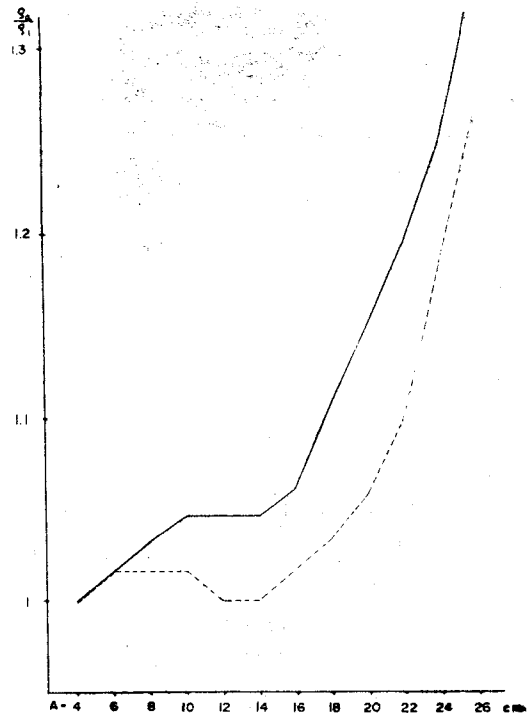


Fig. 13 Wenner 垂直探查法에 係한  $\rho_a/\rho_1-a$  graph  
— 깊이 15cm의 模型水平層 ..... 45°의 模型 傾斜層

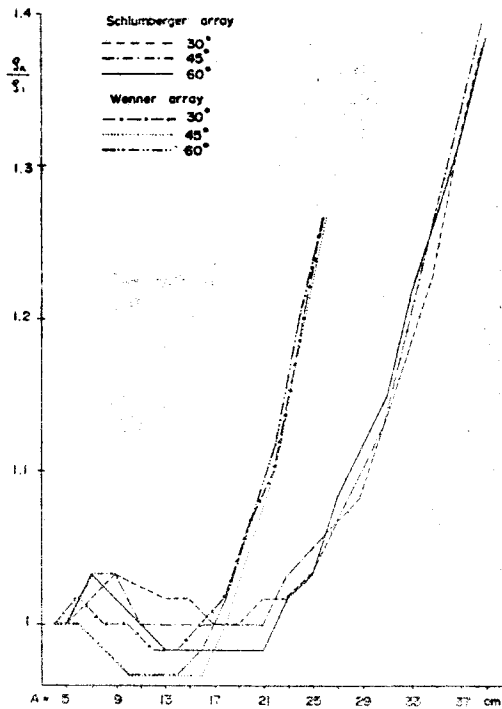


Fig. 12. 傾斜 30°, 45°, 60°의 模型 傾斜層에 對한 垂直探查의  $\rho_a/\rho_1-a$  graph

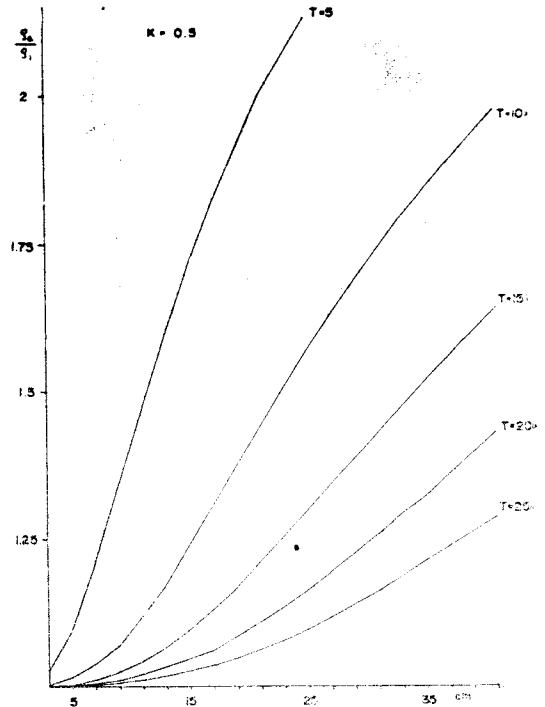


Fig. 14 結果解析을 위한  $\rho_a/\rho_1-a$ 의 理論 graph  
K: 反射係數, T: 깊이,

로움의 短點을 지니고 있었다. 本 研究에서는 垂直探查 結果值를  $\rho_a/\rho_1-a$  graph上에 plot하고 이로부터 直接 깊이 決定을 할 수 있는 方法을 考案하였다. 즉 各 模型에 對하여 各 配列法에서  $\rho_a/\rho_1$ 이  $a$ 의 增加에 따라 線形的으로 增加하기 始作하는데, 이 값으로부터 探查 깊이를 計算하여 下部層까지의 깊이를 決定하면 實際 깊이와 一致한다(Fig. 11~13 參照). 水平層이나 傾斜 層模型에서 共히 같은 結果가 나오는 것은 傾斜層의 境遇 電極排列을 地層의 走向과 平行하게 位置시킨 結果이며, 電極排列이 走向과 平行치 않을 境遇에는 그 結果가 달라질 것으로 豫象되고 이에 대한 계속적인 研究가 뒤따라야 할 것이다.

5) 本 研究에서 얻은 下部層까지의 깊이 決定方法에 對한 理論的 考察을 위하여 下部層이 絶緣體가 아닌 水平層에 對한  $\rho_a/\rho_1$ 의 理論值를 구하여  $\rho_a/\rho_1-a$  graph에 plot하였다. 그 結果 各 反射係數  $k$ 와 깊이  $t$ 에 對하여 電極間隔  $a$ 와 下部層까지의 깊이  $t$ 가 一致하는 값에서 曲線의 기울기가 線形的으로 增加함을 나타내었다(Fig. 14 參照). 그러나 實驗結果에서 얻은 깊이보다 그 값이 약 2 倍정도 깊게 나타났는데 이는 實驗條件에서는 最下部層이 絶緣體인 반면 理論式에서는 傳導體이기 때문인 것으로 思料된다.

以上の 結果로 模型地層을 利用한 水槽實驗裝置는 電氣探查에 依한 地下地質構造의 三次元的 解析에 有效하다고 생각된다. 또한 電氣比抵抗法에 依한 복잡한 地下構造를 解析하는 境遇에는 多樣的 形態의 模型에 對한 계속적인 研究 및 本 研究에서 考案된  $\rho_a/\rho_1-a$  graph에 依한 깊이決定方法을 實際野外調査時에 適用해 보는 研究가 後續되어야 할 것이다.

## 謝 辭

實驗裝置의 製作에 手苦하여준 延世大 地質學科의

學部, 大學院生에게 感謝한다. 本 研究는 1978年度 延世大學校 教授研究費의 支援으로 이루어졌으며 關係諸位께 深甚한 感謝를 드린다.

## Reference

- Hyun, B. K. 1971, A resistivity model study on topographical effects in dipole-dipole method, 大韓鑛山學會誌 vol. 8, p. 1~9.
- Suh, B. S. 1978, A study on the variations of potential distribution along with shape change of coal seam in applied potential method, 서울大學校 資源工學科 碩士學位論文.
- Hong, C. K. and C. M. Kim, 1965, A model study on resistivity method in electrical exploration, 大韓鑛山學會誌. vol. 2, p. 1~10.
- Yoshizumi, E. and T. Irie, 1969, Standard curves in induced polarization method, 日本物理探鑛, vol. 22, No. 3.
- Endo, G. M. Takechi and S. Matsuzaka, 1973, Study on the three-dimensional modelling of strata in electrical prospecting—its experimental equipment and the accuracy of measurements, 日本物理探鑛, vol. 26, No. 5.
- Endo, G. M. Takechi and S. Matsuzaka, 1974, Study on the three-dimensional modelling of strata in electrical prospecting—a method of analyzing three-dimensional modelling of strata in resistivity method, 日本物理探鑛. vol. 27, No. 2.
- Suh, J. H., 1977, A model study to detect continuity of subsurface coal seams by electrical prospecting method, 大韓鑛山學會誌, vol. 14, No. 2.