

## 複雜한 炭層構造에서의 理論電位曲線의 計算

金 雄 秀\* 徐 栢 洙\*\*

Theoretical Potential Calculation of Coal Seam in Various Structures

Woong-Soo Kim • Baek-Soo Suh

### Abstract

Due to intense tectonic activities and volcanic movements, coal mines exploration have been conflicted with many problems so far. In this paper, computer calculation was specially applied for various model structures of inclined, anticlinal and synclinal coal beds.

Of all these structures, the gradient of equipotential curves showed great as the dip of coal beds increases. Especially at synclinal structure, the concaves appeared sharply in both sides of equipotential curves as the dip of coal beds increases. By above results, interpretation of coal exploration can be done by comparing field data one another.

### 1. 序 論

數 많은 地殼運動과 火山作用으로 우리나라의 炭層은 切斷, 急傾斜 等 여러가지의 複雜性을 나타내며 이것을 探查하는 데는 많은 어려움이 따른다.

이러한 炭層의 效果的인 探查方法은 이것들의 物理的, 化學的 特性을 알아두는 것이 무엇보다도 重要하며 우리나라 無煙炭의 電氣의 性質에 關한 研究는 Table 1. 과 같다.<sup>1)</sup>

炭層의 開發에 있어서, 以前에는 地質調查, 試錐調查에 많이 依存했지만 物理探查의 應用으로 自然電流法 및 電氣比抵抗法을 많이 使用하게 되었다.

自然電流法은 炭層附近에 自然的으로 發生하는 地表電位를 測定하는 探查方法이며 電氣比抵抗法은 大地에 直流 혹은 低周波數의 交流를 주어 大地의 外見上比抵抗值(apparent resistivity)를 測定하는 探查方法이다.

그러나 自然電流法은 가장 簡單한 方法이지만 周邊騒音이 클때는 賦存狀況을 正確히 解析하기가 힘들 때가 있다. 이것을 克服하기 爲해서 任意 크기의 電流를 供給하는 所謂人工分極法<sup>2)</sup>을 發表하였다.

여기에서는 複雜한 炭層에 있어서의 自然電流法과 人工分極法에서의 電位分布를 理論적으로 計算하여, 앞으로 野外에서 測定되는 測定值와 對照하여 結果解析에 도움을 주고자 하는 것이다.

\* 工科大學 資源工學科 教授

\*\* 工科大學 資源工學科 講師

Table 1. Electrical properties of rocks and coals

Rocks	Place	Porosity (%)	Resistivity (ohm-m)	Frequency effect (%)	Metal factor (mho-m)
Fine sandstone	Bongmyung Mine	0.72	9,492	2.3	5.1
Coaly sandstone	"	0.27	5.5	8.3	1,450
Medium sandstone	"	1.10	2,530	1.5	3.2
Coaly shale	Kangwon Mine	0.20	5.8	10.0	1,570
Sandstone	"	0.10	8,800	0	0
Fine sandstone	Eunsong Mine	0.90	520	5.3	5.2
Medium sandstone	"	0.34	1,200	4.1	3.5
Coaly shale	"	0.37	8.3	9.2	2,100

2. 理論 및 計算

Fig. 1에서와 같이 板狀炭層 ABCD의 全表面에 電荷가 均一하게 퍼져있다면 炭層表面 單位面積 ds에서 距離 R만큼 떨어진 地表上的 點 P에서의 電位는

$$dv = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{\rho_s}{R} ds \text{가 된다.}^{4)}$$

$\epsilon$  : Permittivity constant of medium  
 $\rho_s$  : resistivity value of medium

따라서 全炭層面에 의한 P點에서의 電位는

$$V = \int_s \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{\rho_s}{R} ds \text{가 된다.}$$

板狀炭層 위의 圓筒座標 點 Q(x, y, z)를 直交座標로 換算하면 Q(rcosφ, rsinφ, z)로 주어지며, 任意的 點 P(α, β, γ)에서의 電位 V는

$$V(\alpha, \beta, \gamma) = \int_s \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon \sqrt{(rcos\phi - \alpha)^2 + (rsin\phi - \beta)^2 + (z - \gamma)^2}} ds \text{가 된다.}$$

이 式은 다시

$$V = \int_0^a \int_0^b \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon \sqrt{r^2 - 2r(\alpha\cos\phi - \beta\sin\phi) + \alpha^2 + \beta^2 + (z - \gamma)^2}} dz dr \dots \dots (1)$$

여기에서  $\begin{cases} z - r = \sqrt{D}\tan\theta \\ D = r^2 - 2r(\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi) + \alpha^2 + \beta^2 \end{cases}$ 을 (1)式에 代入하면  $dz = \sqrt{D}\sec^2\theta \cdot d\theta$

$$\begin{aligned} V &= \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \int_{t_1}^{t_2} \frac{\sqrt{D}\sec^2\theta}{\sqrt{D + D\tan^2\theta}} d\theta \cdot dr \\ &= \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \int_{t_1}^{t_2} a\sec\theta \cdot d\theta \cdot dr \dots \dots (2) \end{aligned}$$

여기서  $\begin{cases} t_1 = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{D}} (-r) \\ t_2 = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{D}} (b-r) \end{cases}$  를 (2)式에 代入하여

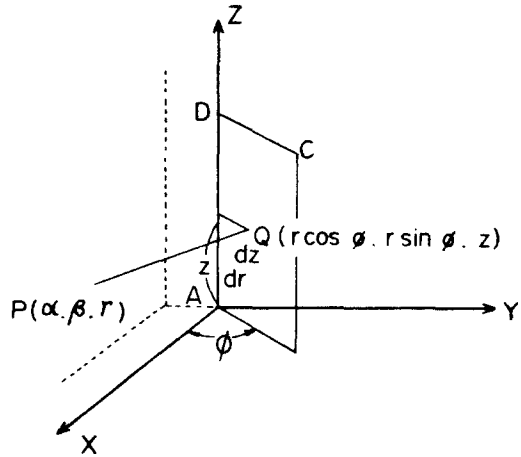


Fig. 1 Coordinate of modeling

$$V = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \ln \left| \sec\theta + \tan\theta \right| \frac{t_2}{t_1} \cdot dr \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \ln \left| \frac{\sec t_2 + \tan t_2}{\sec t_1 + \tan t_1} \right| \cdot dr \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $\begin{cases} \sec t_1 = \frac{\sqrt{D^2 + \gamma^2}}{\sqrt{D}} \\ \sec t_2 = \frac{\sqrt{D^2 + (b-\gamma)^2}}{\sqrt{D}} \end{cases}$  를 (4)式에 代入하여

$$V = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \ln \left| \frac{\frac{\sqrt{D^2 + (b-\gamma)^2}}{\sqrt{D}} + \frac{(b-\gamma)}{\sqrt{D}}}{\frac{\sqrt{D^2 + \gamma^2}}{\sqrt{D}} + \frac{(-\gamma)}{\sqrt{D}}} \right| \cdot dr \dots\dots\dots(5)$$

$$= \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \int_0^a \ln \left| \frac{\sqrt{D^2 + (b-\gamma)^2} + (b-\gamma)}{\sqrt{D^2 + \gamma^2} - \gamma} \right| \cdot dr \dots\dots\dots(6)$$

여기서  $D = r^2 - 2r(\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi) + \alpha^2 + \beta^2$  이므로 이것을 (6)式에 代入하면

$$V = \int_0^c \ln \left| \frac{\sqrt{r^2 - 2r(\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi) + \alpha^2 + \beta^2 + (b-\gamma)^2} + (b-\gamma)}{\sqrt{r^2 - 2r(\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi) + \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} - \gamma} \right| \cdot dr \dots\dots\dots(7)$$

여기서  $\begin{cases} r - \alpha\cos\phi - \beta\sin\phi = x \\ \alpha^2 + \beta^2 + (b-\gamma)^2 - (\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi)^2 = R^2 \\ b - \gamma = T \\ \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 - (\alpha\cos\phi + \beta\sin\phi)^2 = P^2 \\ -\gamma = Q \\ x_1 = -\alpha\cos\phi - \beta\sin\phi \\ \phi x_2 = a - \alpha\cos\phi - \beta\sin\phi \end{cases}$  로 놓으면

$$V = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon} \left\{ \int_{x_1}^{x_2} \ln \left| \frac{\sqrt{x^2 + R^2} + T}{\sqrt{x^2 + P^2} + Q} \right| \right\} dx \dots\dots\dots(8)$$

(8)式을 利用하여 program 을 作成하였으며 鑛體 model 를 Fig. 2에서와 같이 놓고 가로 13 個, 세로 9 個의 點에서 電位를 計算하였다. 가로는 基準點 -24에서 12만큼 增加시켜 120까지 計算하였고 세로는 -48에서 역시 12만큼 增加시켜 72까지 計算하였으며 模型鑛體의 두께는 단위 1로 하고 넓이는 36, 길이는 100으

로 設定하였다. 그리고  $\theta$ 의 크기를  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ 까지 變化시키면서 電位를 計算하였고 여러 角度의 數值를 合成하여 炭層의 複雜한 構造인 背斜, 向斜構造를 計算하였다. (Fig. 3) 이것의 計算은 다음과 같이 KAIST 所有 CYBER-174 計算機를 使用했으며 計算 時間은 17秒 가량 所要되었다. (Table. 2)

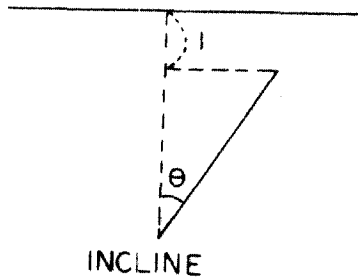


Fig. 2 Computer modeling

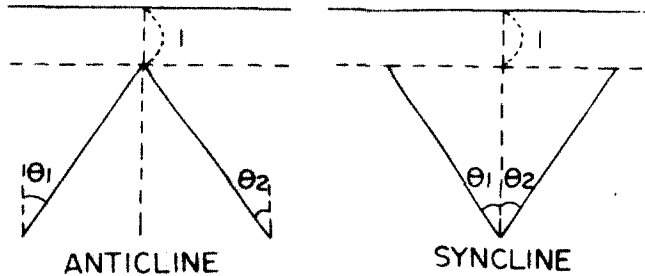


Fig. 3 The structures of modeling

**Table 2. Computer Program**

```

C THIS IS POTENTIAL CALCULATION OF SELF POTENTIAL
C AND MISE—A-LA-MASSE METHOD.
C R.....RESISTIVITY OF COAL SEAM
C E.....PERMITTIVITY OF COAL SEAM
C Z.....DEPTH OF COAL SEAM
C A.....WIDTH OF COAL SEAM
      F(X,W,T,P,Q)=ALOG(ABS(SQRT(X**2+W)+T)/(SQRT(X**2+P)+Q))
C CALCULATION OF CONSTANT TERM
      PI=4.*ATAN(1.)
      R=1.
      E=-1.
      B=100.
      SUB=98.
      PRINT 60, R, E, B
      CONST=R/(4.*PI*E)
C CALCULATION OF POTENTIAL CHANGING X,Y,Z
      Z=1.
      DO 1 J=15, 105, 15
      AJ=J-15
      TH=(P/180.)*AJ
      A=36.
      DO 1 L=1,11
      X=12*L-36
      DO 1 M=1, 13
      Y=12*M-36
      X1=-X*COS(TH)-Z*SIN(TH)
      X2=A+X1
      T=B-Y
      W=-X1**2+X**2+Z**2+T**2
      P=W-T**2+Y**2
      Q=-Y
C CALCULATION OF INTERGRAL BY SIMPSON RULE
      EVEN=0.
      ODD=0.
      H=(X2-X1)/SUB
      NSUB=SUB
      DO 2 N=2, NSUB, 2
      S=X1+FLOAT(N-1)*H
      EVEN=EVEN+F(S,W,T,P,Q)
      S=S+H
      2 ODD=ODD+F(S,W,T,P,Q)
      V=CONST*AREA
      AREA=(H/3)*(F(X1,W,T,P,Q)+4.*EVEN+2.*ODD-F(X2,W,T,P,Q))
      1 PRINT 61,Z,AJ,A,X,Y,V
60 FORMAT(1HO//10X4HRHO=F7.3/6X8HEPSILON=F7.3/12X2HB=F7.3/90(1H-)/5X
+4HBETA, 11X5HTHETA, 10X1HA, 14X5HALPHA, 10X5HGAMMA, 10X9HPOTENTIAL/
+90(1H-))
61 FORMAT(1HO, 6E15.5)
      STOP
      END

```

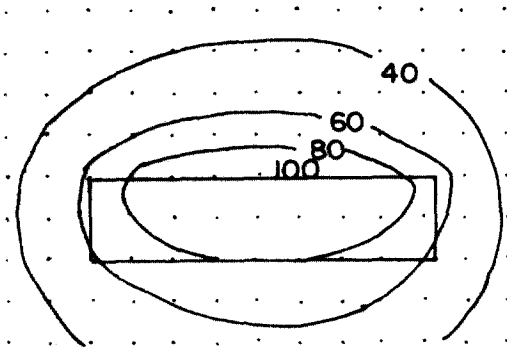
### 3. 結果 및 考察

Fig. 4, 5, 6은 單一傾斜層에서의 傾斜角이 各 0°, 45°, 90° 일때의 理論等電位曲線이다. 그림에서와 같이 鑛體의 傾斜角이 0°(水平層)에서는 鑛體의 中心線에 對稱으로 나타나지만, 傾斜角이 클수록 電位分布는 鑛體長軸中心線에 對하여 非對稱이 되고 90°(垂直層)에 이르면 다시 對稱이 된다.

Fig. 7은 單一傾斜度 30°와 30°의 複合理論 電位曲線이며 이것들은 角度가 서로 對稱일 뿐만 아니라 曲線의 模樣도 對稱임을 알 수 있다.

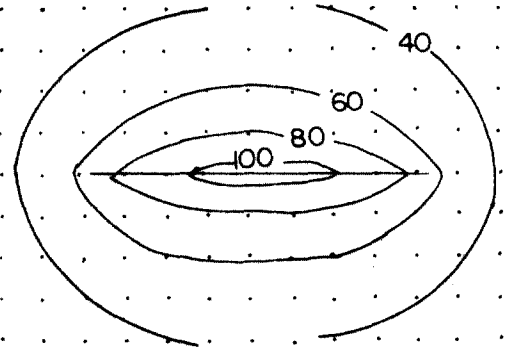
Fig. 8은 地背斜構造에서의 15°(水平層)과 75°(垂直層)의 複合電位曲線인데 全體의으로 傾斜方向으로 기울어졌다.

Fig. 9, 10, 11, 12는 地向斜構造에서의 理論電位曲線이며 各各 15°와 15°, 45°와 45°, 60°와 60° 등의 對稱複合角度와 30°와 60°의 非對稱角度로 되어 있다. Fig. 9의 15°와 15°에서는 曲線模樣이 거의 圓으로 나타나지만 Fig. 10의 45°와 45°에서는 曲線中央에 오목面이 나타나며 Fig. 11의 60°와 60°에서는 더 크게 나타난다. Fig. 12의 30°와 60°의 非對稱複合角度에서는 地背斜構造에서와 같이 角度의 傾斜度에 따라 模樣이 달라진다.



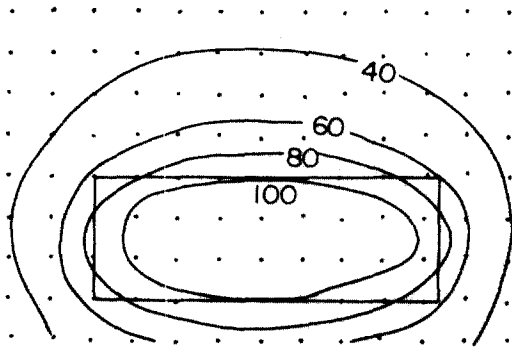
Incline 45°

Fig. 5



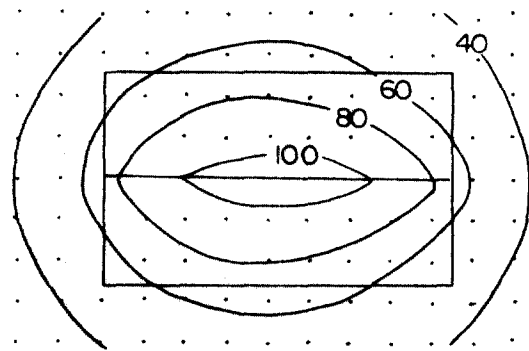
Incline 90°

Fig. 6



Incline 0°

Fig. 4



Anticline 30°+30°

Fig. 7

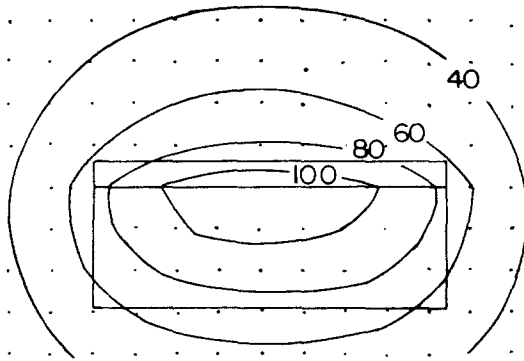


Fig. 8

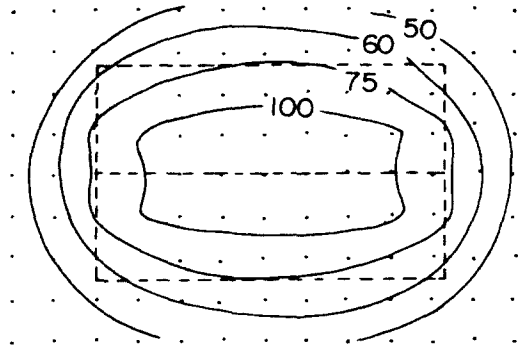


Fig. 11

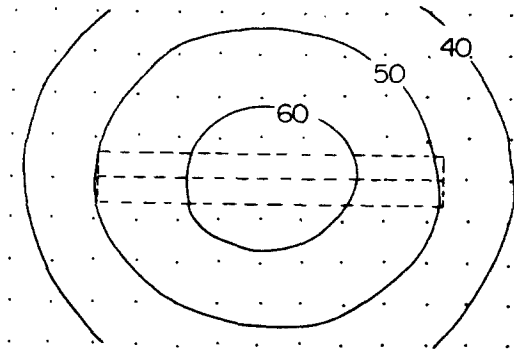


Fig. 9

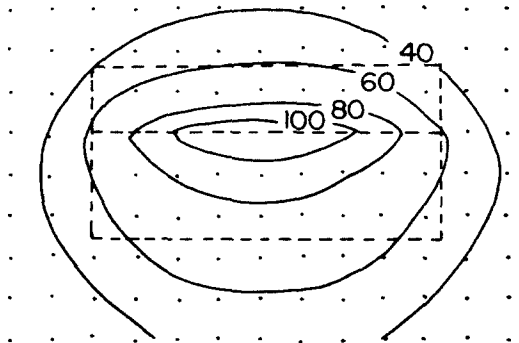


Fig. 12

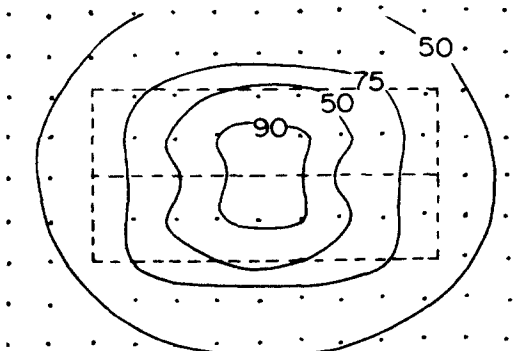


Fig. 10

#### 4. 結 論

Computer를 이용한 理論電位曲線을 作成해 봄으로써 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 單一傾斜層에서의 電位曲線은 傾斜方向으로 기울어져 나타났으며  $0^\circ$ 와  $90^\circ$ 에서는 對稱으로 나타났다.

2. 地背斜型 炭層에서의 電位分布는 傾斜된 쪽으로 기울어져서 나타나며 地向斜 炭層에서는 傾斜角度가 커질수록 兩쪽에 오목한 面이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

以上과 같은 結論에서 볼때 切斷, 急傾斜 等

이 發達한 우리나라의 炭層構造에서의 探査에  
는 自然電位法의 一種인 人工分極法의 利用이  
要求되고, 野外에서 測定한 資料와 計算으로

求한 理論值를 比較檢討함으로써 賦存狀態의  
判別에 많은 도움을 줄 것이 確實하다.

### 參 考 文 獻

- 1) 玄 炳九(1974) : 우리나라 石炭層探査를 爲한 效果的인 物理探査에 關한 研究, 科學技術處, R-74-46
- 2) 徐 廷熙(1977) : 電氣探査方法을 利用한 地下賦存炭層의 連續性 探知를 爲한 模型研究, 大韓鑛山學會誌, vol. 14, No. 2
- 3) Parasnis, D. S(1967) : Three dimensional electric Mise-a-la-Masse survey of an irregular lead-zinc copper deposit in central Sweden, Geophy. Prosp. vol. 15, P. 407-437
- 4) William H. Hayt. JR(1974) : Engineering electronic magnetics, McGraw-Hill Book Company, P. 102-106.