

대지에 있어서의 결보기 대지저항률의 해석동향

신수한 · 김성삼 · 김주찬 · 고희석
경남대학교

Analysis of Apparent Resistivity in a Multi-Layer Earth Structure

Su-Han Shin · Ju-Chan Kim · Sung-Sam Kim · Hee-Seog Koh
Kvunnam Univ

Abstract- This paper intends to compare the investigation of techniques, based on different methods, used to find the electrical grounding parameter of a multi-layered earth(resistivity and thickness) corresponding to model. A technique for estimating earth parameters is presented and shown to be effective based on two case studies. This technique can be applied to an earth structure with an arbitrary number of layer, and since it is not performed manually, can significantly reduce the amount of error involved.

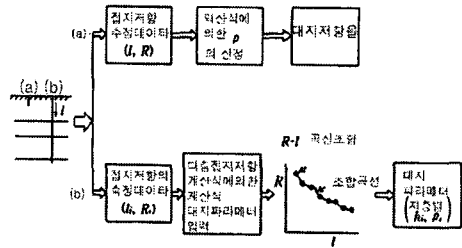


그림 2.1 접지저항 역산법

1. 서 론

접지극의 설계에 수반하는 접지저항을 계산하는 경우 가장 중요하고 필요한 정보는 대지의 저항률이다. 일반적으로 대지는 다층구조이고, 엄밀히 말하면 대지의 전기적 성질은 대지파라미터(각 지층의 두께와 대지저항률)로서 평가할 필요가 있다. 접지저항의 계산식이 다층이론에 의거한 것이면, 직접적으로 대지파라미터를 이용해 대응할 수 있다.

대지파라미터를 추정하는 방법에는 ρ-a 곡선법, 접지저항역산법, 전기검침법 등이 있다.

접지저항 역산법이나 전기검침법은 대지를 실제로 파괴해 얻게 하는 것이지만, ρ-a 곡선법은 대지의 지표면에서 대지파라미터를 추정하여 비파괴적방법이고 지층 깊은 곳까지의 정보를 알기 위해서는 가장 간단한 방법이다.

본고에서는 접지저항 역산법에 의한 대지저항률의 추정방법과 특징을 나타내고 가장 널리 쓰이고 있는 ρ-a곡선법에 의한 대지파라미터의 추정방법에 대해서 기술한다. 또한 대지파라미터를 대지저항률로 하는 등가취환법을 나타내고 다층이론과의 비교를 시도한다.

2. 접지저항 역산법

대지저항률을 추정하기 위한 수법으로서의 접지저항역산법에는 시판의 접지봉을 타입해 그 접지저항에서 대지저항률을 역산한다는 직접적인 파악방법과 알고자는 지층까지 봉상전극(대규모의 경우는 보형전극)을 대지에 박아 넣어 접지저항(R)을 단위길이(L)마다 측정해 R-L곡선을 작성해 다층문제의 시뮬레이션에 의해서 추정하는 간접적인 방법이다. 어떤 방법도 접지저항 역산법은 대략적인 대지저항률을 추정하는 수단에 불과하다. 본절에서는 접지저항 환산법의 한계에 대해서 해설한다.

2.1 봉상전극에 의한 접지저항 역산법

접지저항의 역산법이란 그림 2.2처럼 전극배치에서 접지저항계산에 의해 접지저항을 측정해, 접지저항계산식을 사용해 대지저항률을 추정하는 방법이다. 접지저항역산법의 구체적인 방법을 다음에 나타낸다.

봉상전극의 전극장 l[m], 직경[m], 대지저항률 ρ[Ω·m]로 할 때 접지저항R[Ω]의 계산식은 다음 식으로 얻어진다.

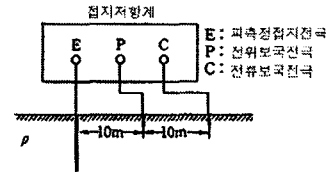


그림 2.2 접지저항추정의 개념도

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \quad (2-1)$$

(2.1)식을 변형하면 대지저항률 ρ는 다음 식으로 된다.

$$\rho = \frac{2\pi l R}{\ln \frac{4l}{d}} \quad (2-2)$$

전극의 치수(l = 1.5, d = 0.014)를 대입해 정리하면 다음 식이 얻어진다.

$$\rho = 1.555R \quad (2-3)$$

접지저항 역산법이란 접지저항계산에서 접지저항 R을 측정해, 그 측정치를 (2-2)식에 대입하는 것에 의해서 대지저항률을 추정하고자 하는 방법이나, 여기에서 (2-1)식은 대지를 균질층으로 가정한 경우의 접지저항계산식이다.

2.2 다층모델에 의한 시뮬레이션

접지저항이 대지저항률에 비례하는 것은 사실이지만, 접지저항을 에워싸는 대지저항률에 강하게 영향을 받는다. 접지모의실험을 하는 경우 다층대지모델의 여러 조건이 많이 고려되지만 본장에서는 수평3층으로서 그들의 대지파라미터의 설정은 다음과 같은 data를 고려하기로 했다. 접지극형상은 봉상전극으로 이 전극주위의 지층의 대지파라미터에 중점을 두기 때문에 그림 2.3과 같은 대지모델을 설정한다. 같은 그림에서 봉상전극이 존재하는 제 1층의 두께를 0.5m d에서 6.0m까지 변화시키도록 한다. 여기에서 봉상전극의 길이는 1.5m, 직경 0.014m 로 한다. 또한 역산대지저항을 평가하기 위하여 제 1지층의 대지저항률은 모든 대지모델에서 100Ω·m 로 한다.

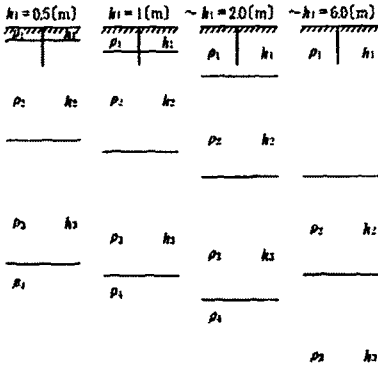


그림 2.3 검토하는 다층대지 모델

3. ρ-a 곡선법

ρ-a 곡선법은 그림 3.1에 나타낸바와 같이 Wenner의 4전극법에 의해서 얻어지는 ρ의 실측치와 a의 관계를 Graph로 표시해, 다층의 표준곡선 및 보조곡선을 이용해 서로 맞추어 보는 것에 의해서 대지파라미터를 추정하는 것이다.

Wenner의 4전극법으로 얻어지는 ρ-a 곡선을 이용해 행한 대지파라미터의 추정방법은 간편하고 그 유용성은 오래전부터 인정되고 있다. 그러나 다층대지에 대응한 것으로서는 아니다. 최근에야 수평다층구조대지에서의 Wenner의 4전극법을 이용한 경우의 겹보기 대지저항률(종합대지저항률)을 계산해 임의 지층의 ρ-a 곡선을 작성하는 것이 가능하게 되었다.

그것에 의하여 여러 가지의 대지파라미터에 의한 ρ-a 곡선의 특징을 파악할 수 있고 대지파라미터 추이에 이용하는 방법이 확립되고 있다.

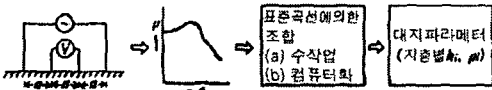


그림 3.1 ρ-a 곡선법

3.1 ρ-a 곡선법의 특징

ρ-a 곡선법을 주목해 보면 변곡점의 존재에서 몇 층의 대지구조인가는 예측이 따르지만 지층의 ρ의 값을 추정하는 것은 쉽지 않다. 더욱이 지층의 두께의 정보를 얻는일은 곤란하다. 단지 제 1층체의 대지저항률과 두께는 다음과 같이 해서 추정할 수 있다.

ρ-a 곡선법을 보면 ρ₁의 값은 a의 어떤 범위에서 일정으로 되고 있다. 이 ρ가 제 1층체의 ρ₁이다. 이 일정으로 된다는 특징에서 ρ₁의 범위의 값을 a₂-a₁으로 할 때 그 2배, 다시말하면 2(a₂-a₁)의 값이 제 1층체의 지층의 두께에 거의 같다는 것을 말할 수 있다.

실제의 경우 지층경계면이 모델과 같이 극단적인 ρ의 값으로 되고있지 않기 때문에 전류반사율도 적고 변곡점의 존재를 확실히 하는 것은 곤란한 경우가 많다. 따라서 ρ-a 곡선의 반대값 문제로서 푸는 컴퓨터에 의한 자동 ρ-a 곡선 조합법이 실용화되어 접지설계에 기여하고 있다.

3.2 ρ-a 곡선 data의 측정방법

ρ-a 곡선을 작성하기 위해서는 먼저 대지저항률을 실측하지 않으면 안된다. 현재 널리 쓰이고 있는 방법은 Wenner의 4전극법에 의거해 개발된 Y사 제품의 측정기에 의한 측정이다. 이것은 교류전위차계 방식으로 측정 주파수는 10~40Hz(방형파)를 사용한다. 이 측정기를 이용한 전극배치의 개념을 그림 3.2에 나타내었다. 같은

그림에서 a가 전극간격이다. 간격 a에 있어서의 접지저항(R)을 측정기에서 얻어, $\rho = 2\pi aR$ 의 식에서 대지저항률은 산정가능하다. 일반적으로 ρ-a 곡선은 양대수 Graph에 data를 기입하여 그리는 것이 많다.

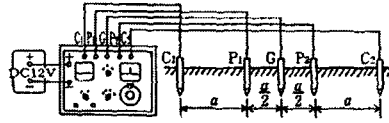


그림 3.2 대지저항률 측정의 개념도

3.3 ρ-a곡선법에 의한 대지파라미터의 해석

대지를 수평지층구조로 가정해 다층대지를 고려한 종합대지저항률의 이론식에 대지파라미터를 대입해 ρ-a곡선을 작성하는 일과 ρ-a곡선에서 지층별의 대지파라미터를 추정하는 것과는 반대값 문제를 해석하는 것에서 등가라고 생각한다.

전형적인 ρ-a곡선과 그 대지파라미터를 다음에 나타낸다. 여기에서 Wenner의 4전극법에서의 전극간격 a의 값을 1~1000m로 하고 있다. 현실적으로는 a가 300m 이상의 data를 측정하는 것은 곤란하다.(a=300[m]라고 하면 4전극법에서는 900m의 간격으로 된다. 수평방향에서 이만큼의 거리를 얻는 것은 용이한 일이 아니다) 주지한 바와 같이 전극간격을 크게하면 그 만큼 깊은 지층의 정보가 얻어진다고 하고 있다. 모델계산에서는 이것의 겹층을 겹하여 a가 1000m까지의 ρ-a곡선을 작성해 보았다. 이하에 그들의 모델에 대한 ρ-a곡선의 양상과 대지파라미터의 관계에 대해서 기술한다.

(1) 모델 A

그림 3.3과 같이 전형적인 3층구조에서 중간층의 ρ₂가 높기 때문에 산모양으로 되고 있다. ρ-a곡선은 제 1지층의 ρ₁에서 증가해 최종적으로는 최하층의 ρ₃의 값으로 수속한다. ρ₂는 1000Ω·m이지만, 종합대지저항률은 ρ₃의 영향 때문에 ρ₂의 값보다도 조금 적은 300Ω·m 정도로 된다.

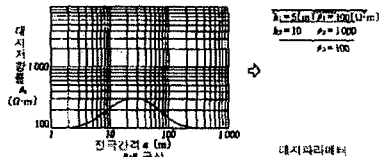


그림 3.3 ρ-a 곡선법(모델 A)

(2) 모델 B

그림 4.10에서와 같이 모델 A에 대해서 중간층의 ρ₂가 낮기 때문에 계곡모양으로 되고 있다. ρ₁에서 감소해 최종적으로는 ρ₃의 값까지 다시 증가한다. ρ₂는 100Ω·m이지만, ρ₃의 영향 때문에 최소값은 ρ₂의 값보다 조금 높은 250Ω·m 정도로 된다.

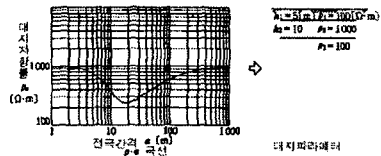


그림 3.4 ρ-a 곡선법(모델 B)

(3) 모델 C

그림 3.5처럼 중간층에서 변곡점이 2개소에 있다. 이것은 4층 구조인 것을 나타내고 있다. 곡선의 양상에서 중간층에 ρ가 높은 지층과 낮은 지층이 있는 것을 알 수 있다. 제 1지층체의 ρ₁=1000[Ω·m]와 제 4층체의 ρ₄=100[Ω·m]은 명확히 되고 있지만 제 2지층의 ρ₂는 도

델 B와 같이 변곡점의 ρ 가 250[Ω·m]정도인것에서 ρ_2 는 100Ω·m, 제 3층의 ρ_3 는 모델 A와 같은 모양으로 변곡점의 ρ 가 300Ω·m정도인 것에서 $\rho_3=1000[\Omega\cdot m]$ 라고 추정된다.

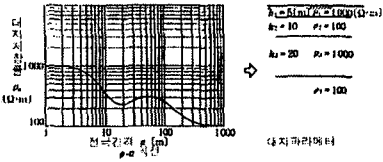


그림 3.5 p-a 곡선법(모델 C)

(4) 모델 D

그림 4.12처럼 모델 C와는 반대의 양상이다. 이것도 중간층에서 변곡점이 2개소에 보여진다. ρ_1 과 ρ_4 의 예측은 쉽게 만들어 질 것이다. 그러나 중간층의 ρ_2 의 추정을 모델 A와 같이 300Ω·m 이지만 ρ_3 의 추정은 곤란하다.

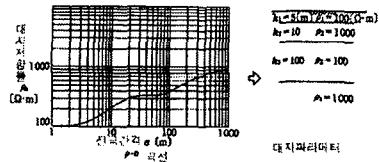


그림 3.6 p-a 곡선법(모델 D)

3.4 p-a 곡선법의 특징

상술한 바와 같이 p-a 곡선법을 주목해 보면 변곡점의 존재에서 몇 층의 대기구조인가는 예측이 다르지만 지층의 ρ 의 값을 추정하는 것은 쉽지 않다. 더욱이 지층의 두께의 정보를 얻는일은 곤란하다. 단지 제 1층째의 대지저항률과 두께는 다음과 같이 해서 추정할 수 있다. p-a 곡선법을 보면 ρ_1 의 값은 a의 어떤 범위에서 일정으로 되고 있다. 이 ρ 가 제 1층째의 ρ_1 이다. ρ 가 일정으로 된다는 특징에서 ρ_1 의 범위의 값을 a_2-a_1 으로 할 때 그의 2배, 다시말하면 $2(a_2-a_1)$ 의 값이 제 1층째의 지층의 두께에 거의 같다는 것을 말할 수 있다.

실제의 경우 지층경계면이 모델과 같이 극단적인 ρ 의 값으로 되고있지 않기 때문에 전류반사율도 적고 변곡점의 존재를 확실히 하는 것은 곤란한 경우가 많다. 따라서 p-a 곡선의 반대값 문제로서 푸는 컴퓨터에 의한 자동 p-a 곡선조합법이 실용화되어 접지설계에 기여하고 있다.

3.2 대지저항률의 적용방법

지층별의 대기파라미터를 이용해 전기 회로적으로 본 경우의 다층대지를 균질대지로 치환하는 방법을 앞 절에서 기술했다. 등가치환 대지저항률에는 2종류 이고 이들은 어떻게 접지저항계산식에 적용하는가의 과제가 남는다. 그래서 여기에서는 다층대지를 고려한 봉상전극의 접지저항계산식을 이용해 계산한 다층접지저항을 기초로 2개의 방법으로 치환한 평균적 대지저항률과 등가대지저항률을 적용한 경우의 접지저항을 검증해 본다.

4. 평균적 대지저항률

대지구조모델 평균적 대지저항률을 구해보면 그림 4.1과 같이 된다. (2-1)식은 다층대지 구조모델에서 어떤 지층에 존재하는 봉상전극의 길이(ℓ)의 함수로서 나타나게 된다. 같은 그림을 보아 알 수 있는 바와 같이 전극 길이 ℓ 에 의해서 여러 가지 대지저항을 얻을 수 있다.

4.1 다층이론과 간이계산법의 비교

다층이론에 의거한 접지저항의 계산결과와 등가치환대지저항률을 균질대지의 계산식에 적용한 간이계산법을 비교해 본다. 여기에서 접지극은 봉상전극(반경, 길이 ℓ)로 한다.

(1) 균질대지의 계산식

$$R = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell}{r}$$

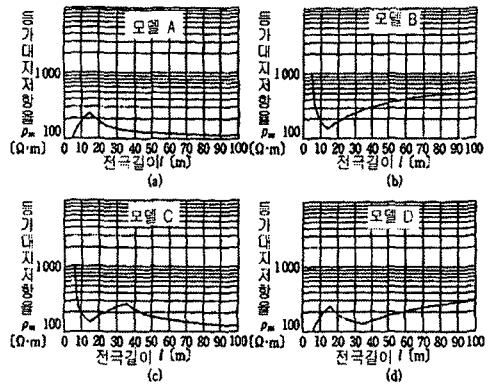


그림 4.1 $\rho_m - \ell$ 곡선

이 식의 ρ 에 등가치환대지저항률을 대입한 경우의 간이계산법은 다음의 두 가지 계산법이 얻어진다.

- (i) 평균적 대지저항률에 의한 간이계산
- (ii) 등가대지저항률에 의한 간이계산

5. 결론

종래는 2층에 있어서의 겉보기의 대지저항률의 이론식 밖에 존재하지 않았기 때문에 다층문제를 풀기위한 지층별의 대기파라미터의 정보를 얻는 것이 곤란했다.

이것을 개선하기 위하여 다층구조대지에 있어서의 겉보기의 대지저항률을 구하는 이론식을 해석적으로 얻어서 그것에 의하여 임의의 지층구조에 있어서의 p-a의 표준곡선을 작성하는 것을 검토해 왔다. 그 결과 다층구조대지에 있어서의 p-a곡선의 특징을 파악할 수 있었다. 더욱이 응용으로서 대기파라미터를 추정하는 방법의 가능성을 검토해 보았다. 두 개의 예가 있지만, 본 방법이 용이하다는 것을 확인했다. 본 논문에서 제안하는 방법은 임의의 지층구조대지에 적용할 수 있고, 수작업에 의하지 않는것에서 해석자에 의한 오차를 줄일수 있다는 유의성이 있다.

[참고 문헌]

- (1) 高橋 : [접지기술의 동향] 전학지, 106,69(소화 61-4)
- (2) 高橋, 川瀬[전기검층데이터에 의한 보링 전극의 접지저항의 간이 추정법], 소62전기학회전대, No1097
- (3) G.F.Tagg : Earth Resistance, (1964) George Newnes Ltd
- (4) 志村 : 전기탐사법 (昭45)昭眺堂
- (5) 천뢰 : 타[다층대지에 의한 대지저항률의 추정에 관하여] 소60전기학회전대, No1085
- (6) 高橋, 川瀬 [다층대지에 의한 봉상전극의 접지저항의 해석 전자론B, 108, 5(소 63-5)]
- (7) 高橋, 川瀬 [다층대지파라미터의 추정에 관하여], 소61전기관계학회 관서지부 연대 G4-15