

변전소 접지설계를 위한 대지저항을 측정시 전극간격이 해석결과에 미치는 영향

최종기*, 기현찬*, 정길조*, 김병진**
 한전 전력연구원*, 한국전력공사**

Effects of Maximum Probe Spacing of Wenner Method on Substation Grounding

J.K.Choi*, H.C.Kee*, G.J.Jung, B.J.Kim
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - Estimating equivalent soil model which represents an actual soil structure and its electrical characteristics, is extremely important for good substation grounding system design and analysis. Since the equivalent soil model is deduced based on the measured apparent soil resistivity - generally obtained from Wenner's 4-point method, reasonable and accurate measuring technique and procedure guarantee good grounding system design and analysis.

The paper aims to show the importance of reasonably enough probe spacing by presenting the influence of soil modelling to estimation and measurement of grounding resistance of substation grounding grid.

1. 서론

변전소의 접지저항은 접지망 단독의 접지성능을 나타내는 대표적인 지수이다. 이러한 관점에서 볼 때, 접지설계 단계의 접지저항 예측은 충분한 접지성능을 갖는 접지망을 설계하는 데 반드시 필요하며, 접지시공 후에는 접지저항을 측정함으로써 접지망의 성능이 만족할만한 수준인가를 검증하게 된다.

변전소의 접지면적이 정해진 경우, 접지저항은 토양의 전기적 특성에 의해 거의 좌우된다. 따라서 실제 토양의 구조와 특성에 최대한 유사한 등가모형을 추정하는 작업은 접지저항을 정확히 예측하는데 결정적인 역할을 한다.

접지망 시공 후, 접지저항의 측정에는 전위강하법을 주로 사용하고 있다. 이 때 충분한 측정선을 펼칠 수 있는 경우는 별 문제가 되지 않으나, 그렇지 못한 경우에는 소위 "61.8%의 법칙"에 따라 접지저항의 참값이 측정되는 측정위치를 결정하게 되는데, 이 측정점의 위치가 토양모델에 의존적이기 때문에, 접지망의 접지저항을 정확히 측정하기 위해서도 실제 토양에 근접한 등가토양모델의 추정은 매우 중요한 작업이다.

접지설계와 측정의 관점에서 볼 때, 우리나라 토양은 지표로부터 심층토양으로 깊어질수록 대지저항율이 높아지는 경우가 많아, 전위강하법 측정시 시험전류 유입에 따른 지표면전위경도가 완만해지고, 따라서 보다 긴 측정선이 필요해진다. 또한 변전소 부지가 도심지이거나 산을 깎아 낸 곳에 위치하는 경우가 많아, Wenner 4전극법이나 전위강하법에 의한 측정시 충분한 길이의 측정선을 확보할 수 없는 경우도 많다.

이와같은 악조건에서는, 접지설계자가 실제토양과 유사한 등가의 토양모델선정의 중요성을 인식하고, Wenner 4전극법에 의한 길보기저항을 측정작업과 측정치에 기초한 등가모델 선정작업에 많은 주의를 기울여야 한다. 그

러나 현행 변전소 접지설계를 위한 길보기저항을 측정시, 변전소 부지면적에 비해 충분한 측정선을 확보하지 않는 경우가 있어 토양모델의 선정작업이 어려운 경우가 종종 있다. 따라서 현재 관례적으로 사용하는 Wenner 4전극법 측정간격을 넘어서, 현장상황이 허락하는 한 측정선을 넓게 펼치는 것이 실제토양에 보다 근접한 등가토양모델을 선정하는데 매우 유리해진다.

본 논문은 등가토양모델의 추정을 위한 길보기 대지저항을 측정시 가장 일반적으로 사용되는 Wenner 4전극법에 있어서, 최대 전극간격이 등가토양모델의 추정, 접지저항의 예측 및 접지망 시공 후 전위강하법에 의한 접지저항 측정에 미치는 영향에 대하여 고찰한 것이다.

2. 길보기저항을 측정과 등가토양모델의 추정

그림 1은 Wenner 4전극법에 의한 길보기저항을 측정작업의 예를 보인 것이다. 전극간격(a)가 클수록 주입되는 시험전류는 심층토양을 통과하게 되고, 측정되는 전압은 심층토양의 저항율에 관한 정보를 더 많이 포함하게 될 것이다.

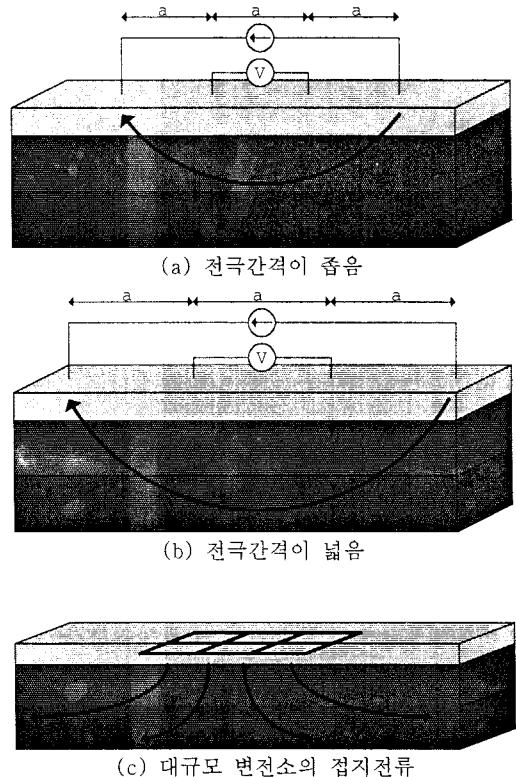


그림 1. Wenner 4전극법에 의한 길보기저항율의 측정

Wenner 4전극법에 의하여 측정된 저항값은, 대지구조가 균일하다고 가정함으로써 겘보기 대지저항율로 해석된다.

$$\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (1)$$

(ρ_a : 저항율[ohm-m], a: 전극간격[m], R: 측정값[ohm])

측정된 겘보기저항율은 미리 가정한 토양의 등가모델로부터 계산한 겘보기저항율과 비교를 통해(최적화 함수는 식2 참조), 실측값과 가장 유사한 겘보기저항율이 계산되는 등가모델을 찾게 된다.

$$\min \sum_{i=1}^N \left(\frac{\rho_m(i) - \rho_c(i)}{\rho_m(i)} \right)^2 \quad (2)$$

(ρ_m : 측정값, ρ_c : 계산값, N: 측정점 개수)

표1은 변전소 부지에서의 겘보기 대지저항율 측정결과를 보인 것이다. 부지를 십자형으로 가로질러 2개의 측정선을 따라 측정하였다. 최대 전극간격(a)는 120m, 측정선의 총 길이는 360m(=3x120m)이다.

표 1. HK S/S 대지저항율 측정치('96.5 측정)

전극간격 [m]	측정선#1		측정선#2	
	저항 [ohm]	저항율 [ohm-m]	저항 [ohm]	저항율 [ohm-m]
0.5	52.38	164.57	39.10	122.84
1.0	26.20	164.62	21.20	133.20
2.0	13.14	165.09	11.65	146.40
3.0	8.82	166.25	8.38	157.96
4.0	6.70	168.45	7.14	179.45
5.0	5.47	171.89	5.88	184.73
6.0	4.68	176.60	5.28	199.05
7.0	4.15	182.59	6.10	268.29
10.0	3.30	207.64	3.97	249.44
15.0	2.82	265.76	2.48	233.73
20.0	2.64	332.19	1.75	219.28
30.0	2.47	464.80	2.31	435.42
50.0	2.22	698.73	1.65	518.36
70.0	2.03	893.70	1.70	747.70
100.0	1.80	1131.78	1.34	841.32
120.0	1.67	1262.85		

만일, 대지가 정말로 일정한 저항율을 갖는 균일매질과 유사하다면, 한쪽 방향의 전류, 전압전극의 간격(이하 전극간격)이 변함에 따라 겘보기 대지저항율의 측정값은 변동이 크지 않겠지만, 실제토양은 복잡한 구조를 갖는 비균질의 매질이므로 그림 2와 같이 전극간격에 따라 저항율이 변한다.

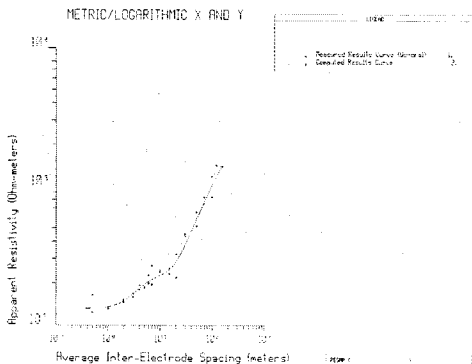


그림 2. 겘보기저항율 해석곡선(수평4층)

그림 2는 겘보기 대지저항율 측정값과, 수평4층구조 토양모델에 기초하여 계산한 값을 비교한 것이다. 변전소 부지를 십자가 형태로 가로지르는 두 개의 측정선을

따라서 측정된 겘보기 대지저항율의 경향이 매우 유사함을 볼 수 있다. 즉, 변전소 부지가 수평방향으로는 대지저항율의 변화가 적다는 것을 의미하며, 변전소 부지 근처의 토양을 수평 다층구조로 가정하여도 큰 오류가 없음을 의미한다. 그러나 수직방향으로는 겘보기 대지저항율이 급격히 증가하는 것을 보아, 심층으로 갈수록 대지저항율이 점점 커지는 구조임을 알 수 있다.

그림 4와 표 2-4는 수평4층의 등가토양모델과 표1의 측정치로 식별한 토양모델의 파라메타(대지저항율, 층두께)를 보인 것이다. 표 3의 토양모델#2는 표 1중에서 전극간격 70m~120m의 측정치를 고려하지 않은 것이며 표 4의 토양모델#3은 50~120m의 측정치를 제외시키고 식별한 토양모델이다.

토양모델의 식별에 사용한 프로그램은 RESAP[1]이며, 최적화는 steepest-descent method를 선택하여 수행하였고, 다른 계산옵션들은 모두 동일하게 주었다.

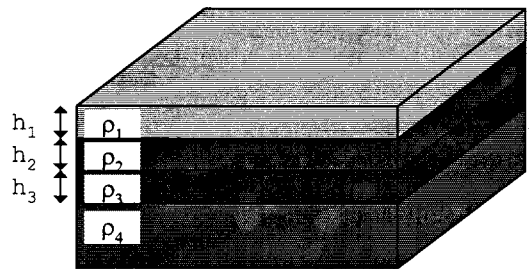


그림 3. 수평4층 토양모델

표2. 토양모델 #1 (최대전극간격은 120 [m])

	대지저항율 [ohm-m]	층두께 [m]
표토층	131.8	2.0
중간층1	284.2	4.2
중간층2	176.5	12.8
심층	3837.1	-

(RMS ERROR: 11.51%)

표3. 토양모델 #2 (최대전극간격은 50 [m])

	대지저항율 [ohm-m]	층두께 [m]
표토층	131.7	2.1
중간층1	288.8	4.4
중간층2	144.2	8.5
심층	1725.0	-

(RMS ERROR: 11.13%)

표4. 토양모델 #3 (최대전극간격은 30 [m])

	대지저항율 [ohm-m]	층두께 [m]
표토층	132.6	2.4
중간층1	398.0	2.3
중간층2	168.5	11.3
심층	1578.0	-

(RMS ERROR: 11.08%)

3. 전위강하법(FOP)에 의한 접지저항 측정

그림 4는 실제 시공된 접지망의 계원을 대략적으로 보인 것이다. 면적은 70m x 49m 이고, 수직방향의 접지봉을 6개(12~33m) 포설하였다.

그림 5는 전위강하법 측정선과 변전소 주변지역을 보인 것이다. 측정선의 최대 총길이는 560m 이다.

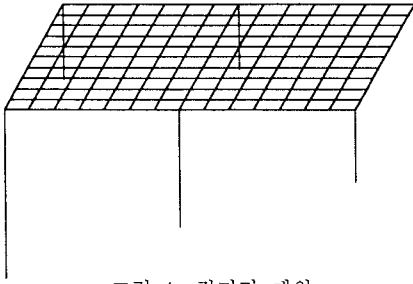


그림 4. 접지망 제원

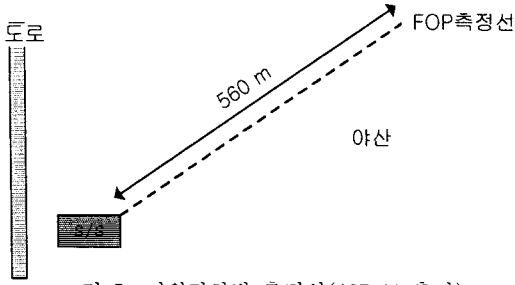


그림 5. 전위강하법 측정선('97.ii 측정)

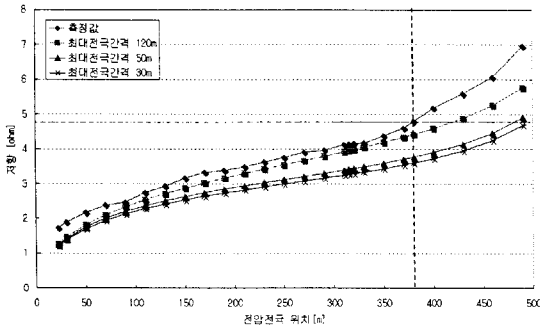


그림 6. 토양모델별 전위강하 해석곡선

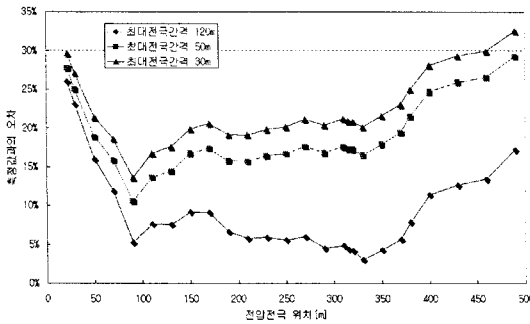


그림 7. 토양모델별 측정, 계산값 오차

표5. 전위강하법에 의한 측정값과 토양모델1~3를 근거로 추정된 접지저항 참값을 읽는 위치 및 계산값

최대전극간격	30m (토양모델3)	50m (토양모델2)	120m (토양모델1)
참값을 읽는 전위전극위치	326 m (58.2%)	348 m (62.1%)	380 m (67.9%)
상기 위치에서 읽은 접지저항	4.17 ohm	4.36 ohm	4.80 ohm
접지저항계산값	3.32 ohm	3.58 ohm	4.42 ohm
계산/측정 오차	20.4%	17.8%	7.8%

그림 6,7은 접지해석 프로그램인 MALT[2]를 이용하여, 토양모델 #1,2,3을 가정하고 각각의 전위강하법 측정상황을 모의실험하여 얻은 계산/실측값을 비교한 것이다.

전위강하법은 변전소 접지망과 시험전류 주입을 위한 임시접지극을 반구접지극으로 가정했기 때문에, 그림 7에서 변전소 접지망에 가까운 곳(전극위치가 가까운 부분)과 먼 곳(전극위치가 먼 부분)은 상기 가정이 맞지 않으므로 오차가 많이 발생하였으나, 두 부분의 사이에서는 비교적 작은 오차가 발생한다. 이 오차는, 결보기 대지저항을 측정과정(ex. 평탄하지 않은 부지, 거리측정의 부정확성 등)이나 실제 토양을 수평다층모델로 등가화하는 과정에서 필연적으로 발생하는 것으로 생각된다.

표 5는 토양모델 #1~3을 각각 가정했을 때 얻어진, 전위강하법 측정곡선에서 접지저항 참값을 읽을 수 있는 전압전극의 위치와, 그 위치에서의 접지저항값 및 각각의 토양모델에서 계산된 접지저항값을 비교한 것이다.

표5와 그림6에 의하면 접지저항은 약 4.8 ohm으로 추정된다. 그러나 최대 전극간격이 30m, 50m로 좁은 경우는, 접지저항 추정값이 다소 작아지는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 Wenner 4전극법에 의한 결보기 대지저항율의 측정시에 충분히 긴 전극간격을 확보하지 않았을 때 등가토양모델의 선정, 접지저항의 예측 및 전위강하곡선 해석의 정확도에 미치는 영향을 고찰하였다.

표본변전소 접지설계단계부터 접지시공 후 전위강하법에 의한 접지저항의 측정작업까지의 결과에 기초하여, Wenner 4전극법의 최대전극간격이 작을수록, 접지저항 예측치와 전위강하법에 의한 접지저항 해석치가 과소평가 즉, 접지성능이 과대평가되는 경향이 있음을 보였다. 그러나 토양구조와 특성은 지역마다 차이가 있으므로, 이러한 경향이 일반적이라고 단정할 수는 없을 것이다.

결론적으로 보다 정확한 접지설계 및 접지저항 측정을 위하여는, 현행 변전소 접지설계를 위한 Wenner 4전극법 수행시 관례적으로 해오던 결보기저항율의 최대 측정간격(ex. 154 kV S/S경우 30 [m])을, 현장여건이 허락하는 한 보다 넓혀서 수행할 필요가 있다고 판단된다.

[참고문헌]

- [1]SES, RESAP Users' Manual
- [2]SES, MALT Users' Manual
- [3]전력연구원, "축소형변전소 접지효과 증대방안 연구(최종보고서)", 1998.4
- [4]한전기술(주), "축소형변전소 접지효과 증대방안 연구(위탁분 최종보고서)", 1998.1
- [5]전력연구원, "765kV 신서산변전소 접지설계(안)", 1998.6
- [6]전력연구원, "345kV 울주, 의령변전소 접지검토", 1998.6
- [7]전력연구원, "154kV 소태변전소 접지설계", 1998.9
- [8]전력연구원, "154kV 신내변전소 접지설계", 1998.8
- [9]전력연구원, "154kV 운천변전소 접지설계", 1999.5
- [10]전력연구원, "154kV 쌍문변전소 접지설계", 1999.6
- [11]SES, "Namchoonchun GIS Substation Grounding Analysis(Final Report)", 1996.12
- [12]IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System, IEEE Std 81-1983