

2층 토양모델을 가정한 송전철탑 접지설계

최중기*, 광주식*, 우정욱*, 심응보*, 김경호*
 *한전 전력연구원, *한국전력공사

Transmission Tower Grounding Design with Horizontal 2-Layer Soil Model

J.K.Choi*, J.S.Kwak*, J.W.Woo*, E.B.Shim*, K.H.Kim*
 *KEPRI, *KEPCO

Abstract

Grounding resistance is the basic performance indicator of grounding electrodes and the resistance has been calculated by simple equations, which is based on the assumption of uniform soil model. In this paper, tower grounding resistance is calculated assuming horizontally 2 layered soil model using finite element analysis method. A simple grounding design graph has been resulted from the calculation results.

1. 서론

송전철탑 접지극의 접지성능은 접지저항으로 대표될 수 있다. 따라서 접지설계에서 접지저항의 예측은 적절한 접지성능의 확보와 경제적인 시공을 위하여 매우 중요한 작업이다. 접지저항은 접지극의 물리적 크기뿐만 아니라 토양의 전기적 특성에 의해 크게 좌우된다. 이는 접지전류가 접지극을 빠져나와 무한원점에 도달하기까지의 적분경로 위에서 대지의 저항성분에 의한 전압강하가 접지극의 전위로 나타나기 때문이다. 따라서 접지설계시 정확한 접지저항의 예측은 토양의 전기적 특성 모델링의 정확성에 크게 좌우된다.

대부분 수작업에 의존하는 접지설계는 간략한 계산을 위하여 토양은 일정한 저항율을 갖는 균일매질로 간주된다. 그러나 암반이 많은 우리나라 지형에서는 토양심층으로 들어갈수록 저항율이 높아지는 경향이 지배적이므로 [1], 균일매질로서의 토양모델링은 오류가 포함될 가능성이 매우 높다[2]. 이러한 오류의 가능성을 줄이려면 토양은 실제토양에 보다 근접하게 모델링되어야 하는데, 이 경우에 토양은 서로 다른 저항율의 균일매질이 여러층 쌓여있는 수평다층구조로 모델링하는 것이 일반적이다. 이 때는 접지저항의 계산이 매우 복잡해지므로 수작업에 의한 계산은 불가능하며 접지도체를 유한개의 요소로 분할하여 그 해를 구하여야 한다.

송전철탑 접지극은 일정한 형상(매설지선 포설)을 가지므로, 위에서 기술한 유한요소해석에 의하여 가능한 경우를 미리 계산하여 그래프나 표로 요약할 수 있다면 매번 복잡한 계산과정을 거치지 않고도 간단히 접지설계를 할 수 있을 것이다. 이 논문에서는 토양을 수평2층구조로 가정함으로써 가능한 토양모델의 경우를 한정하고 철탑 매설지선의 길이를 달리했을 때의 접지저항을 계산하였으며, 이러한 계산결과를 한 개의 그래프로 표현함으로써

복잡한 유한요소해석을 하지 않고도 간단히 접지설계를 수행할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 토양모델의 선정

수평2층토양모델(그림 1 참조)의 경우의 수를 나타내는 방법 중 하나는 표토층저항율(ρ_1), 두께(h)과 반사계수(K)로 표현하는 것이다[3]. 단 반사계수(K)는 수식 (1)로 정의된다.

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad \text{--- (1)}$$

표토층 대지저항율(ρ_1)은 100~1500 Ωm , 반사계수(K)는 -0.8~0.8 및 표토층의 두께(h)는 1~10 m를 가정하였다.

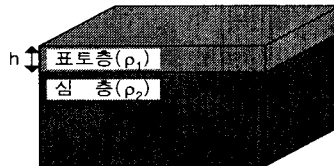


그림 1. 수평2층 토양모델

표 1. 수평2층 토양모델의 심층저항율

$K \backslash \rho_1$	100	300	500	700	1000	1500
-0.8	11	33	56	78	111	167
-0.6	25	75	125	175	250	375
-0.4	43	129	214	300	429	643
-0.2	67	200	333	467	667	1000
0.0	100	300	500	700	1000	1500
0.2	150	450	750	1050	1500	2250
0.4	233	700	1167	1633	2333	3500
0.6	400	1200	2000	2800	4000	6000
0.8	900	2700	4500	6300	9000	13500

(단, K는 반사계수($= \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$), ρ_1 , ρ_2 는 각각 표토-심층 저항율)

표 1은 이 논문에서 사용한 수평2층 토양모델을 반사계수(K)와 표토층저항율(ρ_1)로 정리한 것이다. 표토층의 두께는 1,3,5,7,10m 의 5가지를 가정하였다. 따라서 토양모델의 총 개수는 245개(=6x8x5+5)이다.

3. 접지저항의 계산

특정형상의 수평 매설지선의 접지저항 계산식은 잘 알려져 있다[3]. 그러나 이러한 계산식은 토양을 일정한 저항율을 갖는 균일매질로 가정함으로써 수계산이 가능하지만, 수평2층 토양모델에는 적용이 불가능하다. 따라서 이 경우에는 서론에서 기술한 바와 같은 이유로 유한요소해석에 의하여 접지저항을 계산하여야 하며, 이 논문에서는 F.P.Dawalibi가 제안한 알고리즘을 이용하여 접지저항을 계산하였다[4]. 유한요소해석에 의한 접지저항 계산과정을 간략히 기술하면 식(2)-(6)과 같다.

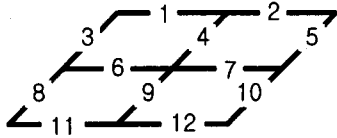


그림 2. 접지망을 유한요소로 분할

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{1,1} & Z_{1,2} & \dots & Z_{1,12} \\ Z_{2,1} & Z_{2,2} & \dots & Z_{2,12} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{12,1} & Z_{12,2} & \dots & Z_{12,12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{12} \end{bmatrix} \quad \text{--- (2)}$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_{12} = V_{GPR} \quad \text{--- (3)}$$

$$\begin{bmatrix} Z_{1,1} & Z_{1,2} & \dots & Z_{1,12} \\ Z_{2,1} & Z_{2,2} & \dots & Z_{2,12} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{12,1} & Z_{12,2} & \dots & Z_{12,12} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{GPR}} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{12} \end{bmatrix} \quad \text{--- (4)}$$

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + \dots + I_{12} \quad \text{--- (5)}$$

$$R_g = \frac{V_{GPR}}{I_{tot}} = \frac{1}{(I_1 + I_2 + \dots + I_{12})/V_{GPR}} \quad \text{--- (6)}$$

(단, V_j : j번째 도체세그먼트의 전위, I_j : j번째 도체 세그먼트의 누설전류, V_{GPR} : 접지전위)

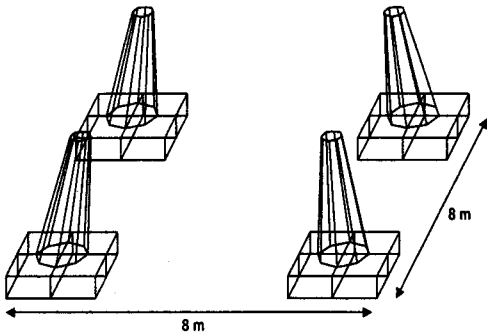


그림 3. 송전철탑 기초의 컴퓨터 모델

그림 3은 154kV 송전철탑 기초의 접지저항 계산을 위한 컴퓨터 모델의 사례를 보인 것이다. 원래는 그림 3과 같은 탑각과 매설지선의 접지저항을 모두 계산하여야 하지만, 탑각 구조체에 의한 접지효과는 안전여유로 간주하여 계산모델에서는 제외되었다. 매설지선만의 접지저항 계산모델은 그림 4에 보였으며, 토양모델의 종류와 매설지선 길이(L)를 달리하여 접지저항을 계산결과 일부를 그림 5~6에 보였다.

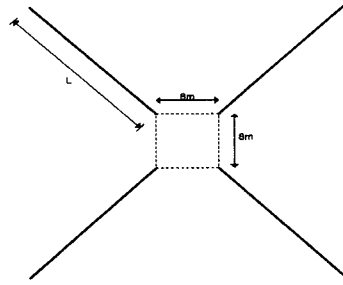


그림 4. 송전철탑 매설지선 접지

그림 5는 반사계수(K)가 0, 즉 표토층과 심층의 저항율이 같은 균일토양모델에서 매설지선 길이에 따른 접지저항 계산결과를 보인 것이다. 그림 6은 반사계수가 0이 아닌 경우에, 표토층의 두께와 매설지선 길이에 따른 접지저항 계산결과를 보인 것이다.

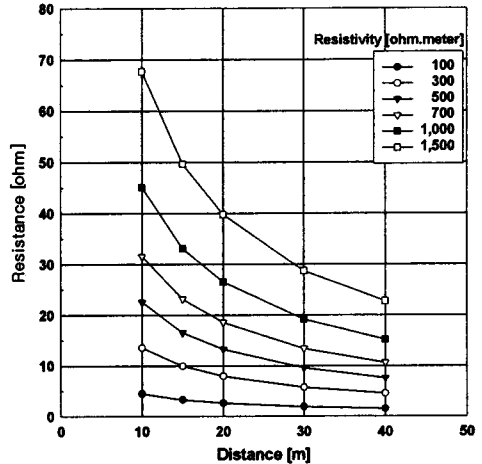


그림 5. 균일토양(K=0)에서 접지저항 계산결과

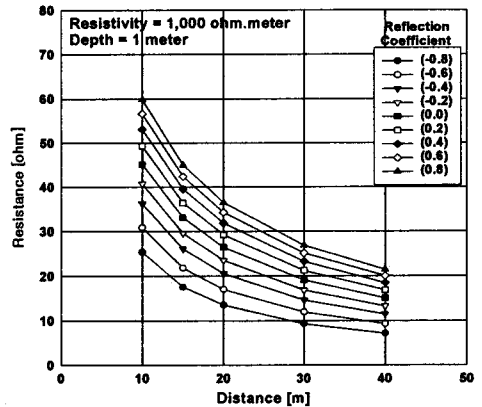


그림 6. 매설지선 길이에 따른 접지저항 계산결과 ($\rho_1=1000 \Omega\text{m}$, $-0.8 \leq K \leq 0.8$, $h=1 \text{ m}$)

그림 7은 표1의 245개 토양모델에서 매설지선 길이를 10, 15, 20, 30, 40m 로 달리했을 때 계산한 접지저항을 근거로 하여 154kV 철탑의 접지저항 요구치 15 Ω을 얻기위한 매설지선 소요길이를 역산한 결과를 그래프로 요약한 것이다. 이 그래프를 활용함으로써 접지설계자는 유한요소해석에 의하여 접지저항을 계산하는 과정을 거치지 않고도, 과거의 간략한 수계산식에 의한 방법보다 정확한 접지설계를 할 수 있게 된다.

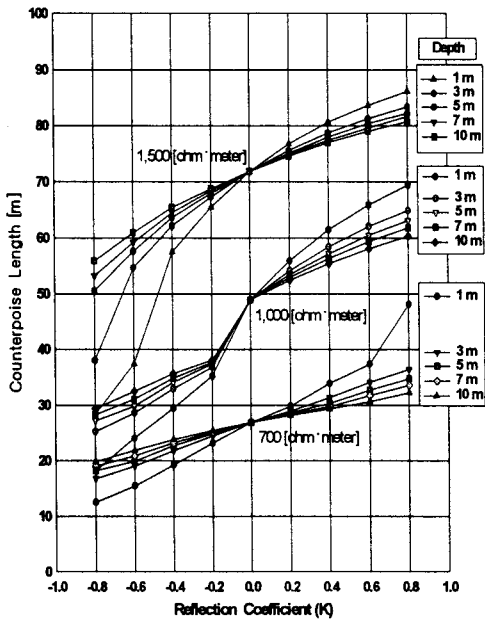


그림 7. 매설지선 소요길이 산정그래프

3. 결론

이 논문에서는 245개의 토양모델에서 매설지선 길이를 달리했을 때의 접지저항을 유한요소해석에 의하여 계산하고, 계산결과를 토양모델별로 분류함으로써 한개의 그래프에 계산결과를 모두 요약하도록 하였다. 이 그래프를 이용하면 접지설계시 설계자가 유한요소해석의 계산과정을 거치지 않고도 철탑접지의 요구 접지저항을 얻기위한 매설지선 소요길이 산정이 가능하므로, 기존의 수작업설계방식보다 정확한 접지설계가 가능하다.

[참고문헌]

- [1] 한국전기안전공사, 전기안전(제4호), pp.54-62, 1999
- [2] 전력연구원, "축소형변전소 접지효과 증대방안연구", 1998.4
- [3] ANSI/IEEE Std-80, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 2000
- [4] F.P.Dawalibi 외 1인, "Measurements and Computations of the Performance of Grounding Systems Buried in Multilayer Soils", IEEE Trans. on PD, Vol. 6, No. 4, pp. 1483-1490, Oct, 1991