

봉형 접지전극의 시설깊이에 따른 대지전위분포

이복희, 엄주홍, 안창환*
 인하대학교, *한국전력공사

Ground Potential Distribution Associated with the Buried Depth of Ground Rod

B.H. Lee, J.H. Eom, C.H. Ahn*
 Inha Univ., *KEPCO

Abstract - Ground potential rise is a vital part of personal safety, this paper presents the ground potential rise distribution induced by a ground rod. The experiments were conducted with the AC square wave currents according to the buried depth of ground rod. The ground potential is significantly varied in the vicinity of ground rod and the ground potential distribution is flat and low with increasing the buried depth of ground rod.

정하였다. 전류보조전극으로는 피측정 접지전극과 동일한 2.4 [m] 길이의 봉형 접지전극을 사용하였으며, 봉형 접지전극의 상단 부분이 지표면에 접하도록 하여 설치하였다. 피측정 접지전극으로부터의 이격거리에 따른 접지 저항과 대지전위상승을 측정하는 방법으로 실험을 수행하였으며, 실험결과를 바탕으로 하여 접지전극을 지하에 매설하는 깊이에 따른 대지전위분포의 특성 및 위험전압의 저감특성을 분석하였다.

1. 서 론

접지를 시설함에 있어서 보호의 대상이 되는 것으로는 접지를 필요로 하는 전기기구나 전기시스템 등과 더불어 사람이 있다. 일반적으로 접지전극의 성능을 접지저항으로 평가하는 것은 어느 정도 전기기구나 전기 시스템 등의 보호를 위주로 한다고 할 수 있다. 하지만 최근의 접지동향은 보호의 대상으로서 사람에게 그 중요성을 더욱 강조하고 있다. 미국이나 유럽의 접지관련 규정들에서는 접지의 성능을 평가함에 있어서 이상전압의 저감이나 효과적인 고장전류의 도통경로 제공능력 등과 더불어 가장 중시하는 요인인 인체에 위험한 접촉전압이나 보폭전압을 안전한 한계까지 저감시키는 데 중점을 두고 있다. 이러한 국제적인 접지시스템의 동향은 우리나라에서도 어느 정도 인식되어지고 있으며 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되어지고 있는 접지전극인 봉형 접지전극을 시설함에 있어서 그 시설깊이 변화에 따른 대지전위 분포의 특성을 인체에 위험한 보폭전압이나 접촉전압의 경감에 주요한 점을 두고 실험적인 연구를 통하여 측정·분석하였다. 국내에서 전기공사의 경우 접지전극은 지표면에 접하여 시설하는 경우보다는 현행 전기설비기술기준에 지표면으로부터 최소 0.75 [m] 이상의 깊이에 시설하도록 규정되어 있으며, 필요에 따라서는 보다 깊은 위치에 시설하기도 한다. 접지전극을 지하에 매설하는 것은 표토층의 온도변화나 함습정도 등의 변동에 대한 성능유지 뿐만 아니라 위험전압의 저감에도 크게 기여를 한다. 따라서 본 연구에서는 2.4 [m] 봉형 접지전극의 상단이 지표면에 놓이도록 수직으로 시설한 경우와 지하 0.75 [m], 1.5 [m]에 시설한 경우에 대하여 대지전위분포의 특성을 분석하여 위험전압의 저감능력을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 측정방법

봉형 접지전극이 대지면을 기준으로 수직으로 설치되어 있는 경우에 각각의 매설 깊이에 따른 대지전위분포의 특성을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 접지전극을 시설하였다. 그림 1의 (a)는 접지전극(E극)의 상단이 지표면에 접하도록 시설되는 경우를 모의한 것이며, (b), (c)는 접지전극의 상단이 지표면으로부터 0.75, 1.5 [m]의 깊이에 위치하도록 시설하는 경우를 모의한 것이다. 접지전극을 지하에 일정 깊이로 매설한 뒤 GV절연전선을 사용하여 접지전극과 연결하였다. 피측정 접지전극으로부터 전류보조전극을 20 [m] 이격하여 시설하였으며, 접지저항 및 대지전위분포 등은 전위강하법에 기초하여 측

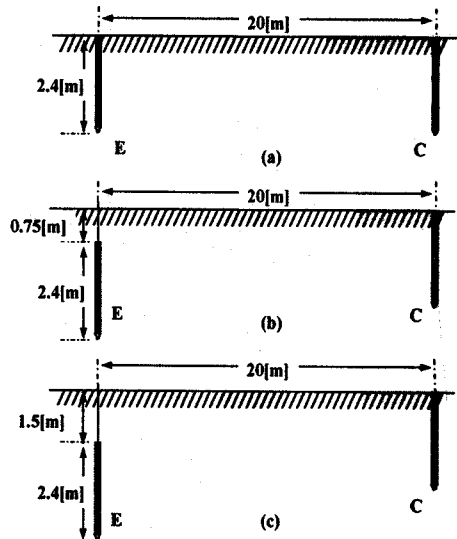


그림 1 접지전극의 시설
 Fig. 1 Installations of ground rod

2.2 대지전위분포 특성

전위보조전극을 피측정전극(E)으로부터 전류보조전극(C) 방향으로 0.2 [m] 간격으로 이동시키면서 측정된 접지저항 값을 그림 2에 나타내었다. 피측정 접지전극으로서는 길이 2.4 [m]의 봉형 접지전극을 사용하여 지표면에 접하여 매설된 경우(그림 1(a))와 지하에 매설된 경우(그림 1(b),(c))로 분리하여 측정하였다.

전위보조전극은 대지의 기준전위를 확보하여 피측정 접지전극의 접지저항을 측정하기 위해 설치하기 때문에 접지저항은 비교적 큰 값을 가지는 것이 요구되므로 전위보조전극의 설치 깊이는 0.2 [m]로 하였다.

피측정 접지전극과 전위보조전극(E-P)사이의 거리를 변수로 하여 측정된 접지저항의 곡선은 전위분포곡선과 동일한 형태를 가지며, 총측의 값이 접지저항으로 나타내게 된다. 이와 같이 E-P사이의 거리를 변수로 하여 측정된 접지저항의 곡선을 이용하면 측정할 때 인가하는 전압의 변동에 따라서 발생하는 오차를 없앨 수 있는 장점이 있다. 즉, 측정할 때 인가한 전압이 변동하면 피측정 접지전극과 전류보조전극을 통하여 흐르는 전류의 값이 비례적으로 변동하게 되므로 측정되는 접지저항의 값

은 일정하게 유지되어 정량적인 분석에 효과적이다.

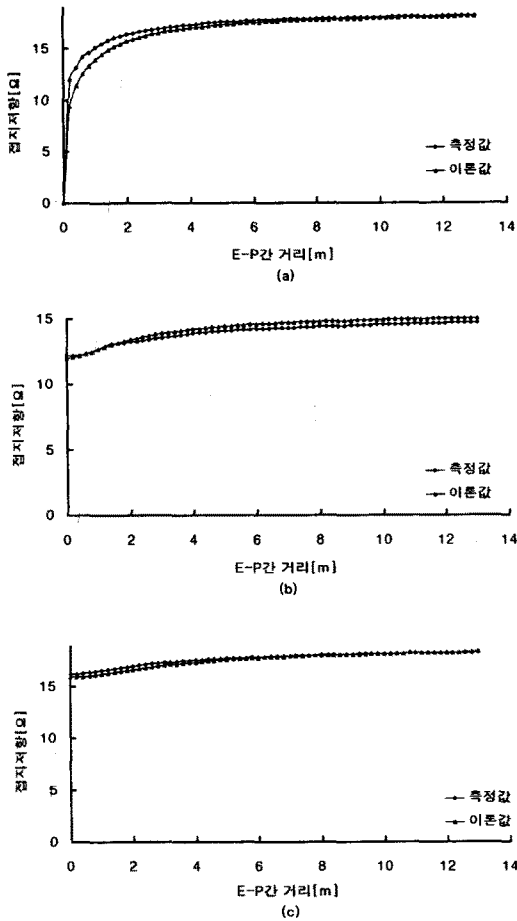


그림 2 접지저항의 곡선
Fig. 2 Curves of ground resistance

피측정 접지전극이 지표면에 접하여 시설된 경우(그림 2(a))에는 접지저항이 피측정전극의 근처에서 급격히 증가하는 현상을 보이며, E-P사이의 거리가 약 5 [m] 이후에서는 어느 정도 수평부를 유지하게 된다. 그림 2(b)의 접지저항곡선은 피측정 접지전극이 지하 0.75 [m]에 매설되어 있는 경우를 모의한 것으로서 일반적인 접지전극을 시설하는 방법이다. 지하에 접지전극이 매설되어 있는 경우에는 토양의 건조나 동결에 의하여 접지저항이 현저히 증가하는 것을 방지할 수 있으며, 직접 지표면에 노출되지 않으므로 보폭전압이 크게 감소한다. 즉, 지중에 접지전극을 매설하면 접지전극의 직상부라 하더라도 대지전위상승이 상당히 감소되어 나타나며, 그 변동이 완만한 곡선을 가지므로 접지전극으로부터 이격된 거리에 따라서 대지전위의 변동이 작게 나타난다. 따라서 대지면을 따라 전위보조전극을 이동시키며 측정된 접지저항곡선에서 접지전극의 직상부라 하더라도 접지전극과 대지면의 사이에 나타나는 약 0.55 [m]의 거리차에 의하여 일정값의 저항을 가지는 것으로 나타나고 있다. 그림 2(c)의 접지저항곡선은 피측정 접지전극이 지하 1.5 [m]에 매설되어 있는 경우를 모의한 것이다. 그림 2(b)의 경우보다 피측정 접지전극의 직상부에서 측정된 접지저항곡선이 훨씬 완만한 형태를 보인다.

각각의 깊이에 시설된 접지전극을 통하여 100 [A]의

접지전류가 대지로 방류되는 경우를 모의하여 지표면에 나타나는 대지전위상승을 그림 3에 나타내었다. 접지전극이 지표면에 접하여 시설된 경우에(그림 3(a))는 접지전극 근처의 대지전위가 대단히 높게 상승하며 접지전극으로부터 멀어질수록 급격히 감소하는 형태를 가진다. 접지전극의 전위가 대단히 높게 나타나며 전극으로부터의 거리가 증가함에 따라 급격히 감소하는 형태의 대지전위 분포에서는 인체에 위험으로 작용하는 보폭전압이나 접촉전압이 크게 되어 위험요소로 작용할 수 있다. 접지전극이 지하 0.75 [m](그림 3(b)), 1.5 [m](그림 3(c))에 매설된 경우에는 접지전극 근처의 대지전위가 지표면에 접하여 시설된 경우 보다 크게 감소하여 나타나고 있으며, 매설된 깊이가 증가할수록 감소 정도는 크다. 즉, 접지전극을 지하에 깊게 매설하는 경우가 대지면의 전위상승을 저감시키는 효과가 크다.

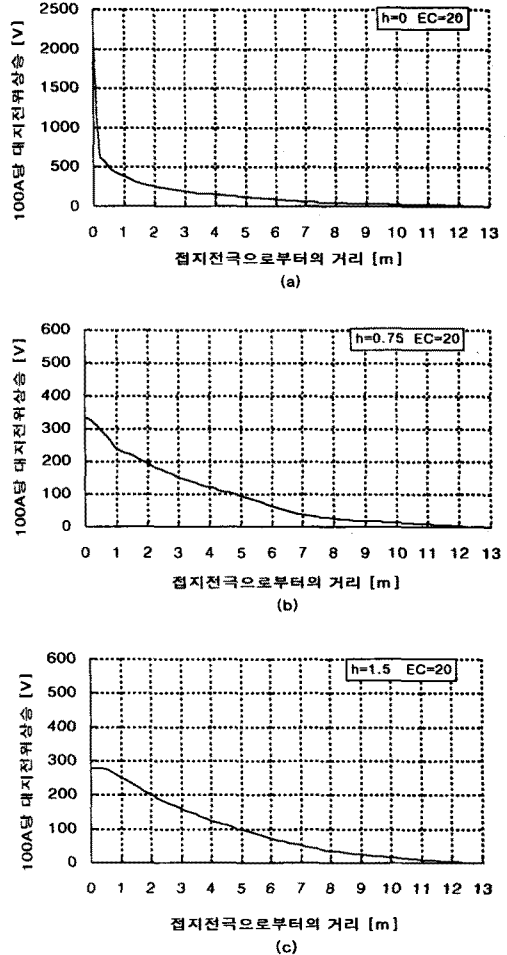


그림 3 100A당 대지전위 상승
Fig. 3 GPR per 100A

접지전극 직상부의 대지전위상승을 동일한 전극전위로 규격화하여 나타낼 때 지표면에 접하여 봉형 접지전극을 시설하는 경우에 비하여 0.75 [m] 깊이로 시설한 봉형 접지전극의 대지전위는 약 21 [%], 1.5 [m] 깊이로 시설한 봉형 접지전극의 대지전위는 약 14 [%]로 저감되는 결과를 보였다.

2.3 접지저항곡선의 이론적 산출

봉형 접지전극의 경우 접지저항의 값을 이론적으로 산출하여 측정된 접지저항의 값을 비교·검토함으로써 측정의 타당성을 확보하면 측정상의 오류를 배제할 수 있다. 하지만 이론적으로 계산한 접지저항 값이 실제의 측정결과와 정확히 일치하는 경우보다는 어느 정도의 오차 범위를 가지게 된다. 접지전극의 상단이 지표면에 접하여 시설된 경우는 식 (1)을, 지하에 매설된 경우는 식 (2)를 이용하여 접지저항 곡선을 작성하였으며, 이를 측정값과 비교하여 그림 2에 나타내었다.^{[1],[2]}

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{l}{x} + \frac{\sqrt{x^2 + l^2}}{x}\right) \quad \text{식 (1)}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\frac{l+h+\sqrt{x^2+l+h^2}}{h+\sqrt{h^2+x^2}} \quad \text{식 (2)}$$

E-P전극사이의 거리를 변화시킬 때 이론적으로 얻어지는 접지저항의 곡선을 작성하기 위해서는 대지저항률의 정확한 산정이 필요하며, 그림 4에 나타난 대지저항률 곡선을 이용하여 적절한 깊이에서의 대지저항률을 추정하여 적용하였다. 측정에 사용된 피측정 접지전극의 길이가 2.4 [m]이며, 각각의 접지전극에서 매설깊이가 0.75, 1.5 [m]의 차이를 보이므로 전체적으로 평균화된 대지저항률을 이용하는 것은 의미가 없다. 그러므로 적어도 1 [m]단위의 깊이로 대지저항률의 변동을 추정하여 적용하는 것이 타당하다. 절보기 대지저항률을 측정하여 각각의 대지저항률을 가지는 토양층의 깊이를 정확히 구하기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서도 여러 가지 조건에 대한 측정의 경험과 이론적인 근거를 통하여 추정된 대지저항률을 표 1에 나타내었다.

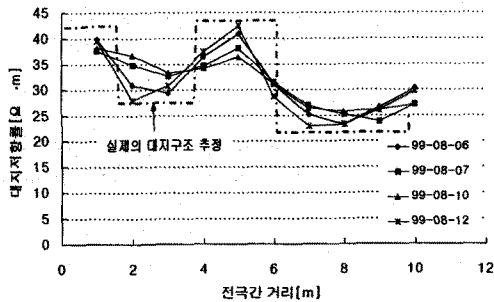


그림 4 측정된 대지저항률
Fig. 4 Measured soil resistivity

표 1 대지저항률의 추정값
Table 1 Estimated values of the soil resistivity

구 분	h = 0	h = 0.75	h = 1.5
접지전극의 시설위치 (m)	0~2.3	0.75~3.15	1.5~3.9
시설위치의 대지저항률 추정값 (Ω·m)	43	35	44

2.3 접지전극의 매설깊이에 따른 보폭전압

접지전극의 상단을 지하에 매설할 경우 지표면에 접하여 시설되는 경우보다 대지전위 상승을 억제하는 효과가 크고 동시에 보폭전압의 저감이 현저하다. 접지전극에서 접지저항이 각각의 매설깊이에 따라 다르므로 접지전극 전위를 2,000 [V]로 규격화하였을 때 지표면에 나타나는 보폭전압을 비교하여 그림 5에 나타내었다.

접지전극의 상단이 지표면에 접하여 설치되어 있는 경우는 100 [A]의 접지전류에 의해서 접지전극 근처에는 1,623 [V]의 보폭전압이 발생하게 되며, 접지전극으로부

터 1~2 [m] 구간에서도 약 126 [V]의 보폭전압이 발생한다. 반면 접지전극의 상단이 지표면으로부터 0.75 [m]의 깊이에 매설된 경우에는 접지전극 근처의 대지전위 상승이 상당히 저감되며, 보폭전압의 최대값도 약 118 [V]로서 비교적 낮은 값을 가진다. 접지전극의 상단이 지표면으로부터 1.5 [m]의 깊이에 매설한 경우 접지전극 근처의 지표면상의 0~1 [m] 구간이 1~2 [m] 구간보다 오히려 작은 보폭전압으로 나타났으며, 최대 보폭전압도 약 52 [V]로서 가장 작은 값을 나타내었다. 접지전극의 상단이 지표면 또는 지표면에서 0.75 [m] 깊이에 위치한 경우 각 구간별 보폭전압은 단조감소로 나타났으나 1.5 [m]인 경우는 1~2 [m] 구간에서 보폭전압이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 접지전극의 매설깊이가 깊을수록 지표면의 대지전위 상승은 저감되며, 접지전극 직상부의 최대 대지전위 상승 지점이 완만한 곡선을 이루며 넓게 분포하기 때문에 발생하는 것으로서 접지전극을 지하에 깊게 매설하는 것이 지표면에 시설하는 경우보다 인체에 위험한 전압으로 작용하는 보폭전압을 저감시키는 데 효과적임을 알 수 있다.

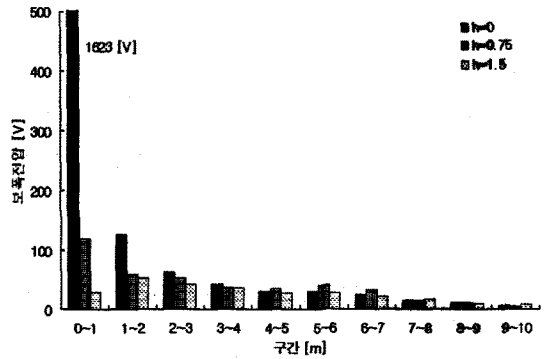


그림 5 각 구간별 보폭전압
Fig. 5 Step voltages of each section

3. 결 론

본 연구에서는 봉형 접지전극을 시설함에 있어서 매설 깊이에 따른 대지전위분포를 실험적으로 측정하고 각각의 매설깊이에 따른 보폭전압을 규격화된 접지전류에 대하여 분석하였다. 봉형 접지전극이 시설되는 깊이가 증가함에 따라 접지전극 근방에서의 대지전위 상승 정도가 크게 저감되었다. 대지전위 상승은 봉형 접지전극이 지표면에 접하여 시설되는 경우에 비하여 0.75 [m] 깊이에서는 약 21 [%], 1.5 [m] 깊이에서는 14 [%]로 저감되는 특성을 보였다. 보폭전압에 있어서도 0-1구간에서 7 [%], 2 [%]로, 1-2구간에서 47 [%], 41 [%]로 저감되어 나타났으며 이후의 구간에서는 그 차이가 점차로 줄어들었다. 봉형 접지전극의 시설에서 접지전극을 매설하는 깊이가 증가할수록 전극 근방의 대지전위 상승이나 보폭전압을 감소시키는 효과가 크므로 경제적인 요구에 부합되는 적절한 깊이를 선정하여 접지전극을 시설하는 방안은 전기공사의 실무에 널리 활용될 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 도서출판 義興, p.65, pp.69~76, pp.118~125, 1999.
- [2] ANSI/IEEE Std 80-1986, "An American National Standard: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE inc., pp.43~53, pp.242~255, 1985.
- [3] F. Dawalibi, and D. Mukhedkar, "Resistance Measurement of Large Grounding System", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No.6, pp.2348~2354, 1979.
- [4] R. J. Heppie "Step Potential and Body Currents Near Grounds in Two-Layer Earth", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No. 1, pp.45~59, 1979.