

직선형 접지전극의 임계길이의 산정

(Computation of Critical Length for Linear Grounding Electrodes)

김기복* · 이복희 · 조정현**

(Ki-Bok Kim · Bok-Hee Lee · Jeong-Hyeon Joe)

요 약

뇌전류와 같이 고주파성분을 함유한 서지전류나 전자통신기기의 전자기장해를 유발하는 고주파 이상전류에 대하여 접지전극은 주파수에 의존적인 상당히 복합적인 임피던스의 특성을 보인다. 접지전극의 접지임피던스는 접지전극의 크기를 증가시켜도 낮아지지 않고, 대지의 특성과 주파수 조건에 따라 접지임피던스가 최소값을 보이는 접지전극의 길이가 존재하며, 이 접지전극의 길이를 대지의 특성과 주파수 조건에 대한 임계길이라 정의한다. 본 논문에서는 분포정수회로모델을 이용하여 수직접지전극과 수평접지전극의 임계길이를 산정하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 타당성을 확인하였다.

Abstract

For the surge currents like lightning currents containing high frequency components and the abnormal currents having high frequencies which cause the EMI(Electromagnetic interference) problems for the electronic devices and communication instruments, the linear grounding electrodes have the significantly composite impedance characteristics which are dependent on the frequency of the applied current. The impedance of a grounding electrode is not lowered by expanding the dimension of the grounding electrode, and the length of grounding electrode having the minimum value of the grounding impedance for each condition of frequency and soil characteristics is existent, and it is defined as Critical length. In this paper, the critical lengths for the vertically and horizontally-buried grounding electrodes are calculated by using the distributed parameter circuit model. The propriety of the simulations has been confirmed by comparing the simulated results with the measured results.

Key Words : Grounding Impedance, Critical Length, Vertically And Horizontally Buried Grounding Electrodes

* 주저자 : 인하대학교 대학원 전기공학과 박사과정
** 교신저자 : 인하대학교 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : smilejoejh@naver.com

접수일자 : 2009년 6월 3일

1차심사 : 2009년 6월 9일

심사완료 : 2009년 7월 27일

1. 서 론

접지전극의 역할은 피보호시스템에 유입되는 서지나 고장전류 등의 이상전류를 안전하게 대지로 방류시켜 이상전류로부터 시스템을 보호하는 것이다 [1-2].

직선형 접지전극의 임계길이의 산정

현재 국내의 접지전극 성능평가는 대부분 접지저항의 측정에 의해 이루어지며, 접지저항이 낮을수록 이상전류에 의한 전위상승을 낮출 수 있으므로 그 특성이 우수한 것으로 평가한다. 접지저항은 상용주파수 전류와 같은 저주파 전류에 대한 접지전극의 특성이며, 접지전극의 치수를 증가시킴으로써 낮출 수 있다. 하지만, 고주파성분을 함유한 뇌격전류와 전자통신기기의 전자기장해(EMI)를 유발하는 고주파 이상전류에 대하여 접지전극은 주파수에 의존적인 상당히 복잡한 임피던스의 특성을 보인다[3-4]. 따라서 고주파 전류에 대한 접지전극의 성능은 접지임피던스에 의해 평가하는 것이 바람직하다. 접지임피던스는 접지전극의 형상, 인가전류의 주파수, 대지의 특성에 영향을 받으며, 접지저항과는 달리 단순히 접지전극의 크기를 증가시킴으로써 낮출 수 없다[3-4].

직선형 접지전극의 접지임피던스 특성은 분포정수회로모델로 해석이 가능하며, 많은 실험과 연구를 통해 분포정수회로모델의 모의해석 결과가 실제 측정결과와 상당히 일치함이 확인되었다[5-7]. 분포정수회로모델을 이용한 모의해석 결과에 따르면, 각 대지의 특성과 주파수 조건에 따라 접지임피던스가 최소값을 보이는 접지전극의 길이가 존재하며, 이 최소값을 보이는 접지전극의 길이를 각 대지의 특성과 주파수 조건에 대한 임계길이라고 정의한다[3]. 임계길이 이상의 길이에서는 더 이상 접지임피던스가 감소하지 않고, 길이의 증가에 의해 접지전극을 이루는 금속도체의 인덕턴스 영향이 커져 오히려 접지임피던스가 증가하게 된다. 현재 접지임피던스에 대해 다양한 관점에서 연구가 진행되고 있기 때문에 임계길이에 대한 정의도 다양하며, 본 논문에서는 위에 언급한 바와 같이 임계길이를 정의하였다[8].

각 대지조건과 예상되는 이상전류의 주파수 범위에 대한 접지전극의 임계길이를 산정하여 이상전류에 대해 가장 효과적인 접지시스템을 시설하는 한편, 단순히 치수를 크게 하여 접지저항을 낮추는 과도한 접지전극 시설을 배제하여 경제성을 높이는 효과를 얻을 수 있는 접지시스템의 설계를 위한 기초자료를 제공할 목적으로 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 분포정수회로모델을 이용하여 수직접

지전극과 수평접지전극(매설지선)을 모의해석하여 각 대지의 특성과 주파수에서의 임계길이를 산정하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 그 타당성을 확인하였다.

2. 접지전극의 임계길이의 산정방법

고주파성분을 포함한 뇌격전류와 전자기장해(EMI)를 유발하는 고주파 이상전류에 대해서는 접지전극의 인덕턴스와 토양의 커패시턴스에 의한 임피던스의 영향이 작음하며, 이러한 접지전극의 고주파 전류에 대한 임피던스특성은 분포정수회로모델을 이용하여 해석할 수 있다. 본 연구에서는 수직접지전극과 수평접지전극을 대상으로 분포정수회로모델을 구현하였으며, 다음의 과정을 통해 수직접지전극과 수평접지전극의 임계길이를 산정하였다.

분포정수회로모델은 그림 1과 같이 접지전극의 인덕턴스, 토양의 저항과 커패시턴스를 분포정수로 표현하며, 분포정수와 전송선로의 전파방정식을 이용하여 접지임피던스를 산출한다. 수직접지전극과 매설지선 각각에 대한 분포정수는 수직접지전극에 대한 Tagg의 접지저항식과 매설지선에 대한 Sunde의 접지저항식으로부터 산출하였으며, 각 접지전극을 이루는 도체의 내부저항은 그 크기와 영향이 매우 미미하므로 0으로 간주하였다[3, 9].

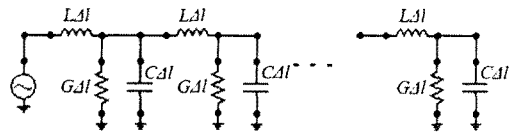


그림 1. 분포정수모델의 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of distributed parameter model

수직접지전극에 대한 Tagg의 접지저항식은 식 (1)과 같으며, 수직접지전극의 분포정수는 식 (2)~(4)와 같이 계산된다.

$$R_0 = \frac{\rho \ln\left(\frac{4l}{d}\right)}{2\pi l} \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$G = \frac{2\pi}{\rho \ln\left(\frac{4l}{d}\right)} \quad [\text{S/m}] \quad (2)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left(\frac{4l}{d}\right)} \quad [\text{F/m}] \quad (3)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{4l}{d}\right) \quad [\text{H/m}] \quad (4)$$

여기서, l 은 수직접지전극의 길이, d 는 직경, ρ 는 대지의 저항률, ϵ_r 은 대지의 비유전율, ϵ_0 , μ_0 는 각각 진공의 유전율과 투자율이다.

매설지선에 대한 Sunde의 접지저항식은 식 (5)과 같으며, 매설지선의 분포정수는 식 (6)~(8)과 같이 계산된다.

$$R_0 = \frac{\rho}{\pi l} \left[\ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rs}}\right) - 1 \right] \quad [\Omega] \quad (5)$$

$$G = \frac{\pi}{\rho} \frac{1}{\ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rs}}\right) - 1} \quad [\text{S/m}] \quad (6)$$

$$C = \frac{\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rs}}\right) - 1} \quad [\text{F/m}] \quad (7)$$

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left[\ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rs}}\right) - 1 \right] \quad [\text{H/m}] \quad (8)$$

여기서, l 은 매설지선의 길이, r 는 반경, s 는 매설 깊이이다.

각 형태의 접지전극에 대한 분포회로정수와 식 (9)와 (10)의 전파방정식을 이용하여 접지전극의 전류 인가점에서 본 임피던스, 즉, 접지임피던스를 식 (11)과 같이 산출하였다[3, 10]. α 와 Z_c 는 각각 전파정수와 특성임피던스로 분포회로정수와 관계는 식 (12)과 (13)과 같으며, 접지전극 끝단은 개방상태로 가정하였다[3].

$$E_s = E_r \cosh(\alpha l) + I_r Z_c \sinh(\alpha l) \quad (9)$$

$$I_s = I_r \cosh(\alpha l) + \frac{E_r}{Z_c} \sinh(\alpha l) \quad (10)$$

$$Z = \frac{E_s}{I_s} = \frac{e^{2\alpha l} + 1}{e^{2\alpha l} - 1} Z_c \quad (11)$$

$$\alpha = \sqrt{j\omega L(G + j\omega C)} \quad (12)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (13)$$

여기서, E_s , I_s 는 송전단 전압과 전류이며, E_r , I_r 은 수신단 전압과 전류이다.

위와 같은 방법을 통하여 특정한 주파수의 전류와 토양의 저항률과 비유전율에 대한 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스의 특성을 해석할 수 있다. 수직접지전극과 매설지선의 분포정수회로모델을 이용하여 길이에 따른 접지임피던스의 특성을 해석한 결과에 따르면, 각 토양의 특성과 주파수에 따라 접지임피던스가 최소값을 보이는 길이가 존재하며, 이 최소값을 보이는 접지전극의 길이를 각 토양의 특성과 주파수에 대한 임계길이로 정의한다.

3. 결과 및 검토

3.1 모의해석 조건과 실험방법

임계길이의 산정에 앞서 각 토양의 특성과 주파수 조건에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스의 특성변화를 해석하였다. 또한 모의해석결과를 실험결과와 비교·분석하여 분포정수회로모델의 타당성을 검토하였다. 길이 10[m], 48[m]의 수직접지전극과 길이 30[m], 50[m]의 매설지선이 시설된 각 접지전극 주변 토양의 저항률을 대상으로 해석하였으며, 수직접지전극과 매설지선의 직경은 각각 54[mm], 5.6[mm]이고, 수직접지전극과 매설지선은 지표면으로부터 각각 1[m], 0.5[m]의 깊이에 매설하였다.

접지전극의 길이를 1[m]부터 600[m]까지 0.01[m] 간격으로 변화시키며 접지임피던스를 해석하였으며, 인가전류의 주파수는 10[kHz], 100[kHz], 1[MHz]의 3 가지 주파수에 대하여 해석하였다.

그리고 각 접지전극의 접지저항 측정결과를 표 1에 나타내었으며, 각 접지전극의 접지저항식인 식

직선형 접지전극의 임계길이의 산정

(1)과 식 (5)에 의해 역산된 토양의 겉보기 대지저항률을 반영하여 각 접지전극이 시설된 토양의 조건에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스의 특성을 모의하였다. 토양의 비유전율은 측정이 불가능하여 단일 비유전율로 가정하였으며, 건조 토양의 비유전율이 약 2~3이고 물의 비유전율이 대략 80 정도임을 고려하여, 10, 40, 80의 세 가지 비유전율을 적용하였다[11-12].

표 1. 각 접지전극의 접지저항 측정치
Table 1. Measured ground resistances for each electrode

접지전극	접지저항[Ω]
10[m] 수직접지전극	9.3
48[m] 수직접지전극	5.5
30[m] 매설지선	28.3
50[m] 매설지선	27.5

또한, 모의해석결과와 비교하기 위해 각 접지전극의 임피던스를 IEEE 81.2-1991이 권고하는 전류보조전극을 전위보조극과 90° 각도를 이루게 배치하는 수정된 전위강하법을 적용하여 측정하였다[13].

3.2 수직접지전극의 길이에 따른 임피던스 특성

길이 10[m]와 48[m] 수직접지전극이 설치된 토양의 저항률 88.4, 203.6[Ω·m]에 대하여 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스의 모의해석결과를 그림 2와 그림 3에 도시하였다. 그림 2의 그래프를 통해 실제 10[m] 수직접지전극의 주파수에 따른 접지임피던스 측정결과와 모의해석결과가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 그림 3에 나타난 48[m] 수직접지전극의 주파수에 따른 접지임피던스 측정결과가 모의해석결과와 다소 차이가 있으며, 특히 100[kHz]에서의 결과가 큰 차이를 보였다. 하지만 48[m] 수직접지전극의 주파수에 따른 접지임피던스 측정결과와 전체적인 추세는 모의해석결과와 대체로 일치함을 확인할 수 있다.

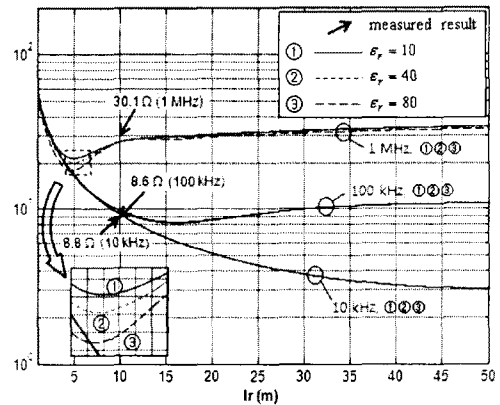


그림 2. 10[m] 수직접지전극이 설치된 위치에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스 모의해석결과와 측정결과

Fig. 2. Simulated and measured results for the grounding impedance as a function of the length of grounding electrode at the place where the 10(m) vertical grounding electrode was buried

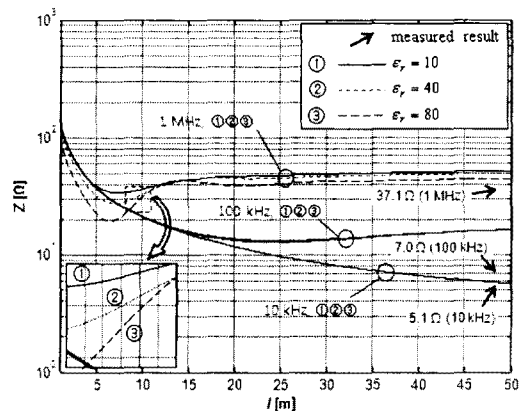


그림 3. 48[m] 수직접지전극이 설치된 위치에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스 모의해석결과와 측정결과

Fig. 3. Simulated and measured results for the grounding impedance as a function of the length of grounding electrode at the place where the 48(m) vertical grounding electrode was buried

접지저항은 주파수와 토양의 유전율에 상관없이 접지전극의 길이를 증가시킴으로써 낮출 수 있지만, 그림 2와 그림 3과 같이 접지임피던스는 주파수와

유전율에 따라 다르게 나타나는 복합적인 특성이 나타났다. 다만 주파수와 유전율에 대하여 공통적으로 접지임피던스가 2[m] 이하의 길이에 대하여 큰 크기를 보였으며, 접지전극의 길이가 길어짐에 따라 감소하다가 특정길이 이상에서는 증가한 길이에 의한 접지전극의 인덕턴스 영향이 커져 오히려 접지임피던스가 증가하는 특성을 보였다. 따라서 주파수와 토양조건에 대하여 분포정수회로모델을 통해 모의한 접지임피던스가 최소값을 보이는 접지전극의 임계길이가 존재하며, 단순히 접지전극의 길이를 증가시켜 접지임피던스를 낮출 수 없다.

그림 2와 그림 3의 모의해석결과와 같이 각 주파수에 따라 접지임피던스의 길이에 따른 변화추세가 다르게 나타났으며, 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스가 최소값을 보이는 접지전극의 임계길이가 짧아지는 특성을 보였다. 또한 낮은 주파수에서는 유전율의 영향이 거의 없었으며, 주파수가 증가함에 따라 유전율에 의한 영향이 더 크게 나타나고 유전율이 클수록 각 접지전극의 길이에서의 접지임피던스와 임계길이가 감소하는 특성을 보였다. 그림 2와 3의 모의해석 조건인 각 수직접지전극 주변 토양의 저항률이 다르기 때문에 접지임피던스의 크기가 다르고 추세에 다소 차이가 있으나, 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스의 추세가 유사하게 나타났다. 10[m] 수직접지전극 주변 토양의 저항률보다 48[m] 수직접지전극 주변 토양의 저항률이 더 높기 때문에 동일한 접지전극의 길이에서 접지임피던스가 더 크게 나타났으며, 각 주파수와 유전율에 따른 임계길이도 다르게 결정되는 것을 확인할 수 있다.

3.3 매설지선의 길이에 따른 임피던스 특성

길이 30[m]와 50[m]의 매설지선에 대하여 접지전극의 길이에 따른 특성을 모의하였으며, 그 결과를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 수직접지전극과 마찬가지로 30[m]와 50[m] 매설지선의 모의해석결과도 주파수에 따른 접지임피던스의 측정결과와 거의 동일한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, 30[m]와 50[m] 매설지선의 길이에 따른 접지임피던

스의 모의해석결과도 접지임피던스의 크기에만 차이가 있을 뿐, 수직접지전극의 모의해석결과와 동일한 추세를 보였으며, 주파수와 유전율에 의한 영향도 거의 동일하게 나타났다.

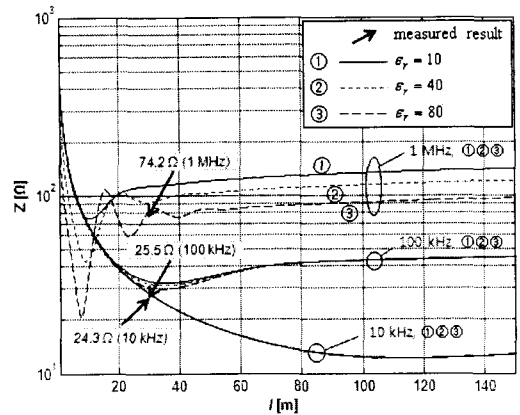


그림 4. 30(m) 매설지선이 설치된 위치에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스 해석결과와 측정결과
Fig. 4. Simulated and measured results for the grounding impedance as a function of the length of grounding electrode at the place where the 30(m) counterpoise was buried

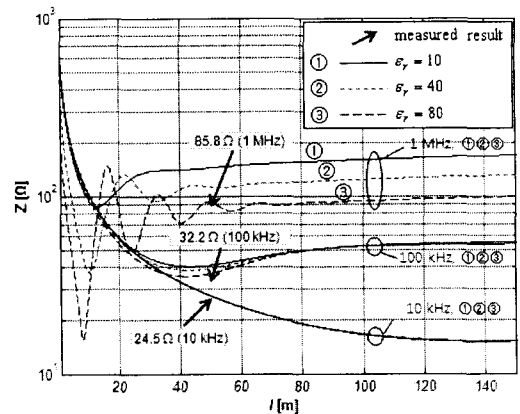


그림 5. 50(m) 매설지선이 설치된 위치에서 접지전극의 길이에 따른 접지임피던스 해석결과와 측정결과
Fig. 5. Simulated and measured results for the grounding impedance as a function of the length of grounding electrode at the place where the 50(m) counterpoise was buried

다만, 매설지선의 길이가 1[m]에서부터 증가함에

직선형 접지전극의 임계길이의 산정

따라 1[MHz]에서의 접지임피던스가 증가와 감소를 반복하는 특성이 나타났는데, 이러한 모의해석결과는 토양의 저항률 차이가 그 원인으로 판단된다. 30[m]와 50[m] 매설지선의 접지저항 측정치로부터 Sunde의 매설지선 접지저항식(식 (5))을 이용하여 역산한 토양의 겔보기저항률은 442.4, 660.5[Ω·m]이며, 상대적으로 10[m]와 48[m] 수직접지전극이 시설된 장소의 토양의 저항률 88.4, 203.6[Ω·m]에 비해 수 배 정도 높은 수치를 보였다.

또한 매설지선이 시설된 위치 주변의 토양의 저항률에 대하여 수직접지전극을 모의해석해 본 결과, 접지임피던스의 크기만 다를 뿐 길이에 따른 접지임피던스 특성의 추세가 동일하게 나타났으며, 각 주파수와 유전율에 대한 특성 또한 동일하게 나타났다. 이러한 해석결과에 대한 분석은 다음 절에 기술하였다.

3.4 모의해석결과에 대한 검토

수직접지전극과 매설지선의 접지임피던스에 대한 모의해석결과는 크기만 다를 뿐 동일한 양상이 나타나는 원인은 수식으로 표현된 각 접지전극의 분포정수, 식 (11)~(13)의 전과정수와 특성임피던스, 접지임피던스를 분석함으로써 설명이 가능하다. 전과정수를 나타낸 식 (12)에 각 접지전극의 분포정수를 대입하여 정리하면, 식 (14)과 같이 동일한 결과를 나타낸다. 또한, 특성임피던스를 나타낸 식 (13)에 각 접지전극의 분포정수를 대입하여 정리하면, 수직접지전극과 매설지선의 특성임피던스는 각각 식 (15), (16)과 같이 표현된다.

$$\alpha = \sqrt{j\omega \frac{\mu_0}{\rho} - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (14)$$

$$Z_c = k_1 \sqrt{\frac{j\omega \mu_0}{\frac{1}{\rho} + j\omega \epsilon_0 \epsilon_r}}, \quad k_1 = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{4l}{d} \quad (15)$$

$$Z_c = k_2 \sqrt{\frac{j\omega \mu_0}{\frac{1}{\rho} + j\omega \epsilon_0 \epsilon_r}}, \quad k_2 = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2l}{\sqrt{2}rs} \right) - 1 \right] \quad (16)$$

식 (15)과 식 (16)의 각 형태의 접지전극의 특성임피던스를 비교해 보면, k_1 과 k_2 로 표현된 전극의 형상을 파라미터로 하는 항을 제외하면 수식적 표현이 동일하다. 따라서 주파수와 토양의 저항률, 유전율에 대한 수직접지전극과 매설지선의 특성임피던스의 수식적 관계가 동일하며, k_1 과 k_2 항에서 나타나는 접지전극 길이와 특성임피던스의 관계도 동일한 자연로그함수의 관계를 갖고 있다. 따라서 수직접지전극과 매설지선의 접지임피던스를 전과정수와 특성임피던스로 표현한 식 (11)을 통해 비교해 보면, 각 형태의 접지전극의 특성임피던스를 나타내는 식 (15), (16)의 k_1 과 k_2 항의 차이에 의해 접지임피던스의 크기만 다를 뿐, 접지전극의 길이, 주파수, 토양 특성이 접지임피던스에 대하여 동일한 수식적 관계를 갖고 있다. 이러한 수식적 관계의 동일성에 의해 분포정수회로모델을 통한 수직접지전극과 매설지선의 접지임피던스의 모의해석결과가 크기만 다를 뿐 동일한 특성을 보이게 되며, 결과적으로 임계길이도 또한 동일한 결과를 나타낸다.

3.5 임계길이의 산정 및 분석

수직접지전극과 매설지선의 분포정수회로모델을 이용한 접지임피던스의 모의해석결과를 보면, 접지임피던스의 크기만 다를 뿐 접지전극의 길이, 인가전류 주파수, 토양 특성에 대하여 동일한 추세를 보였으며, 결과적으로 수직접지전극과 매설지선의 임계길이 산정결과도 그림 6과 7의 동일한 결과를 나타냈다.

그림 6과 7에 나타난 접지전극의 임계길이의 산정결과를 분석해 보면, 대지저항률이 증가할수록 임계길이가 증가하고, 주파수가 증가할수록 임계길이가 감소하는 특성을 보였다. 또한 낮은 대지저항률과 낮은 주파수의 조건에서는 유전율의 영향이 거의 없는 반면, 대지저항률과 주파수가 증가함에 따라 유전율의 영향이 증가하여 높은 토양저항률과 고주파수의 조건에서 유전율이 증가할수록 임계길이는 감소하는 특성을 보였다.

접지전극의 길이가 증가할수록 접지저항은 낮아지지만, 접지전극의 인덕턴스 영향이 증가하여 높은

주파수에서 접지임피던스는 크게 증가하게 된다. 반면, 접지전극의 길이가 감소할수록 접지저항은 증가하지만, 토양의 커패시턴스의 영향이 증가하여, 높은 주파수에서의 접지임피던스가 오히려 접지저항보다 작아지는 현상이 발생한다[14]. 이러한 특성에 의해 주파수가 증가할수록 접지전극의 임계길이는 감소하게 된다. 또한 토양의 유전율이 커지면 토양의 커패시턴스의 영향이 커지므로, 유전율의 증가에 의해

높은 주파수에서 접지임피던스와 임계길이는 감소한다. 반면에, 토양의 저항률이 커지면 상대적으로 토양의 커패시턴스성분에 비해 토양의 저항성분의 비율이 증가하므로, 이로 인해 접지임피던스에 대한 토양의 커패시턴스성분의 영향이 감소하여 접지임피던스와 접지전극의 임계길이가 증가하게 된다.

따라서 단순히 접지전극의 길이를 증가시켜 접지임피던스를 낮출 수 없으며, 토양의 특성과 접지시스템에 발생한 이상전류의 주파수를 고려하여 접지시스템을 설계하는 것이 바람직하다. 접지전극을 시설하는 장소의 토양의 특성과 예상되는 이상전류의 주파수범위에 대한 임계길이의 범위를 산정하여 그 범위 안의 다양한 길이의 전극으로 구성된 접지시스템을 설계한다면, 단순히 치수를 크게 하여 접지저항을 낮추는 과도한 크기의 접지전극의 시설을 배제하는 한편, 고주파성분을 포함한 뇌서지 전류와 고주파 이상전류에 대한 접지전극의 특성인 접지임피던스를 고려한 합리적인 접지시스템을 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

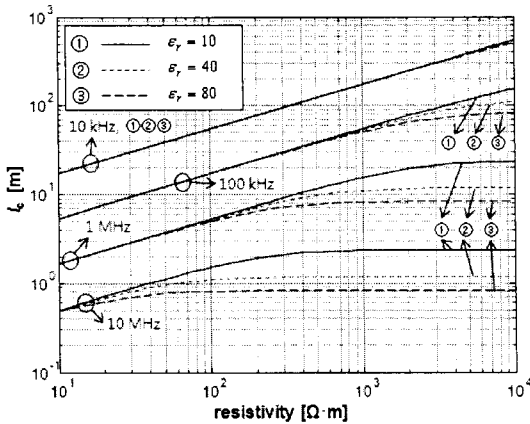


그림 6. 토양의 저항률에 따른 수직접지전극과 매설지선의 임계길이

Fig. 6. Critical length of vertically and horizontally buried grounding electrodes as a function of soil resistivity

4. 결 론

본 논문에서는 분포정수회로모델을 이용하여 수직접지전극과 매설지선의 임계길이를 산정하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 그 타당성을 확인하였다. 분포정수회로모델을 이용하여 해석한 결과에 따르면, 대지저항률이 증가할수록 임계길이가 증가하고, 주파수가 증가할수록 임계길이가 감소하는 특성을 보였다. 또한 낮은 저항률과 낮은 주파수의 조건에서는 유전율에 의한 영향이 거의 없는 반면에, 대지저항률과 주파수가 증가함에 따라 유전율의 영향이 증가하였으며 높은 대지저항률과 고주파수의 조건에서 유전율이 증가할수록 임계길이는 감소하는 특성을 보였다.

따라서 단순히 접지전극의 길이를 증가시켜 접지임피던스를 낮출 수는 없으며, 대지의 특성과 접지시스템에 유입하는 이상전류의 주파수를 고려하여 접지시스템을 설계하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에 제시된 방법과 결과를 적용하여 접지전극을 시설하는 대지의 특성과 예상되는

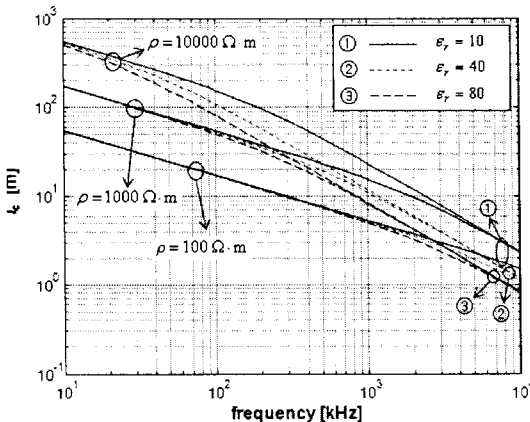


그림 7. 주파수에 따른 수직접지전극과 매설지선의 임계길이

Fig. 7. Critical length of vertically and horizontally buried grounding electrodes as a function of frequency

직선영 접지전극의 임계길이의 산정

이상전류의 주파수범위에 대한 임계길이의 범위를 산정하고, 그 범위 안의 다양한 길이의 전극으로 구성된 접지시스템을 설계함으로써, 이상전류에 대해 효과적인 성능을 가지는 접지전극을 시설하는 한편, 단순히 치수를 크게 하여 접지저항을 낮추는 과도한 접지전극 시설을 배제하여 경제성을 높이는 효과를 얻을 것으로 판단된다.

본 연구는 지식경제부 지원에 의하여 한국전기안전공사 (과제번호 : R-2007-1-014) 주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 의제, pp.1~3, 2007.
- [2] KS C IEC 62305-1: 2007, "피뢰시스템-제3부: 구조물의 물리적 손상 및 인명위험", 한국표준협회, pp.16~23, 2007.
- [3] M. E. Almeida and M. T. Correia de Barros "Fundamental considerations on long ground electrodes design", 13th International Symposium on High Voltage Engineering, pp.241~244, 2003.
- [4] Leonid Grcev, "Lightning Surge Characteristics of Earthing Electrodes," 29th International Conference on Lightning Protection, pp. 5a-1-1~16, 2008.
- [5] M. I. Lorentzou, N. D. Hatziaargyriou, B. C. Papadias, "Time domain analysis of grounding electrodes impulse response", IEEE Transactions on power delivery, Vol. 18, No. 2, pp.517~524, 2003.
- [6] S. Bourg, B. Sacepe, T. Debu, "Deep earth electrodes in highly resistive ground : frequency behaviour", IEEE International Symposium, pp.584~588, 1995.
- [7] Leonid Grcev, "High-frequency performance of ground rods in highly resistive soil", International Conference on Grounding and Earthing, pp.85~89, 2000.
- [8] Blas Hermoso, "Counterpoise impedance with lightning discharges. Critical, effective, minimal impedance lengths. Technical considerations", 28th International Conference on Lightning Protection, pp.676~679, 2006.
- [9] M. I. Lorentzou, N. D. Hatziaargyriou, "Transmission line modeling of grounding electrodes and calculation of their effective length under impulse excitation", International Conference on Power Systems Transients, 2005.
- [10] 이복희, "전력시스템공학", 인하대학교 출판부, pp.137~143, 2007.

- [11] Silverio Visacro, "A comprehensive approach to the grounding response to lightning currents", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22 No. 1, pp. 381~386, 2007.
- [12] William H. Hayt, John A. Buck, "Engineering Electromagnetics, sixth edition", McGraw-Hill, pp.225~231, 540~543, 2001.
- [13] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Mdeasurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems," IEEE Inc., pp.9~22, 1991.
- [14] Leonid Grcev, "Improved design of power transmission line grounding arrangements for better protection against effects of lightning", Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 100-103, 1998.

◆ 저자소개 ◆

김기복 (金基福)

1970년 9월 30일생. 2006년 2월 한밭대 공대 전기공학과 졸업. 2008년 2월 인하대 공학대학원 정보전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : kibok7@yahoo.co.kr

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수. 본 학회 부회장.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr

조정현 (曹正鉉)

1981년 8월 2일생. 2008년 2월 인하대 IT공대 전자공학부 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032)860-7398
Fax : (032)863-5822
E-mail : smilejoejh@naver.com