

탄소접지극 접지임피던스의 주파수의존성과 과도응답특성의 해석

(Analysis of Transient Response Behavior and Frequency-Dependent Ground Impedances of the Carbon Ground Electrodes)

이복희* · 이강수 · 김유하 · 엄상현

(Bok-Hee Lee · Kang-Soo Lee · You-Ha Kim · Sang-Hyun Um)

Abstract

This paper presents transient response behavior and frequency-dependent ground impedance of a single carbon ground electrode. The ground impedance of the carbon ground electrode was measured as a function of frequency of injected currents and simulated by using the distributed parameter circuit model with due regard to the frequency-dependent soil parameters, and the transient response behavior of the carbon ground electrode against impulse currents were investigated. As a consequence, the frequency-dependent ground impedance of the carbon ground electrode showed the capacitive behavior, that is, the ground impedance decreases with increasing the frequency of injected currents and lowers at the fast front time of impulse current. It was found that the carbon ground electrode is effective in grounding system for lightning protection. The ground impedance simulated with due regard to the frequency-dependent soil parameters was in good agreement with the measured data. The adequacy of the simulation technique and the distributed parameter circuit model for the carbon ground electrode was verified. It is expected that the simulation methodology, which analyzes the frequency-dependent ground impedance of the carbon ground electrode proposed in this work, can be used in the design of a grounding system for protection against lightning.

Key Words : Grounding System, Frequency-Dependent Ground Impedance, Carbon Ground Electrode, Soil Parameters, Transient Ground Impedance, Distributed Parameter Circuit Model

1. 서 론

최근 우리나라 산업의 국제화와 세계시장을 선점하기 위한 경쟁력을 갖추기 위해 국제표준의 도입과 부합화가 빠르게 진행되고 있다. 국내의 접지 관련 규정/표준 또한 IEC 60364, IEC 62305 등과 같은 국제 표준이 건축전기설비 및 피뢰설비의 산업표준으로 도입되었으며, 내선규정 및 각종 접지관련 기술기준이 개정

* 주(교신)저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수
* Main(Corresponding) author : School of Electrical Engineering, Inha University, Professor
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2012년 10월 22일
1차심사 : 2012년 10월 24일, 2차심사 : 2012년 12월 10일
심사완료 : 2012년 12월 21일

되었다[1-3]. 이렇게 개정된 접지 관련 표준은 환경오염을 유발시키는 시공방법이나 화학첨가물은 사용하지 못하도록 하고, 전력, 통신, 피뢰 등 모든 접지를 하나의 접지극으로 사용하는 등전위 공통/통합접지의 적용을 권장하고 있다. 공통/통합접지를 하더라도 낙뢰 또는 개폐서지전류 및 스위칭소자에서 유출되는 고주파수의 전류에 대한 접지임피던스는 접지저항의 수~ 십 수 배까지 증가할 수 있으므로 뇌격전류에 대해 매우 높은 전위상승이 발생되기 때문에 전자장비 및 설비에 매우 치명적인 악영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구가 많이 수행되었다[4-5].

접지 관련 국제표준이 도입되었어도 아직 건축물의 용도와 상관없이 주로 접지저항을 기준으로 접지설계 및 점검을 하고 있는 실정이다. 고성능의 접지시스템을 설계하고 시공하기 위해서는 상용주파수 전류뿐 아니라 뇌격전류 및 고주파 노이즈 등에 대한 고려가 반드시 필요하다. 특히 통합접지에는 뇌격전류가 입사하게 되므로 서지전류에 대하여도 접지임피던스의 증가가 없거나 작은 접지극시스템의 설계가 요구된다.

따라서 본 논문에서는 통합접지를 비롯한 피뢰설비용 접지에 요구되는 접지시스템의 전기적 성능인 주파수에 따른 접지임피던스와 임펄스전류에 대한 접지임피던스의 과도응답특성을 분석할 목적으로 탄소접지극에 대한 접지임피던스의 주파수의존성과 서지전류에 대한 과도특성을 분석하였으며, 이에 대한 결과를 기술하였다. 통합접지와 피뢰설비용 접지의 설계에 탄소접지극을 적용하는 대지저항률의 주파수의존성을 고려하는 정확성이 우수한 시뮬레이션기법을 제안하였으며, 실측결과와 시뮬레이션결과의 비교·분석을 통하여 시뮬레이션기법의 타당성을 검토하였다.

2. 분포정수회로모델을 적용한 탄소접지극 접지임피던스의 해석

분포정수회로모델은 그림 1과 같이 접지체의 저항(R)과 인덕턴스(L), 그리고 컨덕턴스(G)와 커패시턴스(C)를 분포회로정수로 표현하며, 분포회로정수를 전파방정식에 대입하여 접지극의 접지임피

던스를 산출한다[6-7].

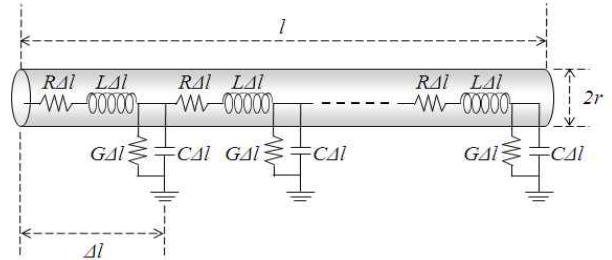


그림 1. 접지봉의 분포정수회로모델의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of distributed parameter model for ground rod

전송선로 이론에 의하면 임의의 형태의 송전선로에 대하여 분포회로정수 G, C, L 는 식 (1)과 식 (2)의 상관관계를 갖는다[8,9].

$$C/G = \epsilon_r \epsilon_0 \rho \tag{1}$$

$$LC = \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0 \tag{2}$$

단 ϵ_r 은 토양의 비유전율, ϵ_0, μ_0 는 진공의 유전율과 투자율이다. 이러한 G, C, L 의 상관관계와 접지저항으로부터 산정된 컨덕턴스 G 에 의해 C 와 L 을 산정한다. 토양의 저항률에 비하여 접지전극 자체의 저항률은 매우 작기 때문에 일반적으로 무시하지만 본 탄소 접지극의 시뮬레이션에서는 접지극 자체의 저항 4Ω 을 적용하였다.

2.1 수직매설

수직으로 매설된 접지봉의 접지저항은 Tagg에 의해 제안된 식 (3)으로 산출할 수 있으며, 수직매설 접지극의 분포회로정수는 식 (4)~(6)과 같이 계산된다[10].

$$R_0 = \frac{\rho \ln\left(\frac{4l}{r} - 1\right)}{2\pi l} \quad \Omega \tag{3}$$

$$G = \frac{2\pi}{\rho \ln\left(\frac{4l}{r} - 1\right)} \quad \text{S/m} \tag{4}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left(\frac{4l}{r} - 1\right)} \text{ F/m} \quad (5)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{4l}{r} - 1\right) \text{ H/m} \quad (6)$$

여기서 l 은 접지극의 길이, r 은 접지극의 반경, ρ 는 대지저항률이다.

2.2 수평매설

수평으로 매설된 접지극의 접지저항은 Tagg에 의해 제안된 식 (7)으로 산출할 수 있으며, 수평매설 접지극의 분포회로정수는 식 (8)~(10)과 같이 계산된다 [11].

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2rs} \quad \Omega \quad (7)$$

$$G = \frac{2\pi}{\rho \ln \frac{l^2}{2rs}} \text{ S/m} \quad (8)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln \frac{l^2}{2rs}} \text{ F/m} \quad (9)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{l^2}{2rs} \text{ H/m} \quad (10)$$

여기서 l 은 접지극의 길이, r 은 접지극의 반경, s 는 접지극의 매설깊이, ρ 는 대지저항률이다.

접지극의 분포회로정수와 전파방정식을 이용하여 전류의 인가점에서 본 임피던스는 식 (11)과 같이 산출할 수 있다. $\dot{\alpha}$ 와 \dot{Z} 는 각각 전파정수와 특성임피던스로 분포회로정수와와의 관계는 식 (12), 식 (13)과 같으며, 접지극 끝단은 개방된 것으로 가정하였다[12].

$$\dot{Z} = \frac{e^{2\dot{\alpha}l} + 1}{e^{2\dot{\alpha}l} - 1} \dot{Z}_c \quad (11)$$

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

$$\dot{Z}_s = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (13)$$

3. 측정회로 및 방법

탄소접지극 단체(single substance)의 접지임피던스의 주파수의존성과 임펄스전류에 대한 과도특성을 분석하기 위한 실험계를 그림 2와 같이 구성하였다. 접지임피던스의 측정회로는 IEEE Std. 81.2-1991에 제시된 수정된 전위강하법을 적용하였으며[13], 전자유도에 의한 측정오차를 줄이기 위해 전류보조극과 전위보조극을 직각으로 배치하여 지표면으로부터 0.8m의 높이에 배선하였다. 또한 도선유도에 의한 오차가 배제되도록 측정대상 접지전극으로부터 전류보조극은 20m, 전위보조극은 50m 이격시켜 설치하였다.

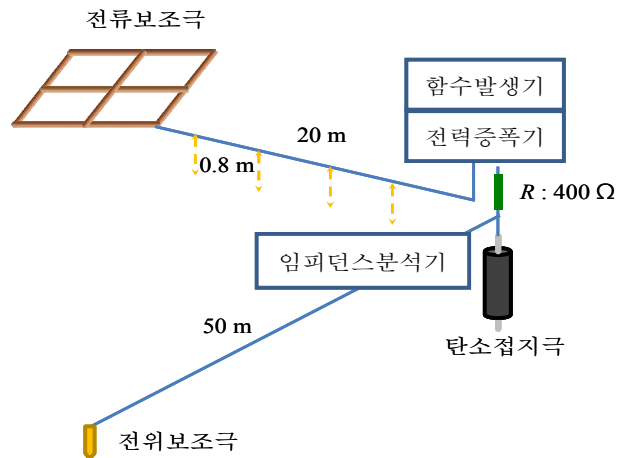


그림 2. 실험계의 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of the experimental system

접지임피던스의 주파수의존성의 측정용 전원으로는 정현파 교류 80MHz까지 발생시킬 수 있는 함수발생기와 DC-250MHz의 주파수대역을 갖는 전력증폭기를 이용하였으며, 임펄스전류에 대한 과도특성의 측정용 전원으로는 파두시간 0.8μs 및 10μs의 임펄스전류를 인가하였다. 시험전류는 주파수대역이 10MHz인 전류프로브, 그리고 전위는 주파수대역이 100MHz인 능동형 차동전압프로브로 측정하였다.

측정대상인 탄소접지극의 외형은 등가반경 130mm,

깊이 1000mm이며, 지표면으로부터 0.5m의 깊이에 수직 또는 수평으로 매설하였다. 탄소접지극이 매설된 위치의 대지저항률을 Wenner 4전극법으로 측정하였으며, 측정된 $\rho-a$ 곡선을 그림 3에 나타내었다. 탄소접지극이 위치한 지점의 저항률은 대략 $360\Omega \cdot m$ 로 나타났으며, 전극간격 a 가 증가함에 따라 대지저항률이 증가하므로 하층부로 갈수록 대지저항률이 증가하는 대지구조임을 알 수 있다.

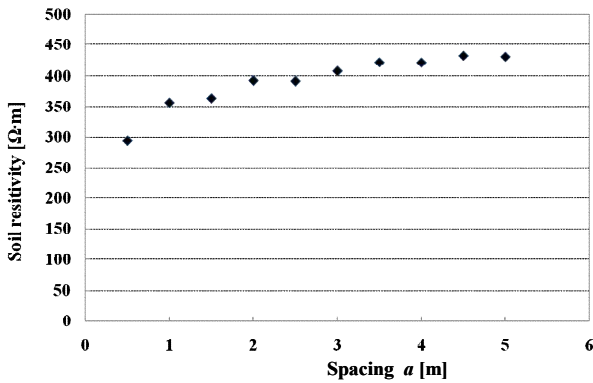


그림 3. 실험장의 $\rho-a$ 곡선
Fig. 3. $\rho-a$ curve of the test site

4. 결과 및 고찰

4.1 접지임피던스의 주파수의존성

전위보조극과 측정대상 접지극 사이에 인가한 전류에 의해 형성된 측정대상 접지극의 전위상승을 전위보조극을 기준으로 측정한 전위차를 기반으로 접지임피던스를 산출하고 접지임피던스의 주파수의존성을 분석하였다. 수직매설인 경우 탄소접지극의 접지저항은 약 147Ω 이며, 식 (3)으로 산출된 대지저항률은 $375\Omega \cdot m$ 이었다. 또한 수평매설의 경우 식 (7)로 산출된 대지저항률은 약 $355\Omega \cdot m$ 이었으며, 이들 결과를 시뮬레이션에 반영하였다. 또한 탄소접지극이 매설된 깊이를 고려했을 때 Wenner 4전극법으로 측정한 그림 3의 겉보기 대지저항률 $360\Omega \cdot m$ 과 거의 일치하였다.

탄소접지극을 수직 또는 수평으로 매설한 경우 접지임피던스의 주파수의존성의 측정결과와 토양의 저

항률과 비유전율의 주파수의존성을 반영하지 않고 인가전류의 주파수에 따른 접지임피던스를 산출한 결과의 비교를 그림 4에 나타내었다.

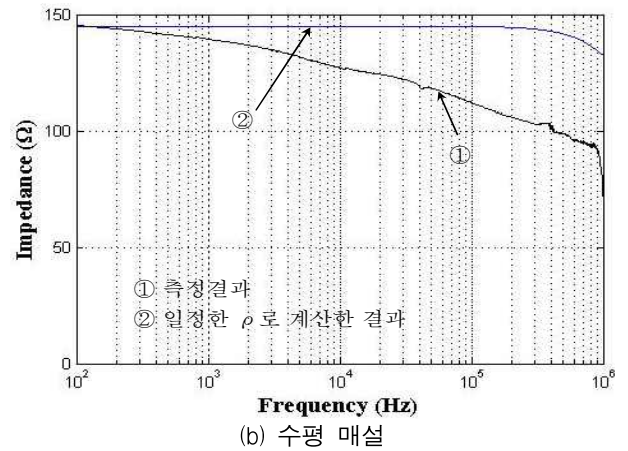
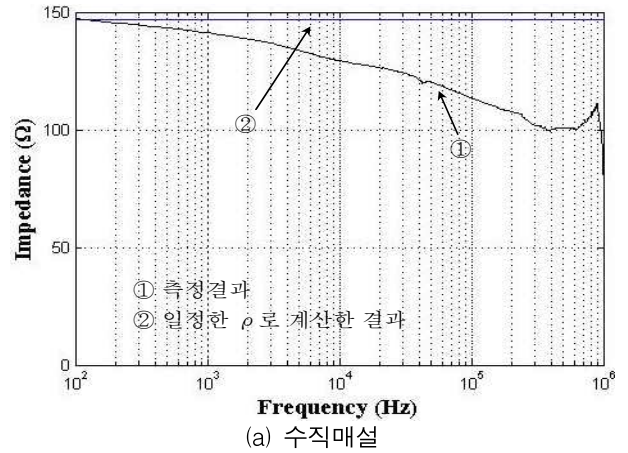


그림 4. 토양의 저항률의 주파수의존성을 고려하지 않고 시뮬레이션한 접지임피던스의 주파수의존성과 측정결과와의 비교

Fig. 4. Comparison of the measured data and frequency-dependent ground impedance simulated without due regard to frequency dependent soil resistivity

탄소접지극의 접지임피던스는 접지전류의 주파수가 증가함에 따라 감소하는 용량성 특성이 현저한 것으로 나타났으며, 1MHz의 주파수에서의 접지임피던스는 접지저항보다는 30%이상 감소하였다. 탄소접지극의 각 회로파라미터(R, L, C, G)의 값을 적용하는 분

포장수회로모델을 이용하여 시뮬레이션한 결과와 실측한 데이터는 접지저항은 일치하나 고주파수 영역에서 큰 차이를 보였다. 이는 탄소접지극을 통합접지 또는 피뢰설비용 접지에 적용하는 경우 접지극시스템의 성능은 임펄스전류와 고주파수 전류에 대한 성능은 토양의 주파수의존성이 반영되지 않은 이론을 바탕으로 한 접지설계는 실제 성능과 매우 다를 수 있음을 시사하고 있다.

토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성을 반영하는 접지임피던스의 시뮬레이션기법을 도출하기 위해 주파수에 따른 토양의 저항률과 비유전율의 측정 결과를 적용하는 방법과 실험식을 적용하는 방법에 대하여 검토하였다. 실험대상의 접지극이 매설된 장소의 토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성을 직접 측정할 수는 없기 때문에 표본토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성을 측정하여 환산비율에 따라 적용하는 방법을 사용하였다.

토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성을 반영하기 위해 실험부지 토양의 표본을 채취하여 측정한 주파수에 따라 비유전율과 대지저항률을 적용하였다 [14]. 대지저항률의 주파수의존성의 값을 비율로써 산출한 후 100Hz에서의 접지전극의 대지저항률의 값과 곱하여 시뮬레이션에 반영하였다. 또한 최근에 발표된 논문에는 토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성에 관련된 실험식으로 식 (14)와 식 (15)가 제시되었으며[15], 이를 시뮬레이션에 반영하였다.

$$\rho_r(\omega) = \left\{ 1 + (1.2 \times 10^{-6} \times \rho_0^{0.732}) \times (f - 100)^{0.65} \right\}^{-1} \quad (14)$$

$$\epsilon_r(\omega) = 7.6 \times 10^3 \times f^{-0.4} + 1.3 \quad (15)$$

토양의 저항률의 주파수의존성에 대한 측정결과 및 실험식을 반영하여 시뮬레이션한 주파수에 따른 접지 임피던스의 특성과 측정결과의 비교를 그림 5에 나타내었다.

접지임피던스의 주파수의존성에 대한 시뮬레이션결과와 측정결과는 유사한 경향으로 비교적 잘 일치하였으며, 시뮬레이션 방법의 타당성이 적정하고 정확도가 양호함을 알 수 있다. 2가지 방법의 시뮬레이션결

과는 보다 잘 일치하였으나 실측결과와 약간의 차이는 나타났다. 이는 시뮬레이션은 등가대지저항률을 적용한 균질대지로 간주하였으나 실제 복잡한 대기구조가 접지임피던스에 영향을 미치게 되므로 나타난 결과인 것으로 보인다.

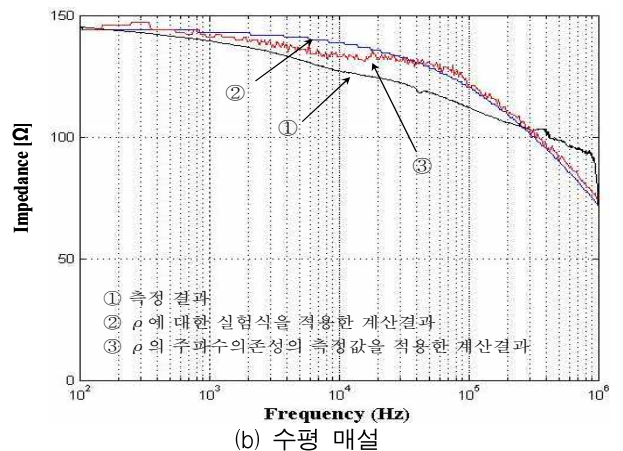
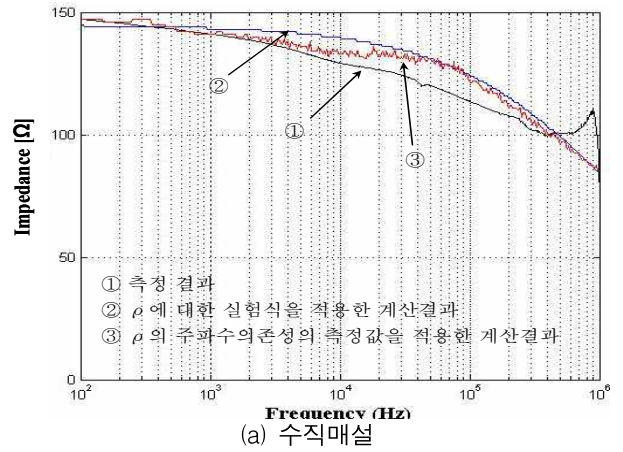
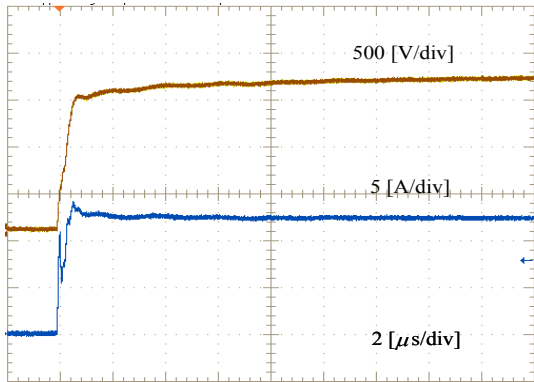


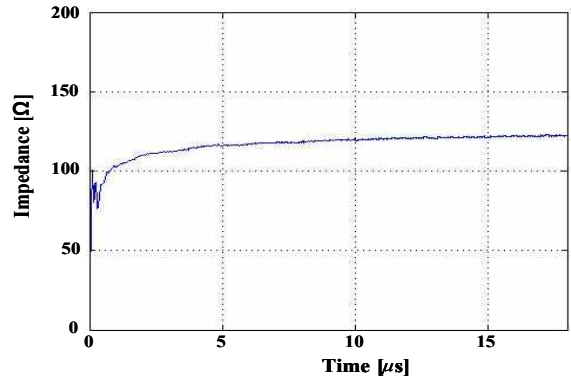
그림 5. 토양 파라미터의 주파수의존성을 고려하여 모의한 접지임피던스의 주파수의존성과 측정결과의 비교
Fig. 5. Comparison of the measured data and frequency-dependent ground impedance simulated with due regard to frequency-dependent soil parameters

4.2 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스

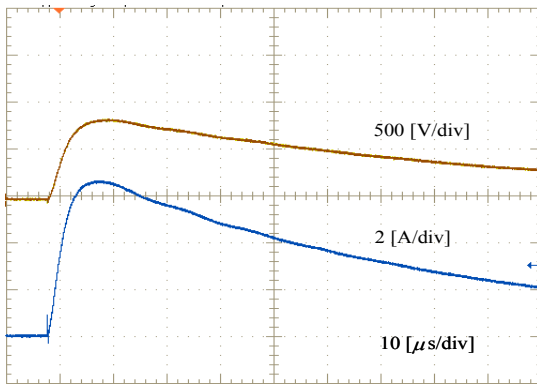
과두시간 0.8μs 및 10μs의 임펄스전류에 대한 수직으로 매설된 탄소접지극의 전위상승 및 과도접지임피



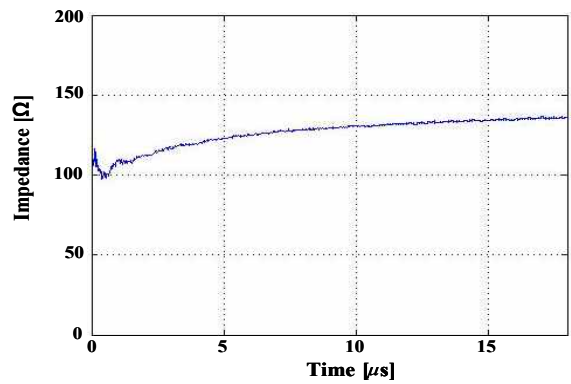
(a) 파두시간 0.8 μ s의 임펄스전류에 대한 전압과 전류파형



(b) 파두시간 0.8 μ s의 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스



(c) 파두시간 10 μ s의 임펄스전류에 대한 전압과 전류 파형



(d) 파두시간 10 μ s의 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스

그림 6. 수직으로 매설된 탄소접지극의 과도접지임피던스

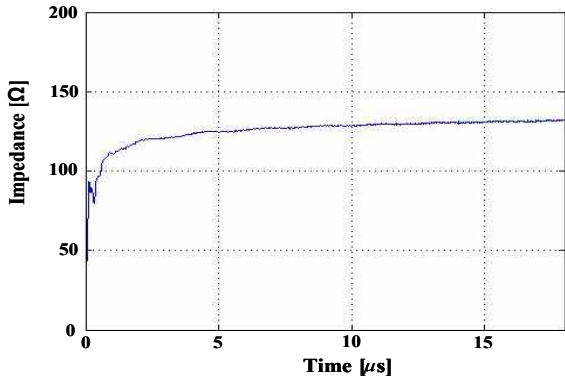
Fig. 6. Transient ground impedance of the vertically buried carbon ground electrode

던스를 그림 6에 나타내었다. 임펄스전류에 대한 과도 접지임피던스 곡선은 주파수의존성과 마찬가지로 용량성으로 나타났다. 이는 전위파형의 파미부분이 상승하거나 전류파형의 파미부에서의 감쇠가 작은 것도 용량성 특징이다.

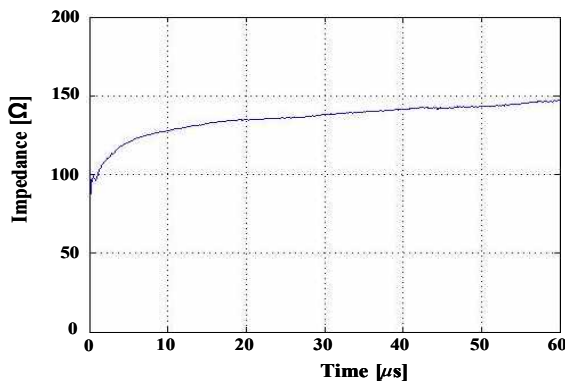
접지시스템에 임펄스전류가 입사되었을 때 선로정수의 영향으로 전위상승의 피크시간과 입사전류의 피크시간은 일치하지 않으며, 임펄스전류에 대한 접지시스템의 성능을 나타내는 지표로서 전위상승의 피크값과 임펄스전류의 피크값의 비로 정의하는 규약임피던스를 적용하고 있다. 임피던스의 파두시간 0.8 μ s의 임펄스전류에 대한 규약접지임피던스는 접지저항 147 Ω 보다 작은 120 Ω 이었고, 파두시간 10 μ s의 임펄스전류

에 대한 규약접지임피던스는 131.4 Ω 로 측정되었다. 특히 임펄스전류의 파두부분에서 접지임피던스가 낮아지기 때문에 접지극의 전위상승이 둔화되어 서지전류에 대한 안전성 측면에서 효과적인 것으로 볼 수 있다. 탄소접지극을 수평으로 매설했을 때의 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스를 그림 7에 나타내었다. 규약 접지임피던스는 파두시간 0.8 μ s의 임펄스전류에서 117 Ω 이었으며, 파두시간 10 μ s의 임펄스전류에 대하여는 129 Ω 으로 접지저항은 145 Ω 보다 작게 측정되었다. 탄소접지극의 파두시간 10 μ s의 임펄스전류의 60 μ s의 시간에서 약 146 Ω 으로 접지저항과 거의 동일하게 나타났다.

접지임피던스의 주파수의존성과 과도접지임피던



(a) 파두시간 0.8 μ s의 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스



(b) 파두시간 10 μ s의 임펄스전류에 대한 과도접지임피던스

그림 7. 수평으로 매설된 탄소접지극의 과도접지임피던스
Fig. 7. Transient ground impedance of the horizontally buried carbon ground electrode

스에 대한 결과를 볼 때 본 연구의 대상인 탄소접지극은 접지임피던스가 용량성으로 임펄스전류에 대한 응답특성과 높은 주파수에서 접지임피던스가 낮아지므로 통합접지나 피뢰설비용 접지에 효과적이다. 또한 접지저항을 낮추기 위해서는 통상 접지극이나 접지그리드의 치수를 크게 하는 경우 이로 인해 접지극 자체의 인덕턴스가 증가하므로 접지임피던스가 주파수에 따라 증가하는 유도성으로 나타나기 때문에 임펄스 또는 고주파수 전류에 대해 성능이 낮아진다 [16]. 이러한 경우 대형 접지극이나 접지그리드에 탄소접지극을 병설하면 주파수에 따른 접지임피던스의 유도성 특성을 보상할 수 있으므로 임펄스전류에 대한 과도특성의 향상에 효과적인 설계방법인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 탄소접지극의 접지임피던스의 주파수의존성과 과도응답특성의 분석을 위한 실증적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 분포정수회로모델에 대지저항률의 주파수의존성을 반영하여 탄소접지극의 접지임피던스의 주파수의존성을 산출한 결과는 실측결과와 잘 일치하였으며, 시뮬레이션방법의 타당성이 입증되었다.
- (2) 통합접지 및 피뢰설비용 접지의 고주파 전류 및 임펄스전류에 대한 접지임피던스를 평가하고 접지설계를 위해서는 토양의 저항률과 비유전율의 주파수의존성을 반드시 고려하여야 할 요소임이 확인되었다.
- (3) 고주파수의 접지전류 및 임펄스전류에 대한 탄소접지극의 접지임피던스는 용량성으로 접지저항보다 낮아져 피뢰설비용 접지극으로 효과적임이 밝혀졌다. 대형 접지극 또는 접지그리드에 탄소접지극을 병설하면 임펄스전류에 대한 과도응답특성이 향상될 것이다. 본 연구에서 제안된 토양 파라미터의 주파수의존성을 고려한 접지임피던스의 시뮬레이션기법은 피뢰설비용 접지설계에 유용하게 적용될 것으로 생각된다.

References

- [1] KS C IEC 60364-1; Electrical installations of buildings – Part 1 : Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, pp. 7~ 12, 2009.
- [2] IEC 62305-3, "Protection against Lightning Part 3: Physical damages to structures and life hazard", 2nd, pp.24-27, 2010.
- [3] Korea Electric Association ; Consumer's Electrical Installation Guide, pp.76~77, 2010.
- [4] S. Visacro, "A comprehensive approach the grounding response lightning currents", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22 No.1, pp.381~386, 2007.
- [5] Bok-Hee Lee, Jong-Ho Kim and Jong-Hyuk Choi, "Analysis for the Grounding Impedance of Vertical Grounding Electrodes using the Distributed Parameter Circuit Model" , T. KIEE, Vol.59, No 6, pp.1103-1108, 2010.
- [6] R. Verma and D. Mukhedkar, "Impulse impedance of

buried ground wire,” IEEE Trans. Power App. Syst., Vol.PAS-99, No. 5, pp.2003~2007, 1984.

[7] S. Devgan and E. R. Whitehead, “Analytical models for distributed grounding system,” IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. 5, No. 5, pp.1763~1770, 1973.

[8] Y. Liu, N. Theethayi, R. Thottappillil, “An Engineering Model for Transient Analysis of Grounding System Under Lightning strikes: Nonuniform Transmission-Line Approach”, IEEE Trans. Power Del., Vol. 20, No.2, 2005.

[9] W. H. Hayt, J. A. Buck, “Engineering Electromagnetics, sixth edition”, McGraw-Hill, pp.225~231, 442~448, 540~543, 2001.

[10] G. F. Tagg, “Earth Resistances,” The Whitefriars Press Ltd., London and Cambridge, pp.90~102, 1964.

[11] P. Llovera, J. Antonio L. A. Quijano, V. Fuster, “High frequency measurement of grounding impedance on resistive soil”, 28th ICLP, Vol.1, pp.727~729, 2006.

[12] Bok-Hee Lee, Power system engineering, Inha University Publication Department, pp 137~143, 2004.

[13] IEEE Std. 81.2-1991, “IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems”, pp.12~.17, 1991.

[14] Bok-Hee Lee, Sung-Chul Cho and Chang-Hoon Seong, “An Analysis of the Frequency-Dependent Resultant Ground Impedance of Vertical Ground Electrodes Installed in Parallel” J. KIEE, Vol.26, No.2, pp.99-105, 2012.

[15] S. Visacro, R. Alipio, “Frequency Dependence of Soil Parameters: Experimental Results, Predicting Formula and Influence on the Lightning Response of Grounding Electrode”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 27, No. 2, pp.931, 2012.

[16] Sang-Hyun Um, You-Ha Kim, Kang-Soo Lee, Byung-Wook Jeon, and Bok-Hee Lee, “Effects of carbon ground electrodes on ground impedance reduction”, Proc. KIEE Autumn Annual Conference 2012, pp.150-151, 2012.

◇ 저자소개 ◇



이복희(李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 객원연구원. 1999년 Cincinnati 대학 방문교수. 2010년 1월~2011년 12월 본 학회 회장, 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr



이강수(李康壽)

1970년 2월 19일생. 1996년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정. (주)옵니엘피에스 연구소장.

Tel : (02)2632-4541

Fax : (02)2671-5313

E-mail : pwrtoy@empal.com



김유하(金庾河)

1980년 4월 27일생. 2007년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : baal80@daum.net



엄상현(嚴相賢)

1984년 1월 16일생. 2012년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : s4na2s@gmail.com