

논문 2016-53-2-18

토양의 주파수의존성을 고려한 정보통신설비용 수평접지전극의 과도전위상승 분석

(Analysis of Transient Potential Rises of Horizontal Ground Electrodes Considering the Frequency-Dependent of Soil)

안 창 환*

(Chang Hwan Ahn[®])

요 약

정보통신설비의 피뢰설계는 정보통신기기 동작의 신뢰성을 향상시키기 위해서 매우 중요한 요소이다. 특히, 뇌격전류에 의한 접지전극의 과도전위상승은 전원설비 및 정보통신기기의 절연내력의 기초 자료가 되기 때문에 정확한 해석이 요구된다. 접지전극의 과도전위상승은 접지임피던스로부터 계산되어지며, 접지임피던스는 접지전극의 형상과 토양의 주파수의존성에 크게 의존적이다. 토양의 주파수의존성은 인가된 전계에 의한 토양의 유전체 특성을 해석할 수 있는 디바이식을 적용하였다. 또한 접지임피던스로부터 과도전위상승을 계산하는 방법을 제시하였다. 디바이식을 적용한 과도전위상승 결과를 분석하기 위해서 전송선로 모델과 대지저항률이 일정한 경우에 대해서 각각 시뮬레이션을 수행하였다. 수평접지전극은 30 m이며, 표준 뇌격전류파형에 대해서 대지저항률이 10, 100, 1000 Ω·m에 대해서 각각 분석하였다. 그 결과 디바이식을 적용하여 계산된 수평접지전극의 과도전위상승이 다른 모델의 경우보다 더 낮게 나타났다.

Abstract

The lightning protection of information and communication facilities is very important factor to improve a reliability of the action of these equipment. Especially the transient potential rise of ground electrode being injected with the lightning current is to be a basic data of the dielectric strength for both power and communication facilities so that more accurate analysis should be required. The transient potential rise can be calculated from the ground impedance and the ground impedance is strongly dependent upon the shape of the ground electrode and the frequency-dependence of soil. The Debye's equation which is able to calculate the characteristics of dielectrics is used to analyze the frequency-dependent of soil. Also, the method to calculate the transient potential rise from the ground impedance is specified in this paper. In order to analyze the transient potential rise resulting from calculations with Debye's equation, TLM(transmission line method) and case of ρ (resistivity)-constant are simulated, respectively. The length of a horizontal ground electrode is 30 m and simulations were performed at 10, 100, 1000 Ω·m with the standard lightning current waveform. In result, the transient potential rise of horizontal ground electrode calculating with Debye's equation is lower than it of other models.

Keywords : Debye's Equation, Transient Potential Rise, Grounding System, Lightning Current Waveform

I. 서 론

낙뢰에 의한 통신기기들의 피해가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다^[1]. 정보통신설비들의 고장은 단순히

기기 자체의 고장보다 설비의 손상으로 인하여 통신이 두절되는 현상이 나타나기 때문에 설비의 손상에 의한 파급효과가 매우 크다. 따라서 낙뢰에 대한 정보통신설비들의 피뢰설계가 국내 및 국제 표준에 맞추어 체계적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

뇌격전류의 표준파형을 기술하고 있는 국제 표준인 IEC에서는 토양의 주파수 의존성을 고려한 접지해석의 필요성을 기술하고 있다^[2]. 접지전극의 임피던스는 그

* 정회원, 인하공업전문대학 디지털전자과(Department of Digital Electronics, Inha Technical College)

® Corresponding Author(E-mail: aza@inhac.ac.kr)

Received ; November 13, 2015 Revised ; November 29, 2015

Accepted ; January 24, 2016

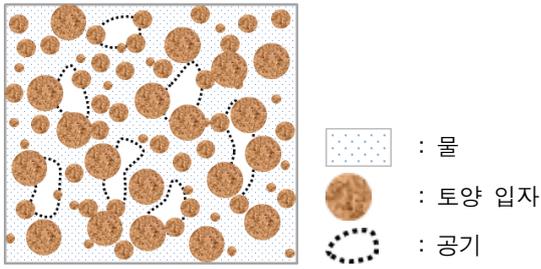


그림 1. 토양의 일반적 구조
Fig. 1. Normal structure of soil.

특성에 따라 용량성과 유도성으로 구분되어진다. 이 특성은 접지전극의 형상과 토양 파라미터의 주파수의존성과 밀접한 관련이 있다. 보다 효과적인 피뢰설계를 위해서는 접지임피던스의 정확한 해석이 요구되고 있는데, 그 이유는 과도접지임피던스의 계산을 위해서 접지임피던스가 적용되기 때문이다^[3].

접지임피던스를 계산하는 방법으로 전자계 모델을 이용하는 것이 가장 정확도가 높다는 것은 선행 연구를 통해서 이미 입증되었다^[4~6]. 문제는 토양의 주파수의존성을 어떻게 계산하는 것인데, 이에 대한 연구는 여러 분야에서 시도되어왔다. 통신 분야에서는 레이더의 정확성을 위해서, 재료분야에서는 재료 특성 해석의 정확성 그리고 지질학 분야에서는 지질 구조에 대한 해석을 위해서 연구되어왔다^[7~9]. 토양은 흙뿐만 아니라 물, 자갈, 유기물 등 복합적으로 혼합되어 있는 유전체이기 때문에 입력 전원의 주파수에 따라 전기적 특성이 다양하게 나타난다. 따라서 이에 대한 정확한 해석을 통해 접지임피던스 계산의 정확도를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 토양의 주파수의존성을 고려하기 위해서 디바이 수식을 적용하여 접지임피던스를 계산하고, FFT를 통해서 표준 뇌격전류파형에 대한 정보통신설비에 사용되는 수평접지전극의 과도전위상승을 계산하였다.

II. 본 론

1. 토양의 등가모델

토양은 보통 흙이나 자갈 같은 토양 입자와 물 그리고 공기로 구성된 복합 유전체이다. 토양의 일반적인 구조는 그림 1에, 토양의 등가모델은 그림 2에 나타내었다.

토양과 같은 복합 유전체에 전계가 인가된 경우 전기적 특성을 분석하는 방법으로 정전계의 조건에서 유도된 관계식이 가장 많이 사용된다^[4]. 접지전극의 접지저항을 나타내는 수식은 직류 성분의 전류가 입사된 경우

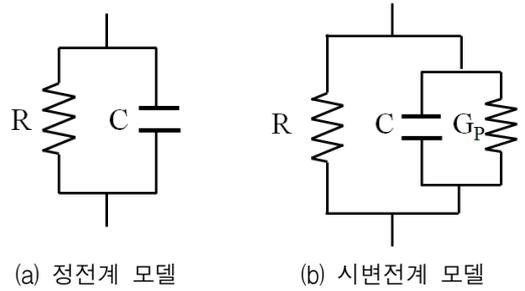


그림 2. 토양의 등가모델
Fig. 2. Equivalent model of soil

반구형 접지전극에서 발생하는 전위를 구하는 식으로부터 유도되기 때문에 정전계의 조건이라 할 수 있다. 토양의 유전율과 저항률을 구하기 위해서 토양의 등가모델로 RC 병렬회로가 주로 적용된다. 토양의 도전성분에 대한 부분은 저항 R, 유전체 성분은 커패시턴스 C로 표현된다.

RC 병렬회로에서 토양의 어드미턴스는 다음과 같다.

$$Y = \frac{1}{R} + j\omega C = \frac{S}{\rho d} + j\omega \epsilon \frac{S}{d} \tag{1}$$

여기에서 S는 측정대상 토양의 단면적이고, d는 측정대상 토양의 길이를 나타낸다. 따라서 실험에서 얻어진 임피던스 값의 실수부와 허수부는 식(1)로부터 실수부는 대지저항률, 허수부는 유전율이 각각 유도된다.

시변전계의 경우 그림 2(b)의 경우처럼 토양의 등가모델에서 커패시터 성분에 컨덕턴스 G_p가 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 여기에서 컨덕턴스는 커패시터에서 유전체 분극에 의한 손실과 관련된 항으로 시변 전계의 범위에서 수치해석을 수행할 때 고려되어야할 중요한 파라미터가 된다.

시변전계 모델의 경우 어드미턴스는 다음과 같다^[10].

$$Y = \frac{S}{\rho l} + \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon_r'' S}{d} + j\omega \epsilon_0 \epsilon_r' \frac{S}{d} \tag{2}$$

여기에서 ε_r'는 복소유전율의 실수부를, ε_r''는 복소유전율의 허수부를 각각 나타낸다. 식 (2)는 정전계 모델에서 유도된 식(1)과 달리 실수부에 컨덕턴스에서 기인한 유전율 항이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 접지임피던스와 과도접지전위상승은 시변전계에서 해석되어지는 결과이기 때문에 토양의 특성, 특히 유전율의 주파수의존성을 고려하여 해석하는 것이 바람직하다.

2. 디바이 수식(Debye's equation)

토양 유전율의 주파수의존성은 입사되는 교류 전압의 주파수에 따른 분극 현상과 밀접한 관련이 있다. 분극현상에 의한 토양 유전율의 주파수의존성을 고려하여 접지임피던스를 해석해야한다. 지금까지 토양 유전율의 주파수의존성은 실험값에서 유도된 식이 적용되어 해석되어왔다. 실험값에서 유도된 식은 토양의 주파수의존성이 평균적인 값으로 나타나기 때문에 접지전극이 매설되는 토양의 조건에 따른 정확한 해석이 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 매질의 분극현상을 고려한 유전율과 도전율을 수식화한 디바이(Debye)의 식을 적용하였다^[11]. 복소유전율에서 실수부와 허수부는 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon' = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (3-1)$$

$$\epsilon'' = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty})\omega\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (3-2)$$

여기에서 ϵ_s 는 정적 유전율(static dielectric constant), ϵ_{∞} 는 고주파 유전율(high-frequency dielectric constant), τ 는 완화시간(relaxation time)을 나타낸다. 완화시간은 외부 조건, 즉 전계의 변화에 대한 유전체 내부의 분극이 순간적으로 일어나지 않고 일정한 시간 후에 평형상태에 가까워지는 현상으로 유전손실과 직접적인 관련이 있다. 복소유전율을 식 (3)과 같이 표현한 것이 디바이의 식이다. 정적 유전율과 고주파 유전율 그리고 완화시간은 토양의 종류에 따라 달라지기 때문에 해석하고자 하는 토양을 고려하여 적절한 값을 선택해야 한다. 토양의 조건에 따른 관련 계수들은 관련 문헌에서 참고하였다^[12-14].

유전분극현상은 복소유전율에 대한 식에서 알 수 있듯이 실수부에도 영향을 주기 때문에 저항률과도 밀접한 관련이 있다. 저항률에 대한 디바이의 식은 다음과 같다.

$$\rho = \rho_0 \left[1 - m_0 \left(1 - \frac{1}{1 + (j\omega\tau)^{\xi}} \right) \right] \quad (4)$$

여기에서 ρ_0 는 저주파수 영역에서의 저항률, τ 는 완화시간, m_0 는 충전성(chargeability), ξ 는 분산지수(dispersion index)를 나타낸다^[15]. 뇌격전류의 주파수범

위에서는 충전성이나 분산지수에 영향을 거의 받지 않기 때문에 저주파수 영역에서의 저항률과 완화시간에 대한 값을 반영하여 적용하였다.

3. 과도접지임피던스 계산방법

정보통신용 수평접지에 대한 접지임피던스 계산은 전자계 이론에서 유도된 포클링턴 방정식을 이용하였다. 포클링턴 방정식의 해는 모멘트(moment of method)을 이용하여 전류분포를 구하게 된다. 얻어진 전류분포를 이용하여 접지전극의 전위를 계산하고, 뇌격전류와 함께 연산을 통해서 과도접지전위상승을 계산하게 된다^[16].

수평접지전극의 접지임피던스를 계산하는 방법은 이전 논문에 잘 기술되어 있다. 과도접지전위상승을 계산하기 위해서 계산된 접지임피던스와 뇌격전류의 곱셈과정이 필요하다. 계산된 접지임피던스는 주파수 크기에 따른 임피던스 결과를 나타내고 있기 때문에 주파수 영역에서의 접지임피던스라고 볼 수 있다. 시간 영역의 뇌격전류에 대해서 푸리에 변환을 하고 접지임피던스와 곱해주면 주파수 영역에서의 전위상승을 구할 수 있다.

$$V(f) = Z(f) \times I(f) = Z(f) \times FFT[i(t)] \quad (5)$$

식 (5)를 통해서 얻어진 전위는 역푸리에 변환(Inverse Fourier transform)을 통해서 시간영역에서의 전위를 구할 수 있다.

$$v(t) = IFFT\{Z(f) \times FFT[i(t)]\} \quad (6)$$

식(6)의 전압은 뇌격전류의 파형에 따른 접지시스템에서 발생하는 과도전위가 된다. 접지임피던스의 과도접지전위상승을 계산하는 전체 절차를 그림 3에 나타내었다. 제일 먼저 해석하고자 하는 접지시스템의 접지임피던스를 계산한다. 이 때 뇌격전류에 따라 고려하고자 하는 최대 주파수를 선정하여 최대 주파수까지 접지임피던스를 계산하게 된다. 주파수 영역에서 뇌격전류와 연산을 위해서 최대 주파수의 2배가 되는 주파수 범위까지 앞서 계산된 접지임피던스를 대칭이 되도록 그림 3(b)와 같이 만들어준다.

그 이후에 시간 영역에서의 뇌격전류파형을 나타내는 하이들러식을 푸리에 변환하여 주파수 영역에서의 뇌격전류파형을 그림 3(d)와 같이 구한다. 그림 3(b)의 대칭형태 접지임피던스와 그림 3(d)의 주파수 영역에서의 뇌격전류를 서로 곱 연산을 통하여 주파수 영역에서

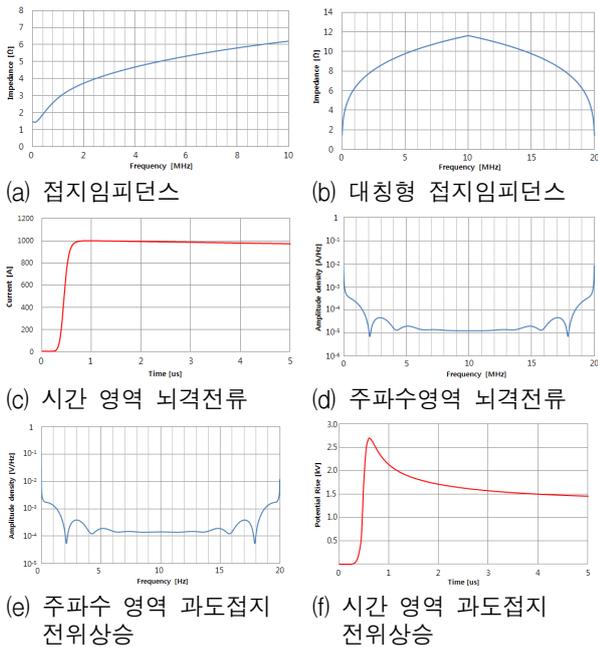


그림 3. 과도접지전위상승의 계산절차
Fig. 3. Sequence of calculating the transient ground potential rise.

의 과도접지전위상승을 계산한다. 마지막으로 역푸리에 변환을 통하여 시간 영역에서의 과도접지전위상승을 그림 3(f)와 같이 계산한다^[17]. 전체 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하여 계산하였다^[17-19].

III. 결 과

과도접지전위상승 계산을 위해서 수평 접지전극에 대한 접지임피던스를 계산하고, 표준 뇌격전류 파형에 따른 과도접지전위상승 계산을 수행하였다. 과도접지전위상승은 3가지 표준 뇌격전류파형에 대해서 접지전류의 입사점이 접지전극의 끝단인 경우와 중앙인 경우에 대해서 각각 계산하였다. 또한 본 논문에서 제시한 방법에 대한 결과와 비교를 위해서 전송선로 모델을 이용한 과도접지전위상승과 대지저항률이 일정한 경우의 과도접지전위상승을 함께 시뮬레이션 하였다.

1. 수평접지전극의 접지임피던스

수평접지전극의 과도전위상승을 위해서 먼저 접지임피던스를 계산하였다. 전송선로모델(TLM), 디바이식 그리고 대지저항률이 상수인 경우에 대해서 각각 시뮬레이션 하였으며^[19], 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

대지저항률이 10, 100, 1000 Ω·m인 경우에 대해서 각각 계산하였으며, 주파수는 100 Hz에서 10 MHz까지

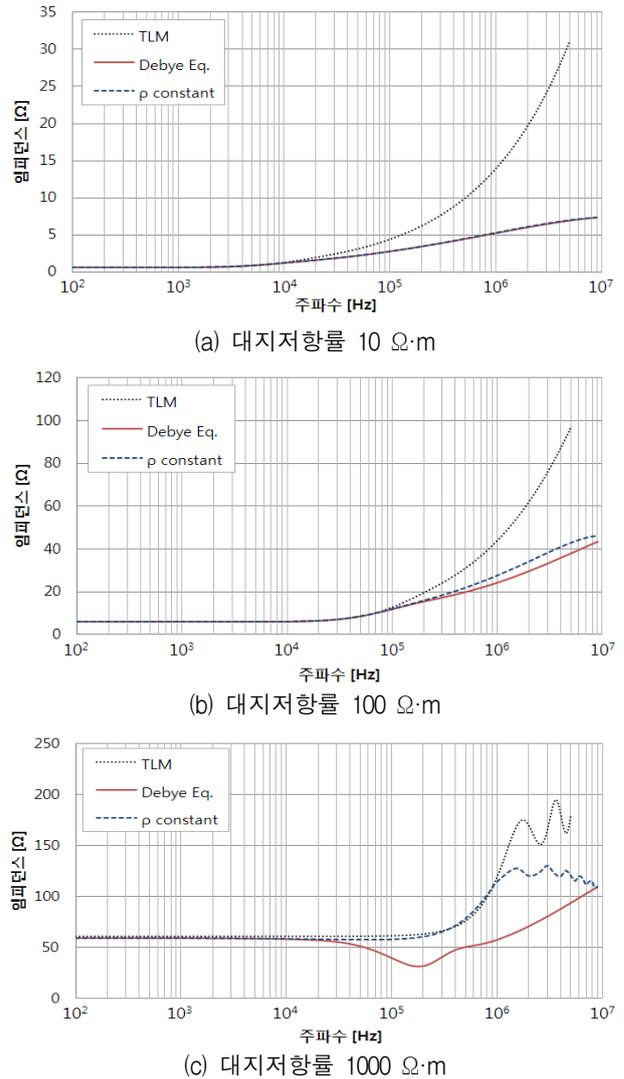
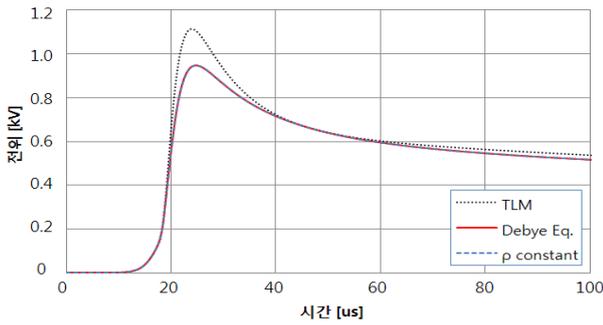


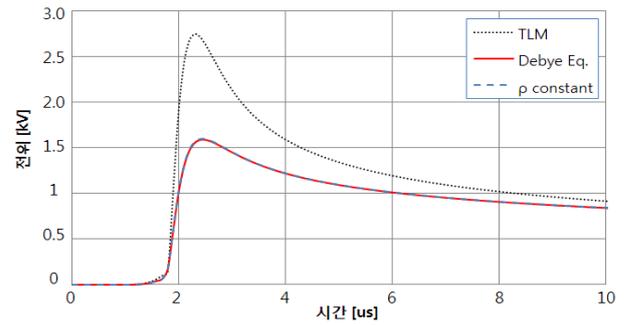
그림 4. 전송선로 모델과 전자계 모델로 산출한 수평접지전극의 접지임피던스 비교
Fig. 4. Comparison among transient ground potential rises of a 30 m horizontal ground electrode for 10/350 μs lightning current waveform

시뮬레이션 하였다. 표준 뇌격전류 파형이 10/350, 1/200, 0.25/100 μs이기 때문에 해당 전류파형의 상승시간에 해당되는 등가주파수에서의 접지임피던스 값을 주의 깊게 살펴보면 된다. 각 표준 뇌격전류파형의 등가주파수는 25 kHz, 250 kHz, 1 MHz이다. 보통 전송선로 모델의 경우가 다른 경우보다 접지임피던스가 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 그림 4(c)에서 대지저항률이 큰 경우 디바이식을 적용한 경우와 대지저항률이 일정한 경우에서 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

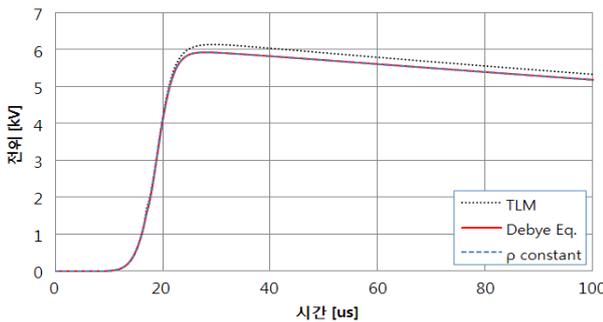
따라서 대지저항률이 높은 경우 토양의 주파수 의존성이 접지임피던스에 크게 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 정확한 접지임피던스 해석을 위해서 고려되어



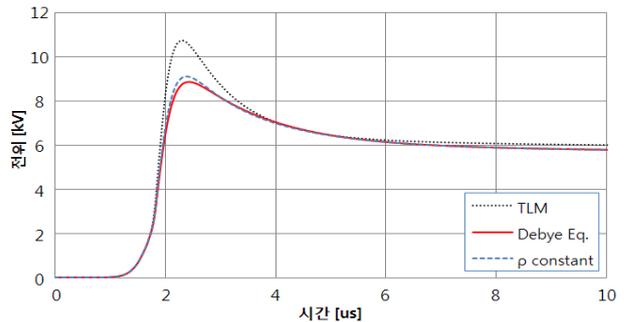
(a) 대지저항률 10 Ω·m



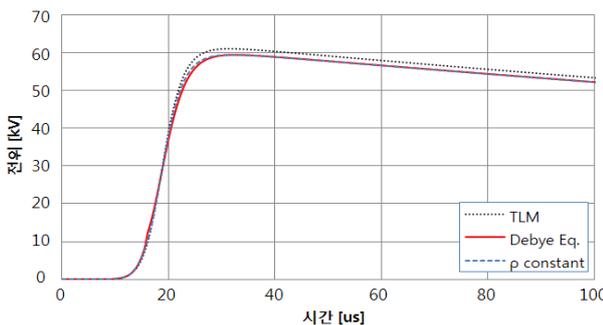
(a) 대지저항률 10 Ω·m



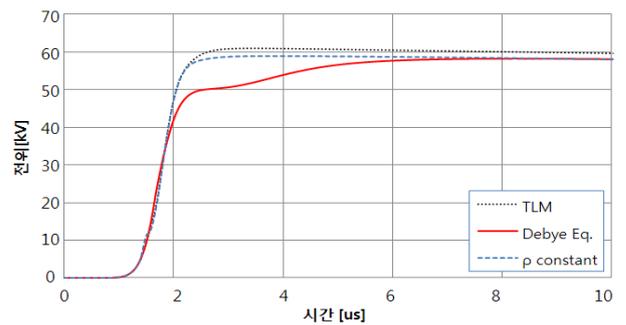
(b) 대지저항률 100 Ω·m



(b) 대지저항률 100 Ω·m



(c) 대지저항률 1000 Ω·m



(c) 대지저항률 1000 Ω·m

그림 5. 10/350 μs 뇌격전류파형에 대한 30 m인 수평 접지전극의 과도접지전위상승의 비교

Fig. 5. Comparison among transient ground potential rises of a 30 m horizontal ground electrode for 10/350 μs lightning current waveform

그림 6. 1/200 μs 뇌격전류파형에 대한 30 m인 수평 접지전극의 과도접지전위상승의 비교

Fig. 6. Comparison among transient ground potential rises of a 30 m horizontal ground electrode for 1/200 μs lightning current waveform.

야할 요소임을 확인할 수 있다.

2. 10/350 μs 표준 뇌격전류 파형의 경우

모의해석에 적용된 수평 접지전극은 길이 30 m, 매설깊이 0.5 m 그리고 반경 5 mm의 조건으로 설정하였다. 접지전류의 입사 위치가 접지전극의 끝단인 경우 전송선로 모델로 해석이 가능하기 때문에 전송선로 모델과 대지저항률이 일정한 경우에 대해서 각각 계산하였다. 이 때 비유전율은 10으로 설정하였다.

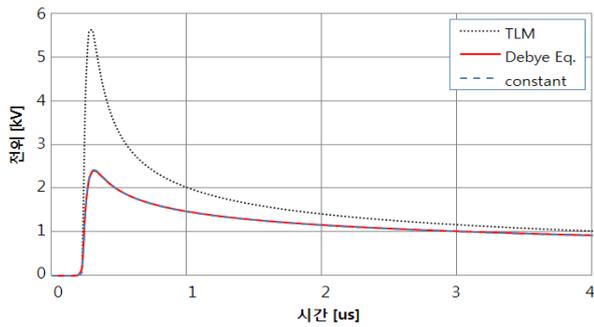
접지전류의 입사 위치가 접지전극의 끝단인 경우 10/350 μs 뇌격전류파형에 대한 길이 30 m인 수평 접지전극의 과도접지전위상승을 전송선로 모델과 전자계

모델을 이용하여 각각 계산하였다.

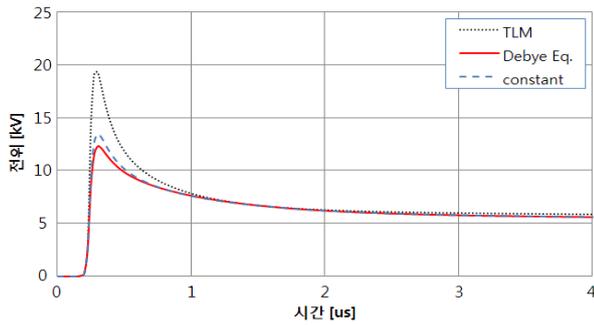
본 논문에서 제안한 디바이의 식을 적용한 접지임피던스의 주파수의존성을 반영한 해석결과와 비교하기 위해서 대지저항률이 일정한 경우에 대해서도 계산하여 그림 5에 함께 나타내었다.

시뮬레이션 결과 대지저항률에 따라 접지임피던스가 다르게 나타났지만, 상승시간 10 μs에 대한 등가주파수 29 kHz에서의 접지임피던스가 그림 4(a)에서와 같이 비슷한 것처럼 과도전위상승 역시 유사한 결과가 나타났다.

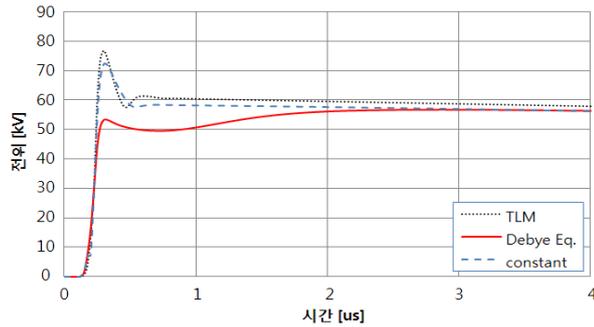
3. 1/200 μs 표준 뇌격전류 파형의 경우



(a) 대지저항률 10 Ω·m



(b) 대지저항률 100 Ω·m



(c) 대지저항률 1000 Ω·m

그림 7. 0.25/100 μs 뇌격전류파형에 대한 30 m인 수평 접지전극의 과도접지전위상승의 비교

Fig. 7. Comparison among transient ground potential rises of a 30 m horizontal ground electrode for 0.25/100 μs lightning current waveform.

10/350 μs의 경우보다 상승시간이 빠른 1/200 μs 뇌격전류파형의 경우에 대해서 과도접지임피던스를 계산하여 그림 6에 나타내었다.

시뮬레이션 결과 전송선로모델의 경우가 다른 경우보다 과도접지전위상승이 더 크게 나타난 것을 알 수 있으며, 대지저항률이 1000 Ω·m인 경우 10/350 μs의 경우처럼 디바이식을 적용한 경우와 대지저항률이 일정한 경우에서 과도전위상승값에서 차이가 발생하였다.

4. 0.25/100 μs 표준 뇌격전류 파형의 경우

상승시간이 제일 빠른 0.25/100 μs의 표준 뇌격전류 파형의 경우 다른 두 가지 뇌격전류 파형보다 상승시간

에서 과도전위상승이 크게 나타난다. 이는 접지전극의 형상이나 토양의 주파수의존성에도 크게 영향을 받게 된다. 그림 7의 결과에서 역시 전송선로 모델로는 과도전위상승이 매우 크게 해석되는 것을 알 수 있다. 따라서 접지전극의 과도전위상승을 계산하는 경우 전송선로 모델은 피해야할 방법이다. 그림 7(b)의 대지저항률이 100 Ω·m인 경우 디바이식을 적용한 경우와 대지저항률이 일정한 경우에서 차이가 발생하였다. 이는 그림 5, 6의 결과는 다르게 상대적으로 낮은 대지저항률의 경우에서도 빠른 뇌격전류의 경우 과도전위상승에서 차이가 발생되는 것을 확인하였다. 그림 7(c)의 대지저항률이 1000 Ω·m인 경우 과도전위상승은 디바이식을 제외한 나머지 경우가 더 높게 나타났다. 이는 그림 4(c)의 등가주파수 1 MHz에서의 접지임피던스 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

또한 낮은 주파수 영역에서 디바이의 식을 적용한 경우의 접지임피던스가 전송선로 모델의 경우보다 더 작기 때문에 과도접지전위상승의 파미부분에서 전송선로 모델의 결과보다 더 낮은 과도접지전위상승을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 디바이식을 적용하여 토양의 주파수의존성을 고려한 정보통신용 수평접지전극의 접지임피던스를 계산하여 과도접지전위상승을 시뮬레이션하였다. 대지저항률과 표준 뇌격전류 파형에 따라 과도접지전위상승을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 뇌격전류에 따른 수평접지전극의 과도접지전위상승은 접지전극이 매설되어있는 토양의 주파수의존성에 영향을 받는다.
- (2) 토양의 주파수 의존성을 고려하여 수평접지전극의 접지임피던스를 계산하기 위해서 디바이식을 적용하였다.
- (3) 디바이식을 적용한 경우가 전송선로 모델과 대지저항률이 일정한 경우보다 과도접지전위상승이 약간 낮게 나타났다.
- (4) 표준 뇌격전류의 상승시간이 빠른 경우와 대지저항률이 더 높은 경우가 토양의 주파수의존성 영향을 더 받는다.

REFERENCES

[1] K. H. Kim, "Analysis of lightning surge damage

- status to high-speed information communication facilities and measures for protection against lightning surges”, Yonsei University, 2009.
- [2] IEC 62305-3, “Protection against lightning - Part 3:Physical damage to structure and life hazard”, IEC TC 81, 2012.
- [3] ANSI/IEEE Std 81-1983, “IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system”, pp.16~28, 1983.
- [4] S. Visacro, R. Alipio, “Frequency dependence of soil parameters: Experimental Results, predicting formula and influence on the lightning response of grounding electrodes”, IEEE Trans. Power Del., vol. 27, No. 2, pp.927~935. 2012.
- [5] L. Grcev, F. Dawalibi, “An electromagnetic model for transients in grounding systems”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.5, No.4, pp.1773~1781, 1990.
- [6] D. Poljak, V. Roje, “The integral equation method for ground wire input impedance”, Integral methods in science and engineering, Vol. I, U.K., pp.139~143, 1997.
- [7] M. H. Oh, “Development of detection system for subsurface contamination based on the electrical properties of soil”, Seoul National University, 2005.
- [8] K. C. Kao, Dielectric Phenomena in Solids, Elsevier Academic Press, 2004.
- [9] L. Li, Y. Yi, “Identification of liquefaction and deformation features using ground penetrating radar in the New Madrid seismic zone, USA”, Journal of Applied Geophysics, Vol.47, pp.199~215, 2001.
- [10] N. Liu, “Soil and siete characterization using electromagnetic waves”, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2007.
- [11] K. S. Cole, R. H. Cole, “Dispersion and absorption in dielectrics I. Alternating current characteristics”, The Journal of Chemical Physics, Vol.4, pp.341~351, 1941.
- [12] D.P. Snowden, G. C. Morris, “Measurement of the dielectric constant of soil”, IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol.Ns-32, No.6, 1985.
- [13] M. L. Wiebe, “Laboratory measurement of the complex dielectric constant of soils”, Texas A&M University, Technical Report RSC-23, 1971.
- [14] N. Wagner, K. Kupfer, E. Trinks, “A broadband dielectric spectroscopy study of the relaxation behaviour of subsoil”, Proc. of the 7th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances, pp.1~8, 2007.
- [15] A. N. Barreto, “Complex resistivity decomposition of the dias model in partition fractions and debye functions applied to hydraulic permeability determination”, North Fluminense State University, 2013.
- [16] W. C. Gibson, “The method of moments in electromagnetics”, Chapman & Hall/CRC, pp.33~79, 2008.
- [17] S. C. Cho, “An Analysis of Transient Potential Rises of Horizontal Ground Electrical Considering the Frequency-Dependent Earth Parameters”, In-ha University, 2014.
- [18] C. H. Ahn, “Numerical Calculation for Impedance of horizontal Ground Electrode for Information and Communication Facilities with Considering Characteristics of Permittivity in Soil”, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol.50, No 3, pp.237~236, 2013.
- [19] C. H. Ahn, “Calculation Method of Transient Potential Rises of Horizontal Ground Electrodes Depending on Injection Point of the Ground Current”, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol.51, No. 12, pp.197~2036, 2014.

— 저 자 소 개 —



안 창 환(정회원)

1983년 원광대학교 공과대학 전기공학과 학사 졸업.

1991년 인하대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업.

1999년 인하대학교 대학원 전기공학과 박사 졸업.

2005년~현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수.

<주관심분야 : EMI/EMC, 통신, 신호처리>