

# 배전계통에서 접지망 형태에 따른 과도접지임피던스 모델링에 관한 연구

곽충근, 한병길, 김경화, 김지명, 노대석\*  
한국기술교육대학교 전기공학과

## A Study on Modeling of Transient Grounding Impedance with Grounding System in Distribution System

Chung-Guen Kwak, Byeong-Gill Han, Kyung-Hwa Kim, Ji-Myung Kim, Dae-Seok Rho\*  
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**요약** 최근, 고도 정보화 시대의 급속한 발전과 신재생에너지원의 전력계통 유입의 증가로, 배전계통에서 낙뢰 및 서지 등의 피해에 대비한 피뢰·접지시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 60Hz 대역의 상용전원 계통 고장사고의 관점에서, 지락 또는 단락사고 시 인체의 감전사고 예방 및 설비보호 측면만을 고려하여 운용되어 왔으나, 다양한 분산형 전원이 연계된 국내 22.9kV-Y 다중 직접접지 배전계통의 접지개념을 상용주파수뿐만 아니라 고주파 대역에서의 접지 임피던스를 해석하기 위한 방안이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전력계통 상용 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 접지망형태에 따른 과도접지임피던스를 평가할 수 있는 과도접지임피던스의 모델링을 제시하며, 이 모델링은 배전계통부, 수용가부, 뇌서지 발생장치부, 과도접지임피던스 계측부로 구성된다. 또한, 본 모델링을 바탕으로 배전계통의 접지망 형태에 따른 과도접지임피던스의 특성을 분석한 결과, 25kHz 및 1MHz의 과도접지임피던스의 최대값은 배전용변전소에서 각각 14.1[Ω], 35.5[Ω]이고, 배전선로 인출점에서 11.3[Ω], 32.6[Ω]이며, 수용가 부하에서 3.15[Ω], 3.2[Ω]로 산정됨을 알 수 있다. 따라서, 동일한 뇌서지가 발생할 경우에도 주파수 영역(25kHz 및 1MHz)에 따라 과도접지 임피던스가 다르게 나타남을 알 수 있다.

**Abstract** Recently, a multitude of research on lightning protection and electrical grounding in the case of an electrical power distribution system has been actively conducted worldwide. In particular, these research activities improve the prevention of the electrical power distribution system's damage from lightning, power surge (due to the rapidly developing advanced information devices and renewable energy resources' interconnections in this system), etc. However, the existing lightning protection and electrical grounding in an electrical power distribution system under 60 Hz bandwidth have been only preventing electrical shocks to humans and protecting this system from grounding and short circuit faults. Hence, analyzing the multi-direct grounding under the reference and high-frequency bandwidths in the case of a 22.9 kV - Y electrical power distribution system connected to various distributed electrical power sources is needed. Therefore, this research evaluated the transient electrical grounding impedance under different electrical grounding types by using the PSCAD/EMTDC software. In particular, this evaluation used a model that had the details of the electrical power distribution system, the customer's electrical load on this system, a lightning surge device, and a device for the transient electrical grounding impedance's measurement. Notably, this evaluation showed that the transient electrical grounding impedance's characteristics depended on the electrical power distribution system's frequency bandwidth, such as 25 kHz or 1 MHz.

**Keywords** : Transient Grounding Impedance, Distribution System, PSCAD/EMTDC S/W, High Frequency Bandwidths, Grounding System, Grounding Rods, Grounding Mesh

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(20214910100010, 20191210301940)에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)

email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received March 10, 2022

Revised April 19, 2022

Accepted June 3, 2022

Published June 30, 2022

## 1. 서론

최근, 고도 정보화 시대의 급속한 발전과 신재생에너지원의 전력계통 유입의 증가로, 배전계통에서 낙뢰 및 서지 등의 피해에 대비한 피뢰·접지시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 이러한 접지시스템은 접지망 형태에 따라 과도 상태에 대한 임피던스 특성이 다르게 나타난다. 일반적으로, 접지임피던스는 접지저항과 접지전극 자체의 저항, 인덕턴스, 토양의 정전용량 등으로 결정된다. 한편, 종래의 접지시스템은 60Hz 대역의 상용전원 계통 고장사고의 관점에서 지락 또는 단락사고 시 인체의 감전사고 예방 및 설비보호 측면만을 고려하여 운용되어 왔으나, 고도의 전력품질이 요구되고 다양한 분산형 전원이 연계된 국내 22.9kV-Y 다중 직접접지 배전계통에서는 접지망 형태에 따라 과도접지임피던스를 해석 할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 접지도체의 저항 및 인덕턴스 성분과 대지의 커패시턴스 성분에 의한 세 가지 특성을 분석하고, 접지망 형태(접지동봉, 메쉬)에 따른 과도접지임피던스의 특성을 제시한다. 여기서, 접지동봉 방식은 각각의 동봉을 병렬로 연결된 구조이며, 메쉬방식은 격자 형태로 연결된 구조이다. 또한, 전력계통 상용 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 모의 배전계통부, 수용가부, 뇌서지 발생장치부, 과도접지임피던스 검출부로 구성된 과도접지임피던스 모델링을 제시한다. 여기서, 과도접지임피던스 검출부는 배전 변전소와 배전선로, 수용가측에 구성하며, 뇌서지의 주파수에 따라 과도접지 특성을 검출할 수 있다. 상기의 모델링을 바탕으로 주파수에 따른 과도접지임피던스의 특성을 분석한 결과, 저항성분이 대부분인 접지전극인 경우나 접지저항이 매우 큰 배전선로의 경우, 과도접지임피던스 특성은 주파수에 대한 영향이 적음을 알 수 있다. 또한, 주파수에 대한 과도접지임피던스는 대부분 저항성분을 가지고, 25kHz 이상에서는 자기임피던스에 의한 유도성분의 영향이 지배적이며, 주파수가 높아질수록 과도접지임피던스가 증가하는 현상을 알 수 있었다.

## 2. 접지망 형태에 따른 과도접지임피던스의 특성

### 2.1 과도접지임피던스의 개념

과도접지임피던스는 접지도체와 대지와의 접촉저항 외에 인덕턴스 성분과 대지의 커패시턴스 성분으로 구성된다. 이러한 접지임피던스는 접지전극에 임펄스 전류를 인가한 후, 측정된 전압과 전류를 통하여 산정한다. 여기서, 전압과 전류의 위상 차이가 없는 경우, 과도접지임피던스는 저항성분으로만 이루어져 있는 것이므로 고유의 값을 갖는다. 한편, 전압과 전류의 위상 차이가 있는 경우, 뇌서지 전압에 따른 과도접지임피던스는 Fig. 1과 같이 인덕턴스 성분과 대지의 커패시턴스 성분에 의하여 세 가지 특성을 가진다. 첫 번째는 전압의 최대값과 전류의 최대값으로 산정되는 규약 접지임피던스( $Z_1$ )이며, 두 번째는 전압의 최대값과 이 값이 발생하는 시간( $t_1$ )에서의 전류값에 의하여 산정되는 실효 서지임피던스( $Z_2$ ), 세 번째는 전류의 최대값과 이 값이 발생하는 시간( $t_2$ )에서의 전압값으로 산정되는 임피던스이다. 하지만, 일반적인 과도 접지임피던스는 두 번째의 실효 서지임피던스( $Z_3$ )를 이용하여 나타낸다[5,6].

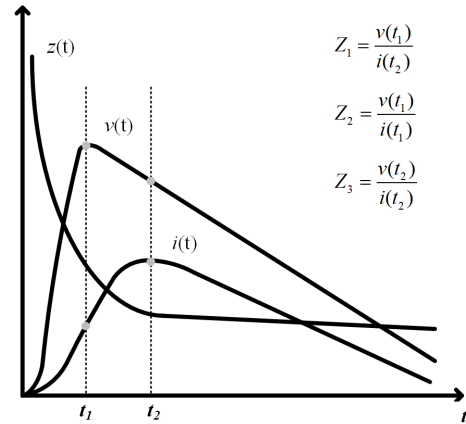


Fig. 1. Characteristics of transient grounding impedance with lightning surge

### 2.2 배전계통에서 접지망 형태에 따른 과도접지임피던스 특성

배전계통에서 주로 사용되는 접지망은 접지동봉방식과 메쉬접지 방식으로 분류된다. 먼저, 접지동봉 방식은 Fig. 2(a)와 같이 현장 접지 조건 및 대지유저항에 따라 접지전극의 길이와 간격, 수량을 고려하여 설계되며, 각각의 동봉을 병렬로 연결하는 방식이다. 한편, 메쉬접지 방식은 Fig. 2(b)와 같이 설비 특성상 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 확보하기 용이하여, 대형 플랜트나 발

전소, 변전소에 일반적으로 사용되는 방식으로 격자 형태로 연결된 구조이다. 이러한 접지 방식들은 서로 다른 합성 임피던스 값을 가지기 때문에, 주파수에 따른 과도 접지임피던스 해석이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 배전계통에서 접지망 형태에 따라 상용주파수뿐만 아니라 고주파 대역까지 해석할 수 있는 과도접지임피던스의 모델링을 제시한다.

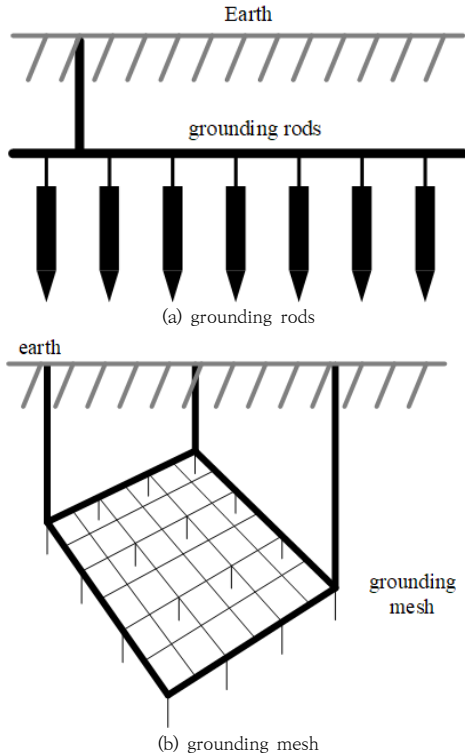


Fig. 2. Configuration of grounding types

### 3. PSCAD/EMTDC를 이용한 배전계통의 과도접지임피던스 모델링

#### 3.1 배전계통부 모델링

배전계통부는 Fig. 3과 같이 배전용변전소와 배전선로로 구성된다. 여기서, 154/22.9[kV] 배전용변전소의 주변압기(45/60[MVA])는 3권선 Yg-Yg-Δ결선방식을 채용하고, 배전선로는 상도체, 중성선, 가공지선으로 구성되며, 22.9kV-Y 다중직접접지 방식을 적용한다. 또한, 배전선로의 상도체와 중성선, 가공지선의 선종은 각

각 ACSR 160[mm<sup>2</sup>], ACSR 95[mm<sup>2</sup>], ACSR 32[mm<sup>2</sup>]로 상정하고, 이를 바탕으로 선로 임피던스를 산정한다. 한편, 배전선로의 중성선은 배전용변전소 주변압기의 중성점으로부터 인출되고, 50m마다 전주를 설치하여 가공지선을 연결하여 접지동봉방식으로 대지와 접지한다[7, 8].

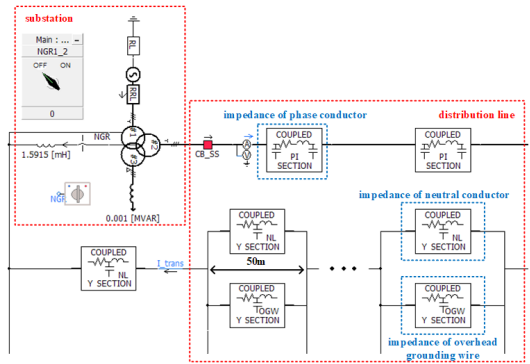


Fig. 3. Modeling of distribution system

#### 3.2 수용가부 모델링

수용가부는 Fig. 4와 같이 수전용 변압기와 수용가부로 구성된다. 여기서, 수전용 변압기(22.9/0.38[kV])는 Δ-Yg 방식을 사용하며, 수용가 부하는 정전력 방식을 채용하며, 역률은 0.9로 상정한다.

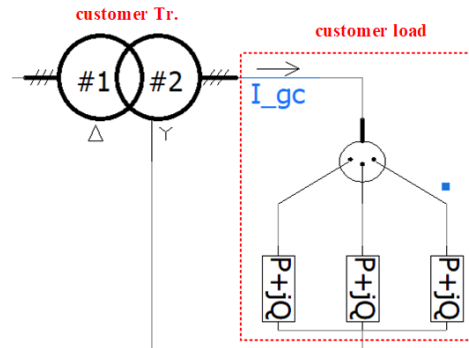


Fig. 4. Modeling of customer load

#### 3.3 뇌서지 발생장치부 모델링

뇌서지 발생장치부는 Fig. 5(a)와 같이 뇌서지 발생장치와 뇌서지 시퀀스 제어기로 구성된다. 여기서, 뇌서지 발생장치는 시퀀스 제어기의 지령에 따라 뇌서지를 발생시킨다. 또한, 뇌서지 시퀀스 제어기는 Fig. 5(b)와 같이 뇌서지 표준 파형(KS C IEC 62305)을 고려하여, 규약

영점( $O_1$ )으로부터 30[%]~90[%]를 통과하는 파두장과 파미부분에서 파고값의 50[%]까지 감소하는데 걸리는 파미장을 시간에 따라 제어한다[9].

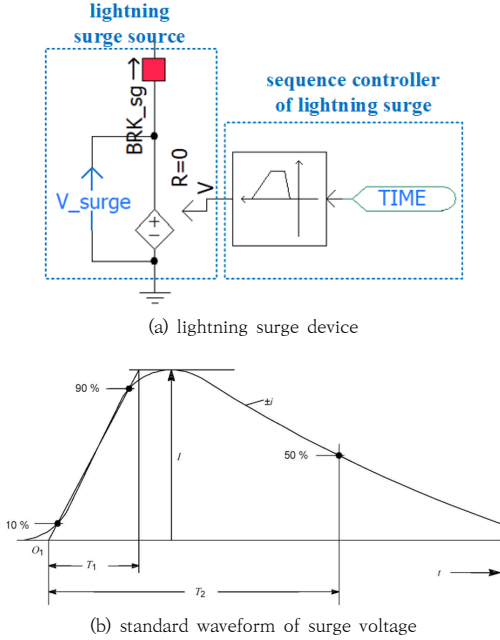


Fig. 5. Modeling of lightning surge device

### 3.4 과도접지임피던스 검출부 모델링

과도접지임피던스 검출부는 메쉬접지방식을 이용한 배전용변전소의 과도접지임피던스 검출부와 접지동봉 방식을 이용한 배전선로 및 수용가용 과도접지임피던스부로 분류된다. 먼저, 배전용변전소의 과도접지임피던스 검출부는 Fig. 6과 같이 저항과 용량성 임피던스, 유도성 임피던스를 이용하여 격자구조 단위 임피던스와 접지동봉 단위 임피던스로 구성한다. 여기서, 격자구조 단위 임피던스는 6[m]×6[m] 구조로 상정하고, 격자 저항과 ( $R_{line}$ ), 격자 인덕턴스( $L_{line}$ )를 직렬로 구성한다. 또한, 대지연결 단위 임피던스는 격자구조의 단위 임피던스의 각 접속점에서 대지와 연결된 구조로, 저항, 유도성 임피던스, 용량성 임피던스를 조합하여 구성한다. 한편, 배전용변전소의 과도접지임피던스는 Schwarz식을 이용하여 Eq. (1)과 같이 산정한다[10,11].

$$R_M = \frac{\rho}{\pi l_m} \times \left( \ln \frac{2l_m}{\sqrt{2}rt} + K_1 \frac{l_m}{A} - K_2 \right) [ohm] \quad (1)$$

where,  $R_M$  : resistance of mesh,  $\rho$  : rate of resistance[ $\Omega \cdot m$ ],  $l_m$  : total length of the grounding wire,  $r$  : radius of the grounding wire,  $t$  : depth buried,  $A$  : area of mesh,  $K_1, K_2$  : constant values with buried width and depth

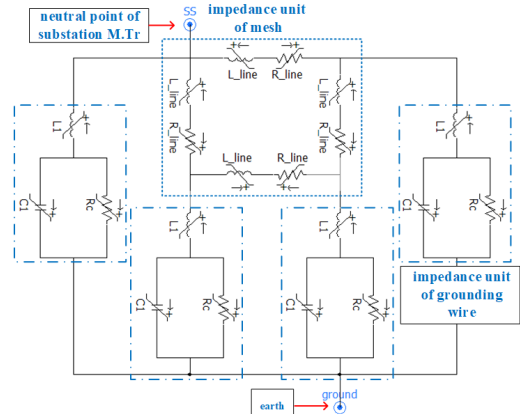


Fig. 6. Modeling of detecting device for transient grounding impedance in substation

한편, 배전선로 및 수용가용 과도접지임피던스부는 접지동봉 형태를 바탕으로, Fig. 7과 같이 용량성 임피던스, 저항, 유도성 임피던스를 조합하여 나타낼 수 있다. 먼저, 접지동봉 1개의 저항 값은 Eq. (2)와 같으며, N개의 접지봉을 병렬 접지한 경우의 합성저항( $R_r$ )은 Eq. (3)과 같다. 여기서,  $\eta$ 는 결합계수로 대지저항률과 무관한 특성을 지니며, 접지봉간의 간격이 커지면 병렬효과가 나타나  $\eta$ 가 작아진다. 또한, 접지동봉의 1개의 인덕턴스 값은 Eq. (4)와 같이 대지의 비투자율을 1로 상정하고, 접지극의 거리와 직경을 고려하여 산정한다. 한편, 접지동봉 1개의 커패시턴스 값은 Eq. (5)와 같이 대지의 유전상수( $\epsilon_r$ )와 접지극의 직경, 거리를 고려하여 산정한다. 따라서, 배전선로 및 수용가의 합성 과도접지임피던스는 Eq. (6)과 같이 저항과 인덕턴스, 커패시턴스 값을 이용하여 산정한다.

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l_r} \times \left( \ln \frac{2l_r}{r} \right) [ohm] \quad (2)$$

$$R_r = \eta \times \frac{R_1}{n} [ohm] \quad (3)$$

$$L_r = 2l_r \times \left( \ln \frac{4l_r}{r} \right) \times 10^{-7} [H] \quad (4)$$

$$C_r = \frac{\epsilon_r \times l_r}{18 \times \ln\left(\frac{4l_r}{d}\right)} \times 10^{-9} [F] \quad (5)$$

$$Z_r = R_n + j \frac{w C_r}{w L_r} [ohm] \quad (6)$$

where,  $R_i$ : resistance of grounding rods[ $\Omega$ ],  $l_r$ : length of grounding rods[m],  $r$ : radius of grounding rods[m],  $R_r$ : total resistance of n grounding rods in parallel,  $\eta$ : combination coefficient, n: the number of parallel connections of grounding rods,  $L_r$ : composite inductance of grounding rods,  $C_r$ : capacitance of grounding rods,  $\epsilon_r$ : dielectric constant,  $Z_r$ : composite transient grounding impedance of distribution lines and customer load

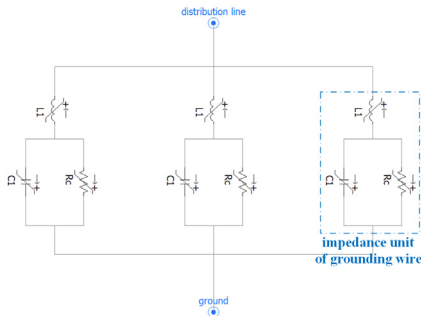


Fig. 7. Modeling of detecting device for transient grounding impedance in distribution line and customer

### 3.5 전체 시스템 모델링

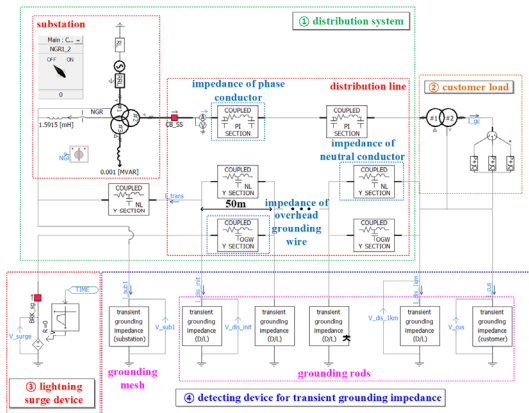


Fig. 8. Modeling of entire system

전체 시스템의 구성은 Fig. 8과 같이 배전계통부(①), 수용가부(②), 뇌서지 발생장치부(③), 과도접지임피던스 검출부(④)로 구성된다.

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제시한 과도접지임피던스의 모델링에 대한 유효성을 확인하기 위한 시뮬레이션 조건은 Table 1과 같다. 여기서, 배전용변전소의 메쉬접지의 단위 저항, 인덕턴스, 커패시턴스는 각각 1[ $\Omega$ ], 97.5[ $\mu H$ ], 17.5[ $\mu F$ ]로 상정하고, 배전선로 및 수용가용 저항, 인덕턴스, 커패시턴스는 각각 1[ $\Omega$ ], 97.5[ $\mu F$ ], 17.5[ $\mu H$ ]로 상정한다. 또한, 뇌서지 발생장치는 20[kV]의 전압을 25kHz와 1MHz의 주파수로 발생시키도록 상정한다. 한편, 수용가 부하는 500[kVA]로 상정하고, 배전선로의 상도체, 중성선, 가공지선의 선종은 각각 ACSR 160[mm<sup>2</sup>], 95[mm<sup>2</sup>], 32[mm<sup>2</sup>]을 적용한다.

Table 1. Simulation conditions

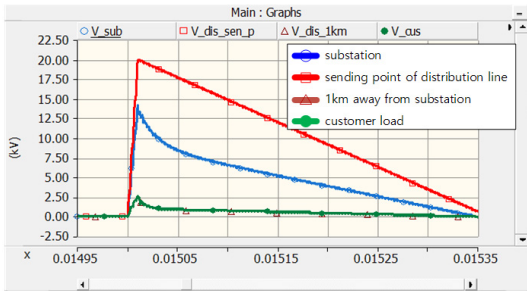
		items	contents
detecting device of transient grounding impedance	mesh	resistance of mesh ( $R_{line}$ )	1.82[ $\mu\Omega$ ]
		inductance of mesh ( $L_{line}$ )	10.4[nH]
		inductance of grounding ( $L_M$ )	4.4[ $\mu H$ ]
		capacitance of grounding ( $C_M$ )	390[ $\mu F$ ]
		resistance of grounding ( $R_M$ )	227.5[ $\mu\Omega$ ]
	grounding rods	inductance ( $L_r$ )	17.5[ $\mu H$ ]
	capacitance ( $C_r$ )	97.5[ $\mu F$ ]	
	resistance ( $R_r$ )	910[ $\mu\Omega$ ]	
lightning surge device	voltage		20[kV]
	frequency		25[kHz], 1[MHz]
		customer load	500[kVA]
distribution line	phase conductor	type	ACSR 160mm <sup>2</sup>
		impedance	R:0.182[ $\Omega$ /km], L:1.04[mH/km]
	neutral conductor	type	ACSR 95mm <sup>2</sup>
		impedance	R:0.328[ $\Omega$ /km], L:2.43[mH/km]
overhead grounding wire	type	ACSR 32mm <sup>2</sup>	
	impedance	R:0.910[ $\Omega$ /km], L:2.55[mH/km]	

### 4.2 25kHz급 뇌서지에 의한 과도접지임피던스특성

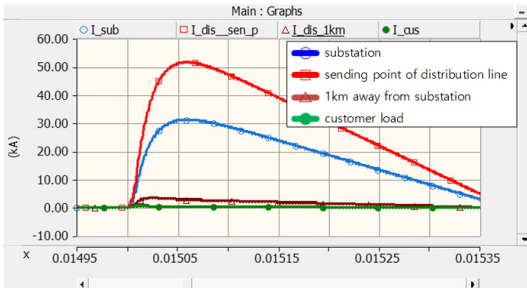
상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로, 배전선로 인출점에서 25kHz급 뇌서지를 발생시키는 경우, 뇌서지 전압

과 뇌서지 전류 과도접지임피던스의 특성을 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기서, Fig. 9(a)는 뇌서지 전압 파형이고, Fig. 9(b)는 뇌서지 전류 파형, Fig. 9(c)는 과도접지 임피던스 파형을 나타낸다. Fig. 9(a)에서 뇌서지 전압 파고치는 배전용 변전소, 배전선로 인출점, 배전선로 1km 지점, 수용가 순으로 낮아짐을 알 수 있다.

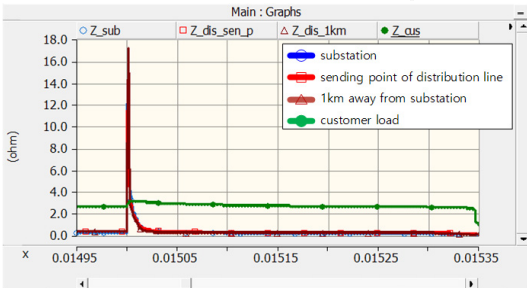
또한, Fig. 9(b)에서 뇌서지의 최대 전류값은 배전용 변전소에서 31.2[kA], 배전선로 인출점에서 51.6[kA], 배전선로 1km지점에서 3.4[kA], 수용가부에서 0.8[kA]로 산정됨을 알 수 있다. 한편, Fig. 9(c)에서 과도접지 임피던스의 최대값은 배전용변전소에서 14.1[Ω], 배전선로 인출점에서 11.3[Ω], 배전선로 1km 지점에서 17.1[Ω], 수용가 부하에서 3.15[Ω]으로 산정됨을 알 수 있다.



(a) waveform of surge voltage



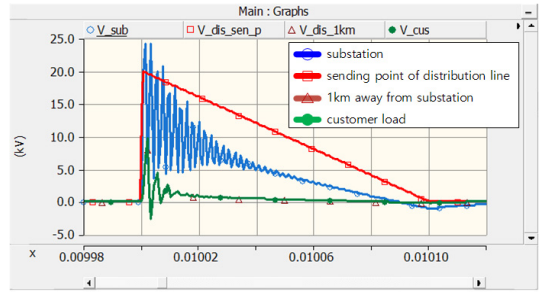
(b) waveform of surge current sending point



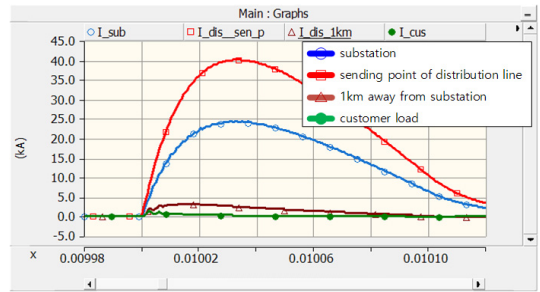
(c) waveform of transient grounding impedance

Fig. 9. Characteristics of transient grounding impedance by 25kHz lightning surge

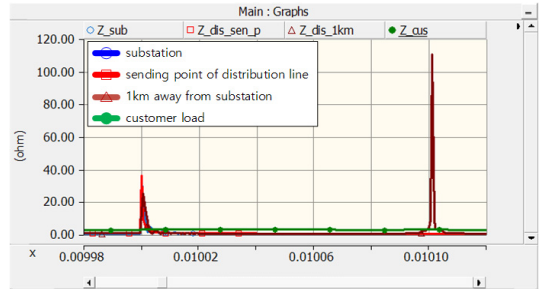
### 4.3 1MHz급 뇌서지에 의한 과도접지임피던스 특성



(a) waveform of surge voltage



(b) waveform of surge current sending point



(c) waveform of transient grounding impedance

Fig. 10. Characteristics of transient grounding impedance by 1MHz lightning surge

상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로, 배전선로 인출점에서 1MHz급 뇌서지를 발생시키는 경우, 뇌서지 전압과 뇌서지 전류 과도접지임피던스의 특성을 나타내면 Fig. 10과 같다. 여기서, Fig. 10(a)는 뇌서지 전압 파형이고, Fig. 10(b)는 뇌서지 전류 파형, Fig. 10(c)는 과도접지 임피던스 파형을 나타낸다. Fig. 10(a)에서 뇌서지 전압 파고치는 배전용 변전소, 배전선로 인출점, 배전선로 1km 지점, 수용가 순으로 낮아짐을 알 수 있다. 또한, Fig. 10(b)에서 뇌서지 최대 전류값은 배전용변전소에서 24.2[kA], 배전선로 인출점에서 40.1[kA], 배전선로 1km지점에서 3.1[kA], 수용가부에서 1.4[kA]로 산정됨

을 알 수 있다. 한편, Fig. 10(c)에서 과도접지임피던스의 최대값은 배전용변전소에서 35.5[Ω], 배전선로 인출점에서 32.6[Ω], 배전선로 1km 지점에서 25.1[Ω], 수용가 부하에서 3.2[Ω]으로 산정됨을 알 수 있다.

#### 4.4 종합분석

상기의 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 인가 주파수에 따른 뇌서지 전압 및 뇌서지 전류, 과도접지 임피던스의 특성을 나타내면 Table 2와 같다. 여기서, 주파수에 대한 과도접지임피던스는 대부분 저항성분을 가지고, 25kHz이상에서는 자기임피던스에 의한 유도성분의 영향이 지배적이며, 주파수가 높아질수록 과도접지임피던스가 증가하는 현상을 알 수 있다. 높은 주파수 영역의 접지임피던스 특성은 접지전극의 형상, 크기, 매설방법, 대지저항률, 유전율 등에 의하여 변화하며, 특히 접지에 사용되는 접지도체의 종류, 길이, 굵기, 배치방법 등이 큰 변수로 작용함을 알 수 있었다.

Table 2. Characteristics of transient grounding impedance by frequency

items	input frequency	voltage of lightning surge [kV]	current of lightning surge [kA]	transient grounding impedance [Ω]
substation	25kHz	14.1	31.2	14.1
	1MHz	24	24.2	35.5
sending point of distribution line	25kHz	20	51.6	11.3
	1MHz	20	40.1	32.6
1km away from substation	25kHz	2.5	3.4	17.1
	1MHz	9.5	3.1	25.1
customer load	25kHz	2.5	0.8	3.15
	1MHz	9.5	1.4	3.2

### 5. 결론

본 논문에서는 배전계통에서 접지망형태에 따른 과도접지임피던스의 특성을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 뇌서지 모델링을 제시하고, 주파수 25kHz 및 1MHz에 대한 뇌서지의 특성을 분석하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 저항성분이 대부분인 접지전극인 경우나 접지저항이 매우 큰 배전선로의 경우, 과도접지임피던스 특성은 주파수에 대한 영향이 적음을 알 수 있다.
- (2) 주파수에 대한 과도접지임피던스는 대부분 저항성

분을 가지고, 25kHz이상에서는 자기임피던스에 의한 유도성분의 영향이 지배적이며, 주파수가 높아질수록 과도접지임피던스가 증가하는 현상을 알 수 있다.

- (3) 높은 주파수 영역의 접지임피던스 특성은 접지전극의 형상, 크기, 매설방법, 대지저항률, 유전율 등에 의하여 변화하며, 특히 접지에 사용되는 접지도체의 종류, 길이, 굵기, 배치방법 등이 큰 변수로 작용함을 알 수 있었다.

### References

- [1] Ju-Hong Eom, Sung-Chul Cho, Tae-Hyung Lee, "An Analysis Method for the Transient Ground Impedance Using Variable Frequency and Lightning Impulse Current", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, vol. 22, no. 6, pp. 100-108, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.5207/IIEIE.2008.22.6.100>
- [2] Bok-Hee Lee, Sung-Chul Cho, "Numerical Calculation for Grounding Impedance of a Horizontal Ground Electrode Based on the Electromagnetic Field Theory", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, vol. 28, no. 2, pp. 76-83, 2014.  
DOI: <https://doi.org/G704-000642.2014.28.2.011>
- [3] Hu-Dong Lee, Myeong-Ki Shin, Sung-Sik Choi, Min-Kwan Kang, Yang-Hyun Nam, Dae-Seok Rho, "A Study on Grounding Characteristic Analysis of Large-scaled Apartment Complex Based on PSCAD/EMTDC", Korea Academy Industrial Cooperation Society, vol. 18, bo. 12 pp. 650-658, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.650>
- [4] Chang Hwan Ahn, "Analysis of Transient Ground Potential Rise in Grounding Electrode for Solar Power Generation System Applied the Standard Lightning Current Waveform", The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 57, no. 4, pp. 103-109, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2020.57.4.103>
- [5] Bok-Hee Lee, Jhong-Soon Park, "Characteristics of Transient Grounding Impedance under Surge Currents", The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 48C, no. 11, pp. 717-723, 1999.
- [6] Hyungsoo Lee, Keon-Bo Shim, Chunghoon Ahn, Kyusam Kim, "The Effects of Soil Model in the Grounding System Design", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, pp. 451-455, 2004.
- [7] Sung-Moon Choi, Seung-Ho Kim, Mi-Young Kim, Dae-Seok Rho, "A Study on Characteristics and

Modeling of CMV by Grounding Methods of Transformer for ESS”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 22, no. 4 pp. 587-593, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.4.587>

- [8] Soon-Sik Kim, Byeong-Gill Han, Hu-Dong Lee, Marito Ferreira and Dae-Seok Rho, “Modeling and Implementation of Safety Test Device for Grounding System Based on IEC 60364”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 22, no. 6, pp. 599-609, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.6.599>
- [9] KS C IEC 62305-4, “Protection against lightning-Part 1 : General principles”, The Institute of Electronics and Information Engineers, 2006.
- [10] Dong-Ho Shin, Yong Kim, Soo-Hyun Baek, Eun-Young Lee, Pill-Soo Kim, Dae-Hoon Cho, “The Comparison on Grounding Characteristics for 3 Grounding Systems”, The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 49A, no. 6, pp. 289-297, 2000.
- [11] Kyung-Chul Kim, Jong-Uk Kim, Kyu-Jin Lee, Jong-Ki Choi, Sun-Kyu Choi, Dong-Myung Kim, “Transient Grounding Impedance Characteristics of a Concrete Rod-type Grounding Electrode used for Electric Distribution Systems”, The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, vol. 24, no.2, pp. 9-15, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2010.24.2.009>

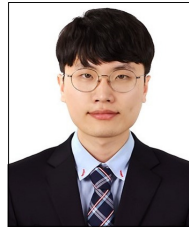
**곽 충 근(Chung-Guen Kwak) [정회원]**



- 2014년 2월 : 한양대학교 공학대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

〈관심분야〉  
배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드

**한 병 길(Byeong-Gill Han) [정회원]**



- 2016년 2월 : 한밭대학교 전자제어공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 8월 ~ 2020년 4월 : 한국화학융합시험연구원 연구원

• 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

〈관심분야〉  
전력변환기, ESS, 신재생에너지, 마이크로그리드

**김 경 화(Kyung-Hwa Kim) [준회원]**



- 2021년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

〈관심분야〉  
전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치

**김 지 명(Ji-Myung Kim) [정회원]**



- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

〈관심분야〉  
전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치



노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학  
학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과  
(공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교  
대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 :  
한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신  
공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석