

메쉬접지 형태의 배전계통에서 과도접지 임피던스 개선 알고리즘에 관한 연구

곽충근, 노대석

한국기술교육대학교 전기공학과

e-mail:kgc2846@koreatech.ac.kr

A Study on Improvement Algorithm of Transient Grounding Impedance in Mesh-grounded Distribution System

Chung-Guen Kwak, Dae-Seok Rho

Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

최근, 고도 정보화 시대의 급속한 발전과 신재생에너지원의 전력계통 유입의 증가로, 배전선로에서 낙뢰 및 서지 등의 피해에 대비한 피뢰·접지시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재, 60Hz 대역의 상용전원 계통 고장사고의 관점에서 지락 또는 단락사고 시 인체의 감전사고 예방 및 설비보호 측면만을 고려하여 운용되고 있지만, 22.9kV-Y 다중 직접접지를 적용하는 국내 배전선로의 접지개념을 상용주파수뿐만 아니라 고주파 대역에서의 접지임피던스를 개선하기 위한 운용방안이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 고주파 대역에서의 과도접지 임피던스를 산정하기 위하여, 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 정식화를 수행하고, 이를 바탕으로 과도접지 임피던스를 감소시키기 위한 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘을 제시한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC S/W를 이용하여 배전계통부, 수용가부, 너서지 발생장치부, 메쉬접지 과도접지 임피던스부 등으로 구성된 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 개선 알고리즘 및 모델링을 바탕으로 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 특성을 분석한 결과, 제시한 알고리즘을 통해 고주파 대역에서 메쉬접지의 과도접지 임피던스를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

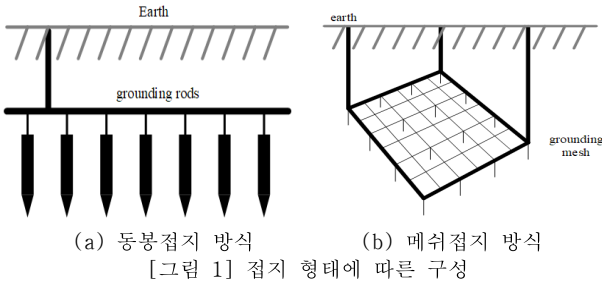
1. 서론

최근, 고도 정보화 시대의 급속한 발전과 신재생에너지원의 전력계통 유입의 증가로, 배전선로에서 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 운용되고 있지만, 22.9kV-Y 다중 직접접지를 적용하는 국내 배전선로의 접지개념을 상용주파수뿐만 아니라 고주파 대역에서의 접지임피던스를 개선하기 위한 운용방안이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 고주파 대역에서의 과도접지 임피던스를 산정하기 위하여, 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 정식화를 수행하고, 이를 바탕으로 과도접지 임피던스를 감소시키기 위한 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘을 제시한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC S/W를 이용하여 배전계통부, 수용가부, 너서지 발생장치부, 메쉬접지 과도접지 임피던스부 등으로 구성된 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 개선 알고리즘 및 모델링을 바탕으로 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 특성을 분석한 결과, 제시한 알고리즘을 통해

고주파 대역에서 메쉬접지의 과도접지 임피던스를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

2. 접지형태에 따른 과도접지 임피던스 특성

배전계통에서 주로 사용되는 접지망은 그림 1과 같이 접지 동봉방식과 메쉬접지 방식으로 분류된다. 먼저, 접지동봉 방식은 그림 1 (a)와 같이 현장 접지 조건 및 대지고유저항에 따라 접지전극의 길이와 간격, 수량을 고려하여 설계되며, 각각의 동봉을 병렬로 연결하는 방식이다. 한편, 메쉬접지 방식은 그림 1 (b)와 같이 설비 특성상 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 확보하기 용이하여, 대형 플랜트나 발전소, 변전소에 일반적으로 사용되는 방식으로 격자 형태로 연결된 구조이다. 이러한 접지 방식들은 서로 다른 합성 임피던스 값을 가지기 때문에, 주파수에 따른 과도접지임피던스 해석이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 배전계통에서 접지망 형태에 따라 상용주파수뿐만 아니라 고주파 대역까지 해석할 수 있는 과도접지임피던스의 모델링을 제시한다.



3. 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘

3.1 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 정식화

본 논문에서는 메쉬접지에서 과도접지 임피던스를 산정하기 위하여, 접지 형태를 하나의 정방형으로 상정하고, 동봉접지의 임피던스 산정식을 임피던스의 병렬 합성 및 브릿지 회로 산정 방안을 적용하여 산정한다[2]. 먼저, 메쉬접지의 저항은 식 (1)과 같으며, l_m 은 메쉬접지 한 변의 길이를 나타내고, r 은 메쉬접지에 사용하는 나동선의 반지름을 나타낸다. 또한, 메쉬접지의 유도성 임피던스와 용량성 임피던스는 각각 식 (2), 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 따라서, 메쉬접지의 합성 임피던스는 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$R_m = \frac{\rho}{8\pi l_m} \times \left(\ln \frac{4l_m}{r} \right) [\Omega] \quad (1)$$

$$L_m = 2l_m \times \left(\ln \frac{8l_m}{r} \right) \times 10^{-7} [H] \quad (2)$$

$$C_m = \frac{2 \times \epsilon_r \times l_r}{9 \times \ln \left(\frac{4l_m}{r} \right)} \times 10^{-9} [F] \quad (3)$$

$$Z_m = R_m + j \left(\omega L_m - \frac{1}{\omega C_m} \right) [\Omega] \quad (4)$$

여기서, R_m : 메쉬접지의 접지저항 $[\Omega]$, l_m : 메쉬의 한 변의 길이 $[m]$, r : 메쉬접지에 사용되는 나동선의 반경 $[m]$, L_m : 메쉬접지의 합성 인덕턴스, C_m : 메쉬접지의 합성 커패시턴스, ϵ_r : 유전율, Z_m : 메쉬접지의 합성 임피던스

3.2 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘

상기에서 제시한 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 정식화에 따라, 고주파 대역에서 과도접지 임피던스를 개선하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

[Step 1] 메쉬접지의 전체 길이(l_m)와 직경(d_m)을 입력한다.

[Step 2] 식 (1)에 따라 메쉬접지의 저항 값(R_m)을 산정한다.

[Step 3] R_m 이 전기설비기준에 적합한지 판정하여 그렇지 않으면 l_m 을 Δl 만큼 증가시켜 [Step 2]로 이동하고, 적합하면 [Step 4]로 이동한다.

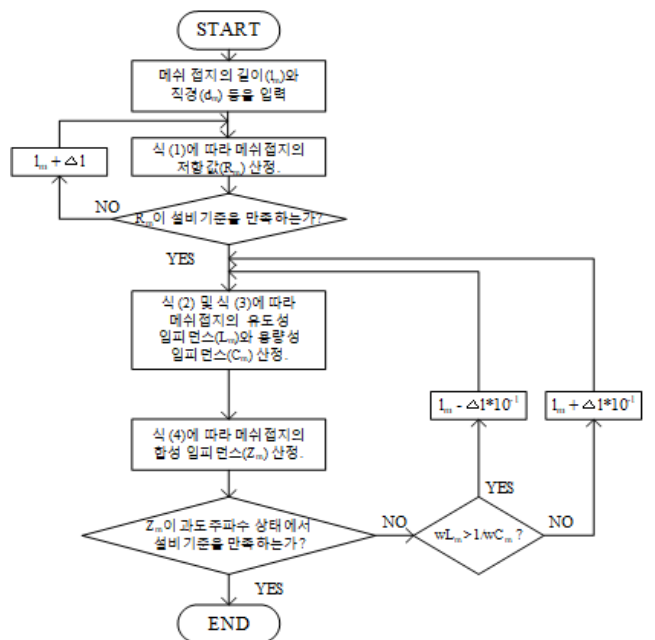
[Step 4] 식 (2) 및 식 (3)을 바탕으로 메쉬접지의 유도성 임피던스(L_m) 및 용량성 임피던스(C_m)를 산정한다.

[Step 5] [Step 4]에서 산정된 L_m 과 C_m 을 바탕으로, 메쉬접지의 합성 임피던스(Z_m)를 산정한다.

[Step 6] [Step 5]에서 산정한 Z_m 이 과도주파수 상태에서 설비기준을 만족하는지를 판정하고, 만족하지 않을 경우 [Step 7]로 이동하고, 설비기준을 만족하면 종료한다.

[Step 7] [Step 4]에서 산정한 L_m 이 C_m 보다 클 경우, l_m 을 Δl 의 1/10 만큼 차감한 후 [Step 4]로 이동하고, 아닐 경우 l_m 을 Δl 의 1/10 만큼 더한 후 [Step 4]로 이동한다.

따라서, 상기의 내용을 플로우차트로 나타내면 그림 2와 같다.

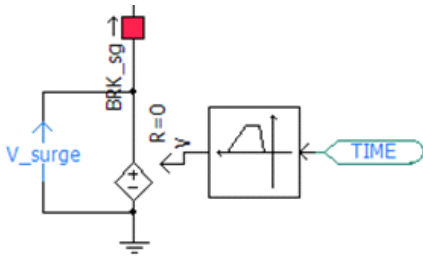


[그림 2] 메쉬접지 형태의 과도접지 개선 알고리즘

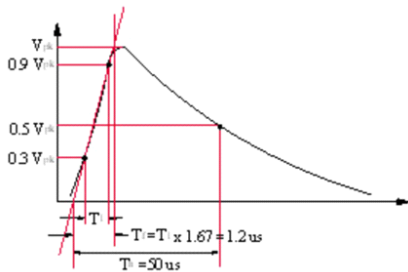
4. PSCAD/EMTCD를 이용한 배전계통의 과도접지임피던스 모델링

4.1 뇌서지 발생장치부 모델링

뇌서지 발생장치부는 그림 3과 같이 뇌서지 전압 표준파형 ($1.2 \times 50 \mu s$)을 기준으로 뇌서지 발생장치부를 모델링한다. 이때 뇌서지 전압의 파형을 가변할 수 있도록 하고 과도접지임피던스 측정 외에 접지선에 발생하는 전압 및 전류를 측정하는 기능을 포함시킨다. 또한, 접지임피던스 측정 방식은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 측정되도록 구성하고, 주파수를 가변하여 고주파 영역에서도 개별적인 측정이 가능하도록 한다.



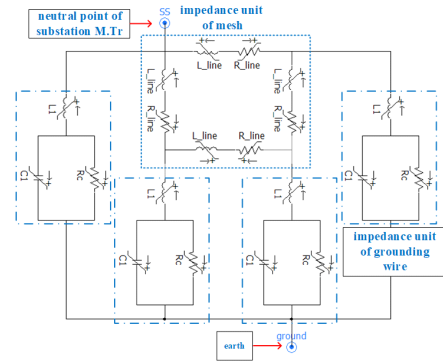
(a) 뇌서지 발생장치부



(b) 뇌서지 전압 표준파형
[그림 3] 뇌서지 발생장치부

4.2 과도접지 임피던스 검출부 모델링

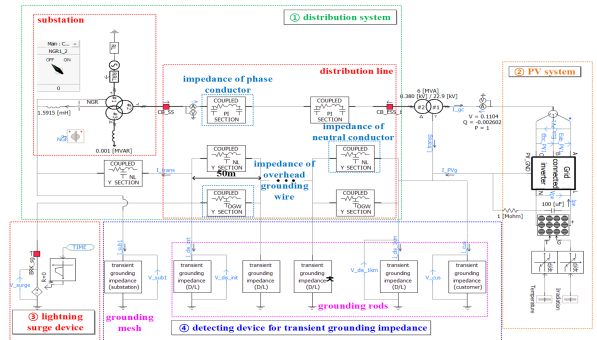
PSCAD/EMTDC를 이용하여 메쉬접지의 과도접지 임피던스 검출부를 모델링하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 저항과 용량성 임피던스, 유도성 임피던스를 이용하여 격자구조 단위 임피던스와 접지동봉 단위 임피던스로 구성한다. 또한, 격자구조 단위 임피던스는 5[m]×5[m] 구조로 설정하고, 격자 저항과 격자 인덕턴스를 직렬로 구성한다.



[그림 4] 메쉬접지의 과도접지임피던스 검출부

4.3 전체 시스템 모델링

메쉬접지 방식의 배전계통에 대한 전체 시스템의 구성은 그림 5와 같이 배전계통부(①), 수용가부(②), 뇌서지 발생장치부(③), 과도접지 임피던스 검출부(④)로 구성된다. 뇌서지 발생장치부는 접지시스템에 시험전류를 인가하기 위한 전류원으로 주파수를 가변 할 수 있도록 인버터 형태로 구성하였고, 전위상승 측정시스템은 접지시스템의 지표면상에서 전류 유입에 따라 발생하는 전위상승을 측정하기 위한 것이다.



[그림 5] 전체 시스템 모델링

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제시한 메쉬접지 형태의 배전계통에서 과도접지 임피던스 개선 알고리즘에 대한 유효성을 확인하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. 여기서, 메쉬접지는 150[mm²]의 나동선으로, 매설깊이는 1[m]로 상정한다. 또한, 한 변의 길이는 5 [m], 전체길이는 20[m]인 하나의 정방형으로 상정한다. 한편, 뇌서지 발생장치는 전압 20[kV]를 기준으로, 주파수 25[kHz] 및 1[MHz]를 출력한다.

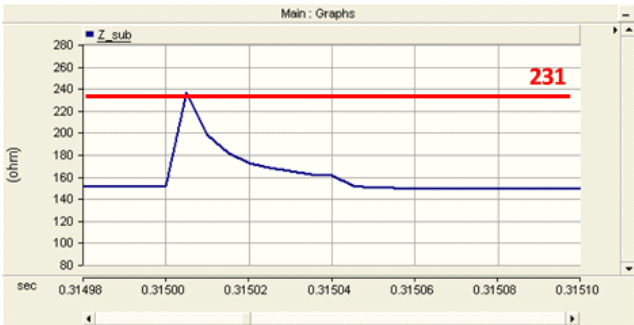
[표 1] 시뮬레이션 조건

항 목		내 용
메쉬접지	선종	BC-Wire 150 [mm ²]
	매설깊이	1 [m]

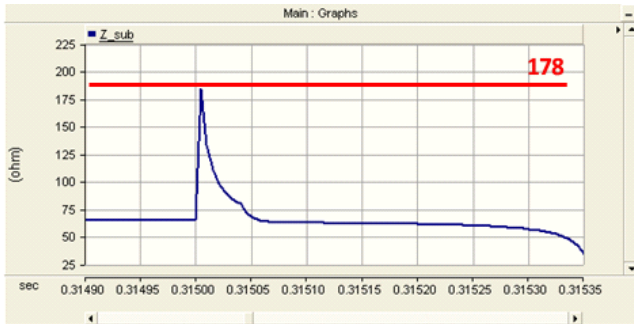
	한 변의 길이	5 [m]
	단위 길이	20 [m]
	면적	25 [m ²]
뇌서지 발생장치	Vpeak: 20[kV] Frequency: 25[kHz], 1[MHz]	
태양광전원	100[kW]	

5.2 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 특성

메쉬접지 형태의 배전계통에서 25[kHz]의 뇌서지를 인가하는 경우의 과도접지 임피던스 특성은 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6(a)는 기존의 메쉬접지의 과도접지 임피던스 특성, 그림 6(b)는 제안한 알고리즘에 의한 메쉬접지의 과도접지 임피던스 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 기존의 메쉬접지에서는 25[kHz]의 뇌서지가 인가됨에 따라 접지 임피던스가 최대 231[Ω]까지 상승하지만, 제시한 알고리즘에 따라 메쉬접지를 구성하면 접지 임피던스의 최대값이 178[Ω]으로 감소하는 것을 알 수 있다.



(a) 기존 메쉬접지 방식



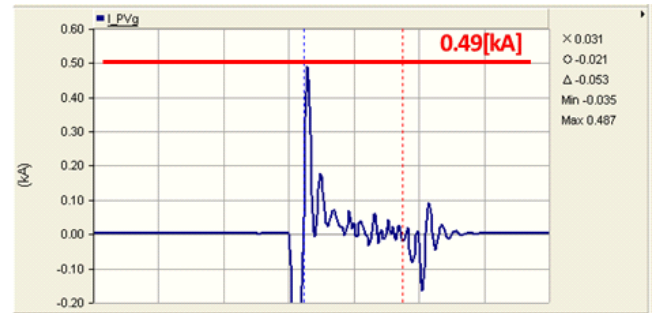
(b) 제안한 알고리즘에 의한 방식
[그림 6] 뇌서지에 의한 과도접지 임피던스 특성

한편, 메쉬접지 형태의 배전계통에서 25[kHz]의 뇌서지를 인가하는 경우, 태양광전원으로 유입되는 서지전류 특성은 그림 7과 같다. 여기서, 그림 7(a)는 기존의 메쉬접지의 서지전류 특성, 그림 7(b)는 제안한 알고리즘에 의한 메쉬접지의 서지전류 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 기존의 메쉬접지에서는 25[kHz]의 뇌서지가 인가됨에 따라 태양광전원에 최대 0.51[kA]의 서지전류가 유입되지만, 제시한 알고리즘에 따라 메쉬접지를 구성하면 서지전류의 최대값이 0.49[kA]으로 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서

제시한 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘이 유효함을 알 수 있다.



(a) 기존 메쉬접지 방식



(b) 제안한 알고리즘에 의한 방식
[그림 7] 뇌서지에 의한 서지전류 특성

6. 결 론

본 논문에서는 고주파 대역에서의 과도접지 임피던스를 산정하기 위하여, 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 정식화를 수행하고, 이를 바탕으로 과도접지 임피던스를 감소시키기 위한 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 개선 알고리즘을 제시한다. 또한, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC S/W를 이용하여 배전계통부, 수용가부, 뇌서지 발생장치부, 메쉬접지 과도접지 임피던스부 등으로 구성된 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 개선 알고리즘 및 모델링을 바탕으로 메쉬접지 형태의 과도접지 임피던스 특성을 분석한 결과, 제시한 알고리즘을 통해 고주파 대역에서 메쉬접지의 과도접지 임피던스를 개선할 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 신동호, 김용, 정철희, 조대훈, 김필수(1999) “서지 전류에 의한 접지계의 과도응답 특성 및 접지저항 비교” 대한전기학회 pp. 222-225, 1999.11
- [2] 곽충근 외4, “배전계통에서 접지망 형태에 따른 과도접지 임피던스 모델링에 관한 연구”, 한국산학기술학회, Vol. 23, 1-9, 2022.