

접지 임피던스의 영향분석에 관한 연구

장명수 · 박건우 · 김철환
성균관대학교

A Study on the Grounding Impedance Effects and Its Characteristics

Myong-Soo Chang · Keon-Woo Park · Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - This paper presents the characteristics and effects of grounding resistor and impedance. In grounding system, Grounding resistor is governed neutral currents and voltage. It seems that, grounding resistor has 0 value, then circuit has no faults. While if grounding resistor has large value, then neutral current has large value of fault current and it is made a damage to the utility. In order to analyze the grounding impedance characteristic, EMTP simulation has been used. The grounding impedance characteristic has been analyzed and tested for various grounding arrangements and electrode circuit shapes.

1. 서 론

정보화 사회인 현대 사회에 있어서 전기를 이용한 다양한 전기 설비, 정보통신 설비, 자동차 설비 등은 현대 사회에서 중요한 역할을 차지하고 있으며 그 중요도는 점차 증대되고 있다. 하지만 현대사회의 핵심요소로서 자리 잡은 절단 설비들은 종래의 기기에 비하여 과전압에 매우 취약한 특성을 가지고 있어 장애 발생 시에 대규모의 혼란과 막대한 경제적 손실을 야기할 것으로 예상되며, 전기 에너지를 이용함에 따라 매년 많은 감전 사고가 발생하여 인명 피해를 가져 왔다. 사람 및 전기설비기의 안전을 확보하고 그 이용의 효율을 높이기 위한 효과적인 고장능의 접지 시스템은 그 중요성이 점차 증대되어 왔고 이는 현재에 와서는 필수적인 시스템 요건이 되었다. 접지 시스템은 크게 계통접지, 기기접지, 뇌보호용 접지 등 안전을 목적으로 하는 접지와 노이즈 대책용 접지, 전위 기준용 접지, 방송국용 접지 등 기능을 목적으로 하는 접지로 나눈다. 접지를 이용하여 전력설비의 지락사고나 절연불량, 뇌서지 등과 같은 과전압으로부터 인체의 감전 보호는 물론이고, 전력 설비나 사회 시스템의 신경 역할을 하는 정보통신 제어설비를 효과적으로 보호할 수 있기 위해서는 접지 시스템에 대한 이해가 필요하다. 이는 접지 전극과 대지 사이에 작용하는 직류에 대한 접지 저항에 대한 이해뿐만 아니라 더 나아가 교류에 대한 접지 저항, 정확하게는 접지 임피던스에 대한 이해까지 요구하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 효율적인 접지 시스템을 구성하기 위한 접지 저항의 특성 및 작용에 대해 조사 하였으며, 접지에서의 직류에서 고조파까지 폭넓은 성분의 특성과 영향을 분석하기 위한 접지 임피던스에 대한 해석이 이루어 졌다. EMTP를 이용하여 다양한 접지 임피던스 값을 통한 시뮬레이션을 수행하여 접지 임피던스의 특성을 조사하였다. 이를 통해 접지 임피던스의 영향을 분석하고자 하며, 분석된 자료는 효율적인 접지 시스템 구성을 위한 접지 전극 회로의 설계에 활용될 수 있을 것이다.

2. 접지 저항 시뮬레이션

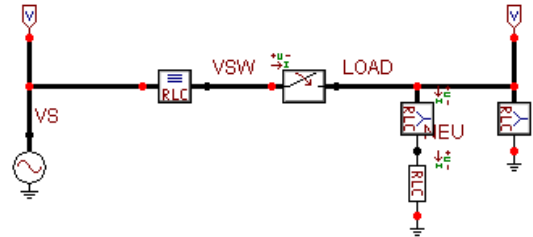
2.1 EMTP

EMTP는 전력계통의 과도현상을 해석하기 위해 개발된 수리 계산용 시뮬레이션 프로그램으로 정상상태 및 고조파 분석, 기기 및 설비의 특성 분석도 가능하다. 최초 개발 목적은 전력계통의 썬더현상을 해석하는 것이었으나 그 후 동기발전기, 회전기기, 싸이리스터, 제어계의 모델이 추가되었고, 터빈 발전기의 SSR(SubSynchronous Resonance)모델과 교류-직류 전력변환기의 해석, 고조파 해석까지 할 수 있는 기능이 보강되었고, 심볼에 의한 GUI(Graphic User Interface)방식인 ATPDraw가 개발되어 범용화가 되고 있다.

2.2 시뮬레이션 구성 및 방법

접지 저항 시뮬레이션은 ATPDraw를 이용하여 기본적인 전기 회로의 접지 시스템을 설계한 후, 접지 전극의 저항값에 다양한 값을 입력하여 지락사고 발생 시 저항값에 따라 변화하는 중성선 전류와 전압 파형의

특성을 분석, 접지 저항이 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 34.5kV의 전압을 인가하였고 회로의 단자는 두 개의 why-why 결합에 의해 연결되어 있다. 접지는 회로의 중성선을 통하여 이루어지며 접지로 RLC소자가 연결되어 있다.



<그림 1> 시뮬레이션을 위한 모델 계통

<표 1> 모델의 접지 저항 값 및 지락사고시의 전위상승 값

| | R[Ω] | | | | |
|-------|------|-----|-------|------|------|
| 접지 저항 | 0 | 10 | 100 | 1000 | ∞ |
| 전위 상승 | 0 | 2kV | 9.5kV | 14kV | 14kV |

2.3 결과 및 고찰

접지란 여러 종류의 전자, 전기, 통신 설비기기를 대지와 전기적으로 접속하는 것이며, 접속하기 위한 터미널이 접지 전극이다. 이 전극이 대지와 사이에 전기저항, 소위 접지 저항을 가지기 때문에 지락전류에 의해서 옴의 법칙에 따라 전위상승이 발생하게 된다[1]. 전위상승이 발생하게 되면 전기 설비에 과전류가 흐르게 되며 이는 여러 가지 장애를 일으키는 원인이 된다. 다양한 접지 저항값을 시뮬레이션의 모델 계통에 입력하여 수행한 결과, 지락사고 발생 시 전기회로의 Neutral line의 전압 크기의 변화를 관찰하면 <표 1>과 같이 접지 저항 값이 작아질수록 전위상승의 크기가 작아지는 것을 확인 하였다. 이상적으로 접지저항이 0이 된다면 접지 시스템의 효율적인 대지와와의 접속으로 인하여 어떠한 전기 장애도 발생 하지 않을 것이다.

3. 접지 임피던스 시뮬레이션

3.1 접지 임피던스

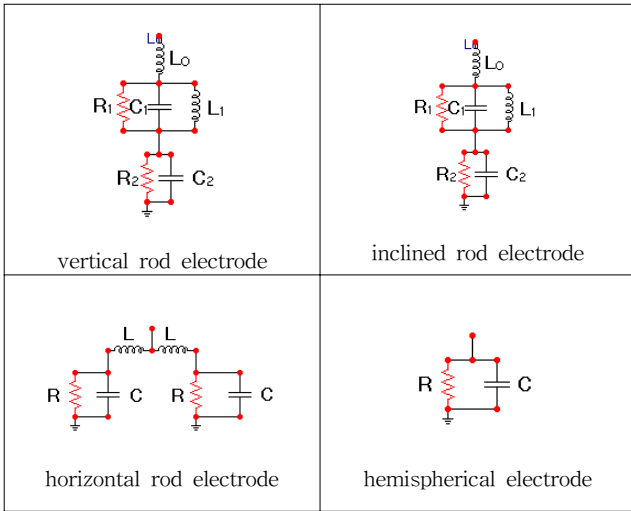
접지 현상은 대지를 포함한 회로로 이해를 하여야 하는데 이는 3차원적으로 확산된 연속 매질이라는 점으로 특징 되어 진다. 따라서 일반적인 직류 성분의 해석에서도 3차원적인 해석이 이루어 져야 하는데, 문제는 주파수가 높아지면 전류의 3차원적 분포가 영향을 받아 변화한다는 것이다. 주파수의 전류에 대한 영향은 교류 전류가 지중으로 침투하는 데에 제한을 주게 된다. 교류 전류의 침투 깊이는 다음 식 (1)과 같이 계산된다.

$$l = \frac{1}{\sqrt{\omega \sigma \mu}} \text{ [m]} \quad (1)$$

여기서 l 은 대부분의 전류가 흐르고 있는 깊이이고 $\omega = 2\pi f$ 에서 f 는 주파수[Hz], σ 는 대지의 전도율로서 대지 저항률의 역수, μ 는 대지의 투자율이 된다. 따라서 대지 저항률이 낮을수록, 주파수가 높아질수록 교류 전류의 지중으로의 침투는 얕아지고 접지 시스템의 효율은 낮아지게 된다. 접지 임피던스의 영향을 분석하여 고조파 성분에 대한 해석을 필요로 하게 되었다.

3.2 시뮬레이션 구성 및 방법

<그림 1>의 시뮬레이션을 위한 모델 계통에서 접지 저항에 사용한 RLC소자를 대신하여 다양한 종류의 임피던스 영향을 분석하기 위한 <그림 2>의 접지 전극을 연결하였고, 각각의 경우 <표 2>의 회로 변수를 입력하여 시뮬레이션을 수행 하였다[2].



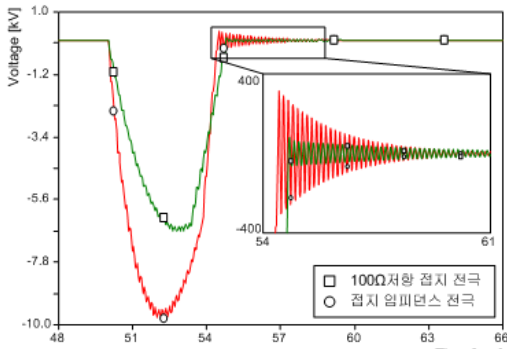
<그림 2> 다양한 접지 전극 모델

<표 2> 회로 상수 표

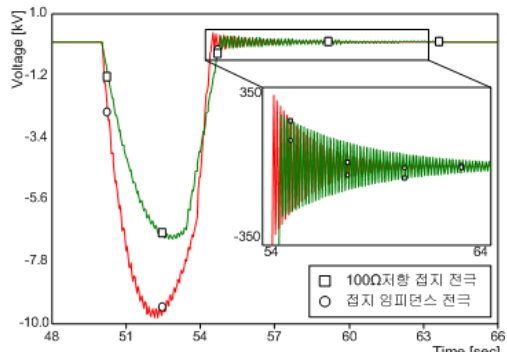
| | R[Ω] | | L[μH] | | C[nF] | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | R ₁ | R ₂ | L ₀ | L ₁ | C ₁ | C ₂ |
| Vertical Rod | 70.6 | 43.2 | 0.38 | 0.08 | 1.01 | 1.29 |
| Inclined Rod | 77.4 | 46.7 | 0.38 | 0.07 | 1.29 | 1.53 |
| Horizontal Rod | 183.54 | | 0.88 | | 0.3405 | |
| Hemispherical | 157.46 | | - | | 0.288 | |

3.3 결과 및 고찰

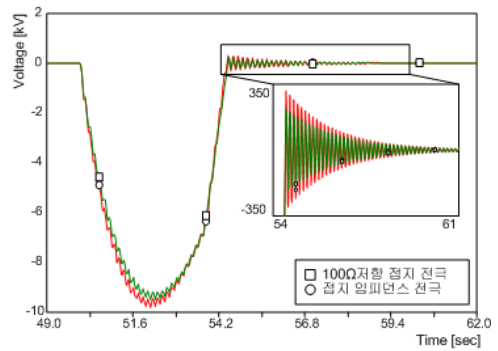
접지 임피던스에 대한 시뮬레이션 결과 지락사고가 발생하는 순간 나타나는 중성선 전압에 대한 파형은 각각의 경우 <그림 3>과 같이 나타난다.



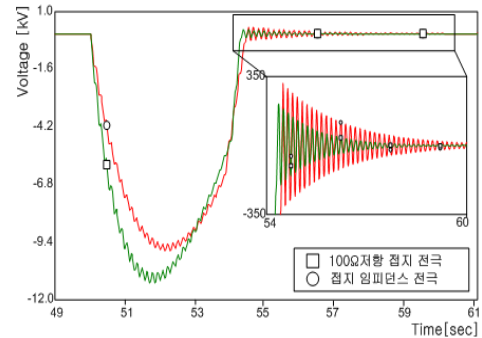
(a) Vertical rod electrode



(b) Inclined rod electrode



(c) Horizontal rod electrode



(d) Hemispherical electrode

<그림 3> 전극에 따른 Neutral Voltage Wave

<그림 3>의 결과를 분석하여 보면, 접지 전극 내부 저항값의 증가로 전위 상승값은 100Ω의 저항만을 가지는 경우에 비하여 증가 하였다. 하지만 전압파형에 나타나는 고조파 성분은 접지 임피던스 개념을 적용하여 설계한 접지 전극들에서 더 작게 나타났다. 고조파 성분이 사라지는데 걸린 시간을 분석해 보면, 임피던스 접지 전극들이 저항 접지 전극과 비교하여 고조파 성분의 값은 작게 나오지만 경우에 따라 고조파 성분이 없어지는데 걸린 시간이 저항 접지 전극 보다 더 오래 걸리는 경우도 있었다. Spherical electrode의 경우 100Ω 저항만을 사용한 경우보다 내부 저항값이 증가하여 전위 상승값은 더 크게 나타났지만, 고조파 성분의 크기는 작게 나타났으며 고조파 성분이 사라지는데 걸린 시간은 다른 4가지 전극의 경우 중 가장 빠른 것으로 나타났다. 접지 저항이 적을수록 전위 상승은 작게 일어나지만, 접지 임피던스는 전위 상승값만이 아닌 고조파 성분에도 영향을 주는 것을 확인 하였다.

4. 결 론

본 논문에서 접지 임피던스의 영향분석을 위한 EMTP 시뮬레이션의 결론은 다음과 같다.

1. 접지 저항은 설비와 대지간의 전기적 저항을 말하며, 접지 저항값이 작을수록 설비와 대지간의 소통이 원활 하여 전기적 장애가 줄어들게 된다.
2. 접지 임피던스는 접지 시스템 내에서 DC성분에 영향을 미치며, 고조파 성분을 유발시키게 된다. 사고 발생시, 전위 상승값의 크기를 결정하며 고조파 성분의 크기와 그 지속 시간을 결정 하게 된다.
3. 접지 시스템에서 사용하는 전극에 접지 임피던스의 특성을 적용할 경우 저항만을 이용하여 접지 전극을 구성하는 경우에 비해 전위 상승값은 줄이고 고조파 성분의 영향을 감소시키게 되어 교류 전류의 지중 침투 능력을 높여서 효율적인 접지 시스템의 구현을 가능하게 만들 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] J.C. Das, and Richard H. Osman, "Grounding of AC and DC Low-Voltage and Medium-Voltage Drive Systems", IEEE TRANS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 34, NO. 1 JANUARY/FEBRUARY pp.205-216, 1998
 [2] M. Nayel, A. Ametani, Y. Baba, N. Nagaoka, S. Sekioka, "A Study on a Mutual Grounding Impedance and Its Transient Characteristic", Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES Volume 2, 6-10 pp.1270-1275, Oct. 2002,