

정상시 접지계통의 접지 임피던스 특성

김재이*, 고영혁*, 고영권*, 김정부**, 장길조**, 기현찬**, 최종기**
 동신대학교 정보통신공학부*, 한국전력공사 전력연구원**

Ground Impedance Characteristics for Grounding System on Power Substation

Jae-yeo Kim, Young-hyuk Ko, Young-gwon Ko, Jeong-bu Kim, Kil-jo Jeong, Hyun-chan Ki, Jong-ki Choi
 Dept. of Information & Communication Eng. Dongshin Univ.*. Korea Electric Research Institute**

Abstract -본 논문에서는 접지 모델을 활용하여 접지계의 임피던스 임피던스를 계산하고, 선로 임피던스에 연결된 접지 임피던스의 반사계수를 계산하여 대지로 유입되는 분류율을 평가하였다. 따라서 접지 저항을 낮추는 경우 정상시 전위 상승 효과를 줄일 수는 있지만 위험전압의 인가시에는 인축의 안전과 기기의 절연 측면에서 악조건이 될 수 있다. 또한 접지 모델에서 용량의 변화와 접지 저항의 변화에 따른 반사계수의 변화를 확인하였고, 상용 주파수 근처에서는 저항 성분만 존재하고 리액턴스효과는 없음을 확인하였다.

가 있다. 이를 위해 그림 2.1과 같이 상용주파 접지와는 별도로 보조접지방, 즉 전류유입점 부근에 접지도체를 많이 포설해야 하며 도체에 의한 전압강하 $\Delta V_{conductor}$ 를 줄여 접지도체전위를 저감시키는 방법이다. TGPR 저감을 위한 또다른 방법은 토양내의 전계 세기가 한계값을 넘어설 때 발생하는 토양 이온화 또는 지중방전 현상을 이용하는 것이다. 즉, 지중방전이 잘 일어날 수 있도록 만들어진 특수전극(침상전극)을 사용함으로써 지중방전에 의해 순간적으로 많은 전류를 대지로 흘려, 토양에서의 전압강하 ΔV_{soil} (그림 2.1)을 순간적으로 작게 만드는 방법이라 할 수 있다.

1. 서 론

접지 설비에 있어서 접지를 하고자 하는 전기·전자 기기 또는 설비와 대지 사이의 접속이 양호한가 또는 양호하지 않은가를 나타내는 지표로 접지저항으로 나타낸다. 접지저항이 낮을수록 대지와 접속이 양호한 경우를 접지가 잘 이루어진 것으로 본다. 접지에 의한 대지와 접지전극 사이의 저항, 즉 접지저항은 일반적으로 사용하는 회로용 저항기의 특성에 비해 매우 복잡한 비선형의 특성을 갖고 있다. 이는 접지저항이 토양의 불확정한 인자들의 영향을 받기 때문이다. 이와 같이 접지저항은 대지의 구조, 온습 상태, 접지전극의 형상, 매설조건 등에 의해서 복잡한 특성을 나타내기 때문에 그 값을 정량적으로 표현하는 것은 곤란한 경우가 많다. 접지시스템은 접지를 하고자 하는 전기·전자기와 설비, 접지전극 그리고 이들 상호간을 연결시켜 주는 접지 도선으로 구성되어 있으며 접지 전극에 흐르는 접지전류의 주파수에 따라서 접지의 특성은 변화한다. 특히 고주파수의 접지전류에 대해서는 접지전극의 형상과 길이, 매설방법 등에 따라 단지 토양의 특성에 관련된 접지저항만으로 나타내면 안되고, 접지를 구성하는 모든 구성요소에 대한 접지임피던스로 평가해야 한다.

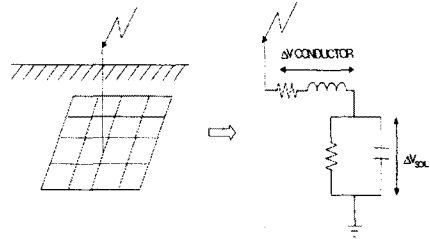


그림 2.1 접지방의 간략화 회로모델

따라서, 본 논문에서는 이와 같은 여러 요소들이 측정의 정확성에 영향을 미치기 때문에 모델링을 통해 평가 분석하고 접지임피던스의 실측 및 접지공사에 필요한 고려사항을 제안하였다.

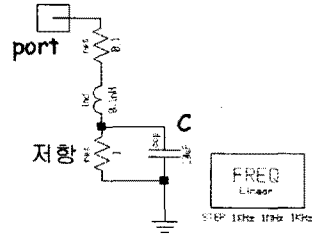


그림 2.2 접지방 등가회로

2. 접지임피던스 모델링과 등가회로

접지저항은 전력 계통에 있어서 뇌 썩어지를 해석하는 데 가장 기본적으로 중요한 요소이다. 특히 송·배전선의 뇌사고율이나 변전소에서의 절연 상태는 접지저항의 영향을 크게 받는다. 뇌 썩어지 해석에서 이용되고 있는 뇌격전류 피크치는 수 kA에서 수 100kA이고, 이같은 임펄스성의 대전류에 대해서는 접지저항의 전류의존 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

따라서, 정확한 뇌썩어지 해석을 행할 때는 접지저항 모델을 이용할 필요가 있다. 썩어지에는 고주파성분이 포함되어 있기 때문에 썩어지의 접지계 유입시 TGPR (Transient Ground Potential Rise)는 상용주파 접지저항 뿐만 아니라 고주파 접지임피던스를 저감시켜야 할 필요

3. 모델링 해석

접지계는 고장 전류 유입에 의한 접지극의 전위상승을 억제함으로써 전력기기 보호와 절연 파괴 방지의 측면에서도 고려되어야 하며, 특히 전력 계통에는 상용 주파수 대역의 고장 전류 뿐만 아니라 차단기의 동작이나 낙뢰의 침입 등으로 인한 고주파 성분이 포함된 썩어 전류도 발생하게 되므로 썩어 전류 유입에 의한 전위 상승 억제가 매우 중요하다.

일반적으로 상용 주파수에서의 대지는 입력 전류의 크기에 따라 일정한 저항체로 다루어 질 수 있으며, 접지

도체 임피던스도 무시할 수 있고, 접지 도체 전체가 동전위로 볼 수 있다.

그러나, 낙뢰나 썬지 전류 유입시에는 썬지 전류의 주파수가 수 백kHz이므로 접지 도체 임피던스(특히 인덕턴스)에 의한 전압 강하가 크게될 뿐 아니라 썬지 전류 유입점의 도체 전위가 매우 많이 상승할 것으로 알려져 있다. 따라서 썬지 전류에 의한 접지망의 임피던스는 달라질 수 밖에 없고, 운전중인 변전소의 안전 측면에서 정확한 접지 임피던스 측정, 정확한 전류분류율 측정, 위험 전압 측정이 요구된다.

본 논문에서는 실측 전에 접지 도체의 주파수에 따른 응답 특성을 이해하고, 가장 효과적으로 전류를 대지로 누설시키는 접지 모델 특성을 파악하여 접지 전위를 억제하기 위한 접지 도체 배열 등 새로운 접지 모델을 제안하고자 한다.

접지 시스템의 등가회로는 그림 2.2와 같고 저항, 포트(선로임피던스), 콘덴서를 변화시켜 모의실험을 했다.

서 40Ω를 나타내고 있지만 주파수가 올라감에 따라서 임피던스가 급격하게 낮아지고 있다.

따라서, 접지모델에서 접지저항이 40Ω인 경우 상용주파수에서 접지임피던스는 선로임피던스 50Ω과 정합이 잘 이루어져 있음을 알 수 있다.

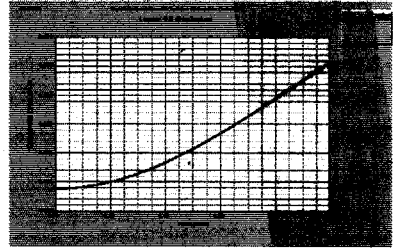


그림 3.4 저항 1Ω, port 50Ω(s11),
C = 0.1μF

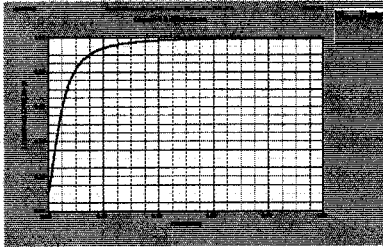


그림 3.1 저항 40Ω, port 50Ω(S11), C = 0.1μF

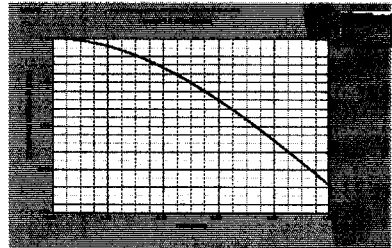


그림 3.5 저항 1Ω, port 50Ω(Z11), C = 0.1μF

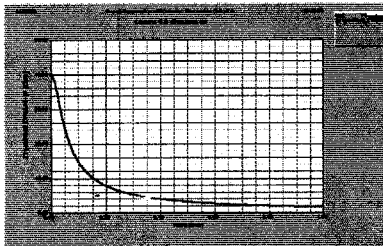


그림 3.2 저항 40Ω, port 50Ω(Z11), C = 0.1μF

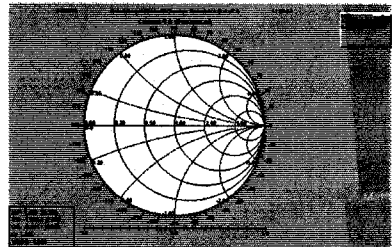


그림 3.6 스미스차트 (저항 1Ω, port 50Ω, C = 0.1μF)

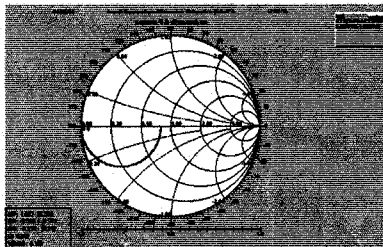


그림 3.3 스미스차트 (저항 40Ω, port 50Ω, C = 0.1μF)

그림 3.1, 3.2, 3.3과 같이 저항 40Ω, port 50Ω, C = 0.1μF일 때 반사계수가 저주파에서 0.1 ~ 1 까지 민감하게 변화하고 있고 200kHz 이상에서는 반사계수가 1에 가깝다. 그리고, 스미스 차트에서는 주파수 변화에 따라 리액턴스 성분이 변하고 있고 입력임피던스는 저주파에

변전소와 같은 접지시스템에서 지락전류나 고장전류의 유입이 있을 때 변전소 전력계측 시스템에 커다란 문제가 발생할 수 있음을 예측할 수 있다.

그림 3.4, 3.5, 3.6과 같이 저항 1Ω, port 50Ω, C = 0.1μF 일 때 반사계수는 0.957 ~ 0.968 까지 변하고 있으며, 주파수 0 ~ 1MHz에서 선로 임피던스 50Ω과 정합이 이루어지지 않고 있다. 입력 임피던스 변화는 주파수 변화에 따라 1.1 ~ 0.93Ω의 변화를 나타내지만 접지 임피던스의 변화가 거의 없다.

또한 스미스차트에서도 주파수변화에 따른 리액턴스 성분은 변화가 거의 없다. 접지 모델에서 접지저항이 1Ω인 경우, 상용주파수에서 접지임피던스는 선로임피던스 50Ω과 정합이 이루어지지 않고 있다.

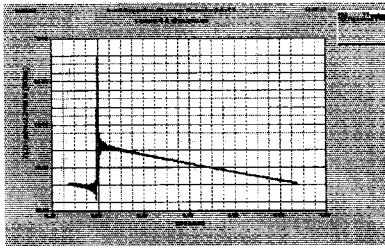


그림 3.7 저항 40Ω, port 50Ω(Z11) C = 0.1μF IMPULSE

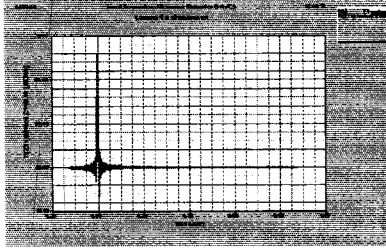


그림 3.8 저항 40Ω, port 50Ω(Z11) C = 10μF IMPULSE

그림 3.7의 저항 40Ω, port 50Ω, C = 0.1μF와 그림 3.8의 저항 40Ω, port 50Ω, C = 10μF에서는 임펄스를 인가했을 때 컨덴서 용량이 0.1μF인 경우 정상 임피던스에 도달하는 시간이 짧다.

그러나, 순간적으로 수 MΩ의 입력저항을 갖는다.

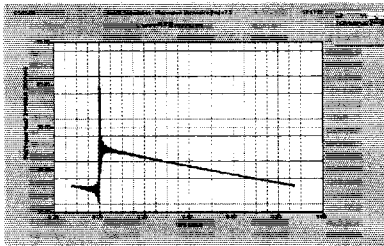


그림 3.9 저항 40Ω, port 100Ω(Z11) C = 0.1uF IMPULSE

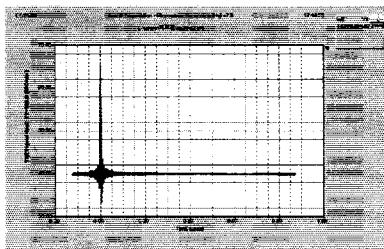


그림 3.10 저항 40Ω, port 100Ω(Z11) C = 0.1uF IMPULSE

또한, 그림 3.9의 저항 40Ω, port 100Ω, C = 0.1μF와 그림 3.10의 저항 40Ω, port 100Ω, C = 10μF에서는 임펄스를 인가했을 때 그림 3.7과 그림 3.8에서와 같이 10μF인 경우 정상 임피던스에 도달하는 시간이 짧다. 즉, 접지 임피던스와 선로 임피던스의 차가 크면 클수록 반사계수가 커지지만 임펄스 인가시에 정상 임피던스 도달 시간은 거의 변화가 없다.

따라서, 콘덴서 용량이 작은 접지시스템인 경우 지락 전류, Noise 전류, 유도전류, 썬어지 전류 등의 유입이 있을 때 접지저항으로 인한 전위 상승으로 시스템의 장애를 일으키고 변전소 등 접지 시스템 근처에서 근무하는 사람의 인명사고나 장비의 파손도 예측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 수행한 주요 연구결과는 다음과 같다.

- ① 접지저항이 적을수록 등전위가 작고 위험하지 않다.
- ② 접지저항이 적을 경우 선로임피던스와 접지임피던스의 정합문제에 위험전압이 발생시 큰 반사가 생긴다.
- ③ 접지저항이 크면 클수록 그리고, 용량이 클수록 임펄스의 응답에서 정상 임피던스에 도달하는 시간이 늦다. (즉, 위험전압이 오랫동안 걸러있다)
- ④ 분류율은 임피던스 정합문제에 접지임피던스가 낮을수록 정합이 되지 않으므로 더욱더 높아진다. (변전소의 경우 임피던스가 낮으므로 고장전류가 있는 경우 문제점이 발생할 수 있다.)
- ⑤ 접지저항이 낮은 경우에 용량의 변화 C = 0.1μF, C = 10μF로 변화시켜도 유도성이나 용량성의 변화가 없다. (변전소의 접지 임피던스는 매우 낮기 때문에 유도성이나 용량성을 무시할 수 있다.)
- ⑥ 접지저항이 큰 경우에 용량의 변화 C = 0.1μF, C = 10μF로 변화시키면 용량성의 변화가 크게 나타난다.

분석 결과에 따라 변전소와 같이 접지저항이 1Ω 정도의 매우 작은 경우 고주파 성분이 포함된 썬어지 전류가 인가되어도 리액턴스의 영향을 받지 않았다. 그러나 선로임피던스와의 정합문제에서 접지저항이 작을수록 선로 임피던스와의 정합이 어렵기 때문에 고장전류 유입시 위험을 초래할 가능성이 더욱 더 높으므로 지락 전류나 썬어지 전류 등의 발생시 접지 저항으로 인한 전위 상승으로 현장에 맞는 설계가 고려되어야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이복희, 이승철, 접지의 핵심기초기술, p.65, 도서출판 의제, 1999
- [2] Ontario Hydro, "A review On Testing And Evaluating Substation Ground System", IEEE PAS, 1992
- [3] 전력연구원, 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구-축소형 변전소 접지설계 및 표본변전소 실증시험, p.7, 전력연구원, 1998
- [4] 전력연구원, 축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구-최종 보고서, p.7~11, 전력연구원, 1998