

대지귀로 전류에 의한 전력선과 통신선의 상호임피던스 해석

임용훈·현덕화
한국전력공사 전력연구원

Calculating Mutual Impedance between Power-Line and Communication-Line with Earth Return Current

Yong-Hun Lim, Duck-Hwa Hyun
KEPRI, KEPCO

Abstract - A method for calculation of mutual inductance from the parallel power-line and earth conduct to communication-line is studied in the paper. The solution for the electromagnetic field produced by an overhead power-line is derived using Maxwell's equations and treating the as a boundary value problem. Total mutual inductance from direct current and image current to communication-line is used Carson's formula for infinitely long parallel conductors

전자유도에 의한 유도기전력을 구하기 위해서는 도체(전력선)에 전류 I가 흐르는 무한장 도체에 기인한 성분과 대지 중에 형성된 영상전류에 의한 성분의 합으로 이뤄진다는 것을 알 수 있다.

1. 서 론

전력공급을 목적으로 하는 송·배전선로는 높은 전기적 에너지 밀도를 갖게 되며 도체의 고전압은 그 주위에 전기장과 자기장을 형성하게 된다. 전기장 중에 놓여있는 다른 모든 도체에 대해서 전위를 형성하거나, 큰 전류는 그 주위에 자기장을 만들어 이 자기장 영역 안에 존재하는 다른 도체에 전자유도를 발생시킨다. 자기장에 의한 유도기전력은 인접한 통신선로에 잠음형태로 나타나게 되며 전력선에 의한 대표적인 유도장해이다.

국내 전력 전송방식은 송·배전선로가 직접접지방식으로 구성되어져 지락과 같은 고장전류나 특고압배전선로 부하 불평형전류가 대지와 접지되어진 중성점을 통해 전원측으로 흐르는데 이 대지귀로전류가 전자유도를 발생시키는 유도된 전류가 된다. 대지도전류가 유한한 경우 전력선과 주변 도체에 대한 상호인덕턴스를 해석하는데 사용되어지는 카슨-폴라체크 실험식으로 대지전류를 갖는 전력선과 통신선간의 상호인덕턴스를 분석하였다.

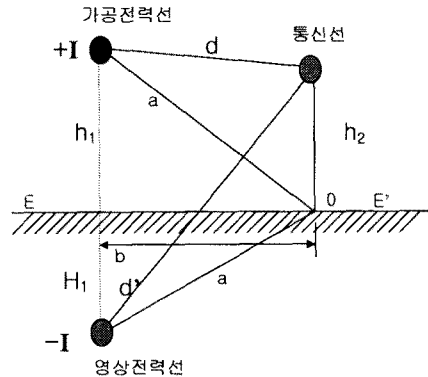
2. 본 론

2.1 대지귀로전류와 도선간의 전자유도

전류는 루프회로를 형성하여 흐르게 되는데 대지귀로와 같이 부하측에서 전원측으로 흐르는 전류의 경우 도선과 대지에 흐르는 전류에 의한 자속을 각각 고려하여야 한다. 도체를 귀로로 하는 경우 두 전류의 방향이 서로 반대이므로 양측의 자속은 서로 상쇄되어 유도전압은 극히 작거나 발생하지 않으나 대지를 통한 귀로는 대지가 완전도체가 아니므로 분산되어 흐르게 되며 이 영상 회로에 의한 자속은 지상 도체에 비해 매우 적게 되어 큰 전자유도를 발생하게 한다.

전자유도전압의 크기를 예측하는 경우에 기본이 되는 도선배치는 대지상에 평행한 두 도선으로 볼 수 있다. 대지를 완전도체로 보고 무한 길이의 두 회로 즉, 전력선과 대지로 이루어진 1개 회선과 통신선과 대지로 구성된 또 하나의 회선이다. 전력선에는 전류(+I)가 흐르고 통신선은 전력선과 평행하다면 대지를 통해 돌아오는 전류는 대지표면에 모여서 흐르고 (+I)의 대지면에 대한 영상의 위치에 (-I)의 전류가 집중해서 흐르는 것으로 가상하면, 공중의 1 전자계를 (+I)와 (-I)만으로 해석할 수 있게 된다.

대지상에 평행하고 전력선과 평행한 도체(통신선)와의



<그림 1> 대지상에 평행한 두 도선간의 배치도

2.1.1 가공전력선에 의한 통신선 상호 결합

무한장 도선에서 전류와 자계의 세기의 사이에는 암페어의 주회적분 법칙이 성립하게 되는데 임의의 반경 (ρ) 인 지점에 대한 자계의 세기는 식(1)과 같이 정의된다.

$$H = H_{\phi} a_{\phi} = \frac{I'}{2\pi\rho} a_{\phi} \quad (식 1)$$

직각좌표계로 변환한 무한장 도선에 기인한 자계성분은 (식2)와 같다.

$$H = \frac{I'}{2\pi\rho} \left(\frac{x}{\rho} a_x + \frac{(h-y)}{\rho} a_y \right),$$

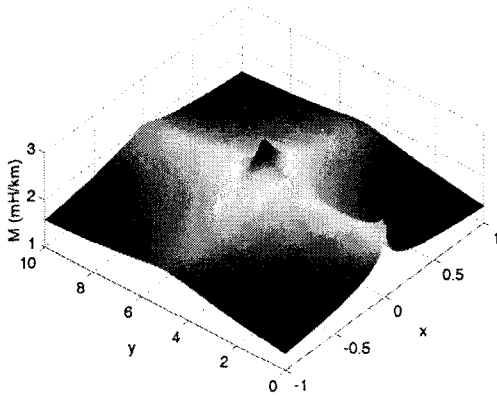
$$H_{x,o} = \frac{I'(h-y)}{2\pi\rho^2} = \frac{I'(h-y)}{2\pi(x^2+(y-h)^2)}, \quad H_{y,o} = \frac{Ix}{2\pi\rho^2} = \frac{Ix}{2\pi(x^2+(y-h)^2)} \quad (식 2)$$

무한장 도선에 흐르는 전류에 의해 생기는 자속 중 통신선과 대지에 채교하는 자속수에 의한 상호인덕턴스를 구할 수 있다.

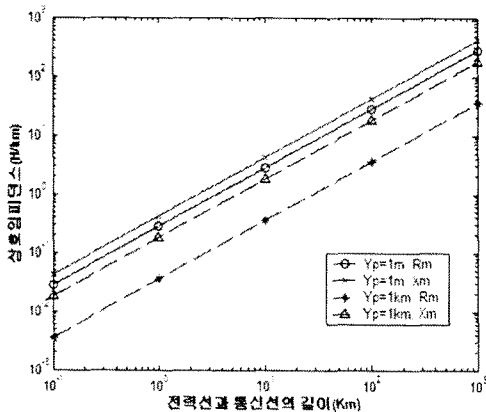
$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\ln \left(\frac{x_0^2 + (h_0 + y_0)^2}{x_0^2 + (h_0 - y_0)^2} \right) - 4j \frac{x_0^2 - (h_0 + y_0)^2}{(x_0^2 + (h_0 + y_0)^2)^2} \right. \\ \left. - \pi \left(\frac{Y_1(z_1) - H_1(z_1)}{z_1} + \frac{Y_1(z_2) - H_1(z_2)}{z_2} \right) \right] \quad (\text{식 7})$$

여기서 $z_1 = \sqrt{j}(h_0 + y_0 + jx_0)$, $z_2 = \sqrt{j}(h_0 + y_0 - jx_0)$ 이고 Y_1 은 제2종 1차 Bessel함수를 나타내며, H_1 은 제1차 Struve함수를 나타낸다.

(그림 5)는 전력선에 흐르는 전류의 주파수가 60Hz이고 대지도전율이 $\sigma = 10^{-2} (\text{U/m})$, 전력선의 높이가 대지면에서 5m 높이로 선택하였을 때 임의의 공간(x, y)에 놓인 통신선과의 상호인덕턴스를 나타내었다.

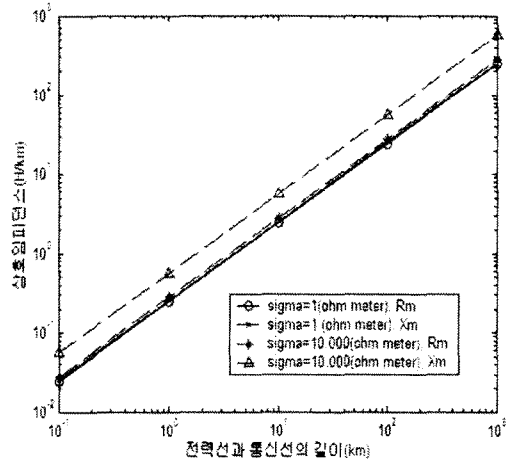


<그림 5> 가공전력선과 통신선간의 상호인덕턴스



<그림 6> 전력선과통신선간 이격거리에 따른 상호인덕턴스

$f = 60(\text{Hz})$, $\rho = 100(\Omega \cdot \text{m})$, $hc = 10(\text{m})$, $hp = 0(\text{m})$



<그림 7> 대지도전율을 변화에 따른 전력선과 통신선간의 상호인덕턴스

$f = 60(\text{Hz})$, $Yp = 10(\text{m})$, $hc = 10(\text{m})$, $hp = 0(\text{m})$

3. 결 론

지금까지 대지귀로전류를 갖는 무한도선에 흐르는 교류전류에 의한 통신선간의 상호인덕턴스를 계산하는 방법을 알아보았다. 전력유도에 관한 가장 중요한 요소가 바로 전력선에 흐르는 교류전류에 의한 상호유도작용임을 감안 할 때 정확한 상호인덕턴스를 해석하는 것은 필수적이다. 그리고 상호인덕턴스에 영향을 주는 두 도선간의 길이와 이격거리 그리고 대지도전율에 대한 의존도를 알아보았다. 위 (그림 6)과 (그림 7)에서 보듯이 두 도선간의 이격거리(Yp)와 대지도전율에 따라 상호인덕턴스값은 직접적인 영향을 받게 된다. 일차적으로 본 논문에서는 대지에 평행하고 서로 평행한 두 도선(전력선과 통신선)에 관한 상호인덕턴스를 해석하였다. 하지만 실제의 경우 두 도선이 나란히 평행하게 구성되어진 구간은 극히 일부분에 지나지 않는다. 두 도선간의 벌어짐 정도(angle)를 갖는 경우에 대한 상호인덕턴스에 대한 연구와 적용방법이 몇 차례 발표되었지만 국내에서는 아직까지 이 분야에 대한 연구가 이뤄지지 않고 있다. 일본의 경우 다케우치식을 활용한 상대적 등가 비교치를 사용하고 있다. 앞으로 국내 전력환경에 맞는 배치와 구조를 갖는 전력구조물과 통신선간의 병행구간에 대한 상호인덕턴스를 해석하고 국내 전력유도기준 적용하기 위한 연구가 필요하다 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국통신기술연구소, "특고압배전선에 의한 통신선의 유도장해방지에 관한 연구", 1979
- [2] Eldon J. Rogers, "Mutual Coupling Between finite lengths parallel or angled horizontal earth return conductors", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 4, pp103~113, 1989
- [3] ITU-T Directives Vol 2 "Calculating induced voltages and currents in practica cases, 1999