

초고압 송전선로의 자기해석에 관한 연구

*이주열, *고은영, *정호성, *신명철, **권명현
*성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부, **여주대학 전기과

Analysis of Magnetic Field on Ultra High Voltage ac Transmission Line

*Joo-Youl Lee, *Eun-Young Ko, *Ho-Sung Jung, *Myung-Chul Shin, **Myung-Hyun Kweon
*Sungkyunkwan Univ., **Yeoju Univ.

Abstract - Traditional magnetic field computation techniques assume that the current carrying power line conductors are straight horizontal wires. This assumption result in much errors. So this paper considered catenary curve for the dip of real transmission line. We have data from various position at transmission line, on the earth. And as far from transmission conductor an eddy current affect of the position are considered.

1. 서 론

전력수요가 증가함에 따라 전압이 초고압으로 승압 되고 이에 따라 여러 환경적 장애가 발생하고 있다. 전기환경 장애는 전계와 자계의 두영향으로 알려져있고 현재에도 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 상대적으로 자계에 대한 관심도가 떨어지는 것이 사실이었다. 전계가 인체에 미치는 영향이 전계보다는 자계에 의존한다는 연구결과에 따라 자계로의 관심이 커지고 있다.[3] 송전선로는 선로의 이도를 가지고 있고 여러개의 상과 크기가 다른 전류치와 위상을 가지고 운전되고 있다. Biot-Savart law은 자기해석을 하는데 널리 알려진 방법으로 이는 선로에서의 자계를 해석하는데도 유용하게 사용되었다.[5] 그 방법은 간단한 식으로 빠른 시간에 그 값을 측정할 수 있으나 실제의 측정치와는 오차를 가지고 있다. 그리고 실제로 선로의 이도를 고려하지 않고 무한평면에 평행한 직선으로 가정하고 계산한 경우였는데 좀더 정확한 계산값을 얻기 위해 실제 이도를 고려하여 자기해석을 해야할 필요가 있다. 본 연구는 Biot-Savart law를 기본 식으로 하여 선로를 직각좌표축에 적합하게 하여 모델링을하고 선로의 이도를 고려한 자계의 계산을 하였다. 그리고 송전선 아래 여러 가지 위치에서의 자계 계산을 수행하였다. 또한 송전선의 전류에 의해 발생하는 자계의 영향과는 달리 선로의 도체에서 먼 곳의 자계에 의한 와전류를 고려하여 자기해석을 하였다. 그러므로 송전선로의 도체에서의 자기계산을 위한 공식과, 선로에서 멀리 떨어진 지점과 지표면근처에서의 자기해석의 근사식을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 기본 방정식

그림1에서 보여준 (x_0, y_0, z_0) 점에서의 전류가 흐르는 단일도체의 자계는 일반적인 Biot-Savart law를 사용하여 계산할 수 있다.[1][2]

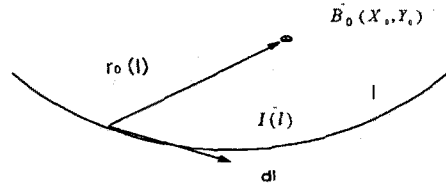


그림 1 Biot-Savart law 의 적용
Fig 1. Application of Biot-savart law

$$B_0 = \mu_0 \int_l \frac{I(l) dl \times a_0(l)}{4\pi |r_0(l)|^2} \quad (1)$$

- μ_0 자유공간에서의 투자율
- l 전류경로에 따르는 상수적위치
- $I(l)$ 선로전류
- r_0 원점에서 계의 측정점까지의 벡터값
- a_0 $r_0(l)$ 방향으로의 단위벡터값
- dl 전류의방향에서의미분요소

B. 현수선의 표현

동등한 높이의 두 첩탑사이의 도체의 정확한 형태는 그림2에서처럼 최고높이 H, 최소높이 h, 도체의 이도 s, 선로의 연장 L로 표시할 수 있다. 선로의 이도를 정확하게 표현하기 위해서 xyz직각좌표계의 원점은 현수선의 평면에 고정되어야한다. x-y평면상에서 y축에 대하여 선로는 대칭이고 다음방정식으로 표현할 수 있다

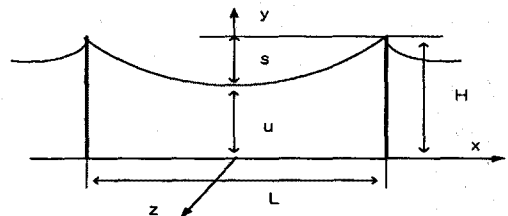


그림 2 catenary 상수를 결정하는 선로 차원
Fig 2. Linear dimensions which determine parameters of the catenary

$$y' = \frac{1}{a} \cosh(ax) \quad (2)$$

상수 a는 $a = \frac{1}{h+y_d}$ 이고

y_d 는 대지전위와 현수선의 직각좌표계의 원점사이의 거리이다.

$$\frac{H+y_d}{h+y_d} - \cosh\left(\frac{L}{2(h+y_d)}\right) = 0 \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{a} \cosh(ax) - y_d \quad (4)$$

직각좌표계에서 곡선이 x-y 평면상에 존재하므로 현수선곡선의 미분요소는

$$dl = dx \left(\frac{dy}{dx} a_y + a_x \right) = dx \left(\sinh(ax) a_y + a_x \right) \quad (5)$$

$$r_0 = (x_0-x)a_x + (y_0 - ((1/a) \cosh(ax) - y_d))a_y + z_0 a_z$$

이고 위의 식 (5)을 Biot-savart 공식 (1)에 대입하면

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \vec{I}}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \left[\frac{z_0 \sinh(ax)}{d} a_x - \frac{z_0}{d} a_y \frac{\cosh(ax)/a - (y_0+y_d) - (x-x_0) \sinh(ax)}{d} a_z \right] dx \quad (6)$$

가 되고 분모 d는

$$d = [(x-x_0)^2 + z_0^2 + (\cosh(ax)/a - (y_0+y_d))^2]^{3/2}$$

가 된다. 이도의 효과는 도체에 가까운 곳에서 더 영향을 미치고, 도체와 먼 거리에 있는 곳에서는 전원의 영향으로 인한 와전류가 자계에 더 많은 영향을 미친다. 이 와전류의 image 전류의 깊이 α 는

$$\alpha = \sqrt{2} \delta e^{-j\pi/4}$$

위의 식에서 δ 는 대지의 표면깊이 상수로

$$\delta = 503\sqrt{\rho/f}$$

ρ 는 대지의 저항률이고 f 는 전원전류의 주파수이다. 전형적인 대지의 저항률은 10~1000Ω이기 때문에 일반적으로 대지의 수백 미터 아래에 영상전류가 위치하고있다.

위의 식 (6)에서는 정확한 해를 보여주고 있고 다음식 (7)에서는

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \vec{I}}{2\pi r} \quad (7)$$

간단한해를 보여주고 있다. 식 (6)은 적은 계산시간을 지니는 장점을 가지나 많은 오차가 있게되므로 정확한해와 오차가 적은 다음 식을 제시하였다

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \vec{I}}{2\pi} \frac{z_0 a_y + [\cosh(ax)/a - (y_0+y_d)] a_z}{[\cosh(ax)/a - (y_0+y_d)]^2 + z_0^2} \quad (8)$$

위 식(8)은 도체에 근접한 위치에서 자계를 해석하는데 유용하고 다음 식(9)는 도체에서 먼 거리에서 와전류의 효과를 고려하여 계산하였다. 아래 식은 도체와 거리가 먼 지점에서의 자계계산에 유용하다.

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \vec{I}}{2\pi} \frac{z_0 a_y + [\cosh(ax)/a - (y_0+y_d)] a_z}{[\cosh(ax)/a - (y_0+y_d)]^2 + z_0^2} - \frac{\mu_0 \vec{I}}{2\pi} \frac{z_0 a_y + [\cosh(ax)/a - (y_0-2y_d-a)] a_z}{[\cosh(ax)/a - (y_0-2y_d-a)]^2 + z_0^2} \quad (9)$$

2.1.1 실제 적용사례

초고압 송전선로에서의 자계를 해석하기 위하여 실제로 실 송전선로에 적용하기 위해 현재 765kv 고창시험선로에 적용시켜 보았다. 그리고 시험선로의 전류는 열용량으로 산정한 선로 최대전류용량인 1600(A)를 최대전류로 산정하였다. 선로모델링을 하는데 있어 선로를 직각좌표계로 모델링하고, 선로의 도체배열은 y축에 대칭으로 계산하였다. 송전선로는 수직2회선 3상배열로 6도체의 번들로 되어있다. 각 측정점에서의 자계는 각 도체에서의 자계를 중첩하여 계산하였다.

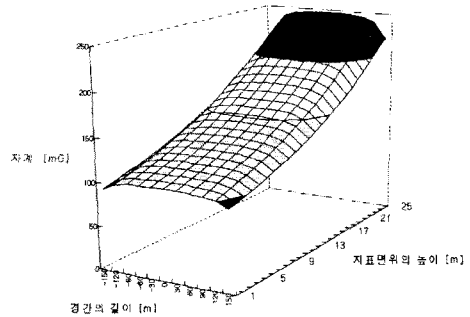


그림 3 일반적인 Biot-Savart law의 자계해석
Fig 3. Distribution of magnetic field about general Biot-Savart law

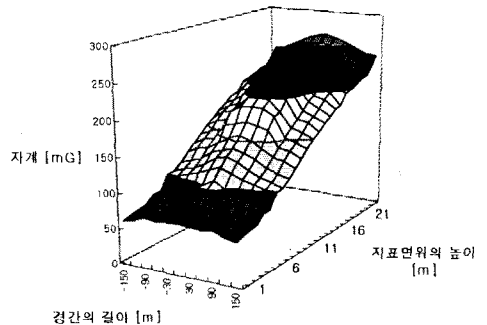


그림 4 근사공식에 의한 자계계산
Fig 4. Distribution of magnetic field about approximation formula

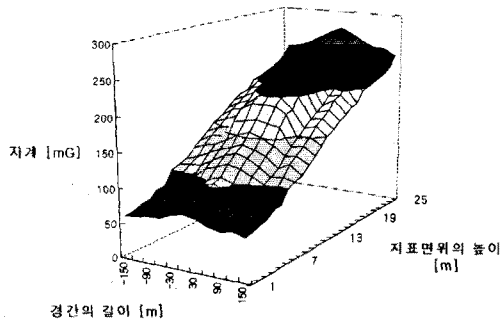


그림 5 도체에서 먼 곳에서의 자계
 Fig 5. Distribution of magnetic field at position far from conductors

3. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 자계계산의 기본이 되는 Biot-Savart law을 이용하여 자계해석을 하였다. 이들은 송전선로의 이도를 고려하여 선로를 직각좌표계로 모델링하고 선로의 이도를 계산하여 자계를 계산하였다. 그리고 송전도체의 유도작용에 의한 지표면에서의 와전류를 고려하였고 그 방법을 제시하였다. 자계는 이도가 가장 큰 선로경간의 중심에서 가장 많은 자계를 얻을 수 있고 지표면에서 도체표면으로 갈수록 자계의 세기는 커짐을 알 수 있다. 송전선로의 도체에 근접한 위치보다는 도체에서 먼지점인 지표면에 근접한 부분에서 와전류의 영향을 더 많이 받는다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 고저 차가 없는 위치에서의 자계계산을 수행하였지만 선로의 대부분은 지지물마다 지형의 고저차를 수반하고 있으므로 그 연구가 앞으로 계속 진행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. V. Mamishev, R. D. Nevels, B. D. Russell, "Effect of Conductor Sag on Spacial Distribution of Power Line Magnetic Field" IEEE Transmission on PowerDelivery, Vol. 11, No. 3, July 1996
- [2] William H. Hayt, jr. " Engineering Electromagnetics", pp 224-263
- [3] A. R. Memari, W. Janischewskyj, "Mitigation of Magnetic Field Near Power Line" IEEE Transmission on PowerDelivery, Vol. 11, No.3, July 1996
- [4] 송길영, "송배전 공학", pp 42-47
- [5] Thoms. Finney "Calculus and Analytic Geometry" eight edition pp-492-497