

## 가공전선로의 전자파에 대한 가공지선의 효과

강대하\*, 조용호\*, 이영식\*\*, 정재훈\*, 김희철\*\*\*  
 부경대학교\*, 한국전기안전공사\*\*, 한국폴리텍 7 울산대학\*\*\*

### Effects of Over-head earth line for electromagnetic wave from over-head Power lines

Dae-Ha Kang\*, Yong-Ho JO\*, Yuong-Sik Lee\*\*, Jae-Hoon Jeung\*, Hee-Cheol Kim\*\*\*  
 Pukeong National University\*, Korea Electrical Safety Corporation\*\*, Korea Politech 7Ulsan College\*\*\*.

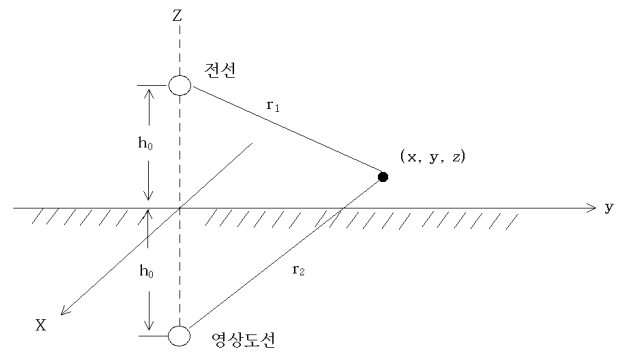
**Abstract** - In this study the formula of electromagnetic fields by dipole antenna theory were applied to 3 phase power lines and effect of over-head earth lines was calculated and analyzed.

#### 1. 서 론

자계를 발생시키는 전력선에 대한 노출이 주는 건강의 위험은 다소 논란 중에 있는 문제이며 최근에는 사유재산의 가치에 까지 영향을 미치고 있다. 여러 기관에서 그러한 ELF전자계가 건강에 대한 위해를 발생하지 않는다는 증거를 제시하고 있으나 일부에서는 그것을 믿지않거나 기분상의 변화를 유발한다든가 불면을 유발한다는 등의 인간에 대한 영향의 가능성을 지적하고 있다. 최근에는 초고압 및 대전류 전력설비와 더불어 전력선로에 둘러 싸여 있는 전자 환경이 생체에 미치는 효과가 점차 중요한 과제로 대두되고 있다[1,2]. 극저주파(ELF: extremely low frequency) 전계 및 자계의 파장은 생체의 크기보다 훨씬 크므로 전계 및 자계를 각각 독립적으로 취급할 수 있다. 그러나 생체가 전계 및 자계에 동시에 노출될 때 생체내부의 유도전류는 전계 및 자계에 의한 유도전류를 결합하여 조사할 필요가 있다. 특히 인체가 고전압 전력선으로부터 각기 다른 거리에 위치해 있을 때 인체내부의 전계와 자계 및 이와 관련된 전류의 방향과 크기는 중요한 해결과제로 된다. 한편 낮은 값의 자속밀도에서도 비디오 디스플레이(컴퓨터 모니터 등)와 같은 설비에 저주파 자계가 교란을 일으킨다는 것은 널리 알려져 있는 사실이다. 특히 CAD워크스테이션의 대형 디스플레이 장치는 이러한 국면에 매우 민감하다. 또한 저수준의 자계라 할지라도 감도가 좋은 측정장비(예 전자현미경)나 의료용 장비에 유도장해 등의 영향을 줄 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 첫 단계는 대지위에 가설된 전력선 근방의 모든 점에 대한 6개의 전자계 성분을 정확하게 산정하는 일이다. 전력주파수의 전자계에 대하여는 수많은 문헌에서 분석된 바 있다[3,4]. 그러나 국내에서는 전력선하의 전자계에 대한 심도 있는 연구가 아직 미미한 실정이다. 또한 가공지선의 전자파에 대한 정량적 분석 예도 아직 없다. 따라서 본 연구의 목적은 이러한 전력선에 의한 전자파 전자계를 이론적으로 해석하여 정확하게 계산할 수 있는 식을 도출하는 것이다. 본 연구에서는 전력선로와 함께 가설되어 있는 가공지선의 효과를 산출하여 그 결과를 분석하고자 한다.

#### 2. 전력선 및 가공지선에 의한 전자파

그림 1 과 같이 평면대지 상의 높이  $h_0$ 에 전력선이 가설되어 있는 경우로서 전선의 방향을  $x$ 방향으로 한 직각 좌표계를 고려하여 지상의 임의점  $(x, y, z)$ 에서의 전자파 전자계를 구해보기로 한다. 전력선을 무한장 직선도체라 하고 전류는 식 (1)의 정현파 전류를 가정하며 대지의 깊이  $-h_0$ 에 흐르는 전류영상을 고려하기로 한다.  $i(t) = Ie^{j\omega t}$  (1)



<그림 1> 직각좌표계  
 <Fig. 1> Rectangular coordinates

이 전력선을 쌍극자 안테나에 대비시키면 미소길이  $dx'$ 에 대한 쌍극자 능률은  $i(t) \cdot dx'$ 로 주어지며 단위길이에 대한 벡터포텐셜은 식 (2)로 쓸 수 있다.

$$A = \frac{I}{4\pi} \left[ \frac{1}{r_1} e^{j(\omega t - k_0 r_1)} - \frac{1}{r_2} e^{j(\omega t - k_0 r_2)} \right] \hat{x} \quad (2)$$

$$\text{단, } r_1 = [x^2 + y^2 + (z - h_0)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$r_2 = [x^2 + y^2 + (z + h_0)^2]^{\frac{1}{2}}$$

여기서  $k_0$ 는 공기의 파정수이며  $\hat{x}$ 는  $x$ 방향의 단위벡터이다. 따라서 자속밀도  $B$ 는 식 (3)으로 주어진다.

$$B = \mu_0 \nabla \times A$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left\{ \left[ e^{-jk_0 r_1} \left( \frac{jk_0}{r_1^2} - \frac{1}{r_1} \right) (z - h_0) - e^{-jk_0 r_2} \left( \frac{jk_0}{r_2^2} - \frac{1}{r_2} \right) (z - h_0) \right] \hat{y} \right.$$

$$\left. + \left[ e^{-jk_0 r_1} \left( \frac{jk_0}{r_1^2} - \frac{1}{r_1} \right) + e^{-jk_0 r_2} \left( \frac{jk_0}{r_2^2} - \frac{1}{r_2} \right) \right] \bullet y \bullet \hat{z} \right\}$$

$$= B_y \hat{y} + B_z \hat{z} \quad (3)$$

여기서  $\hat{y}$  및  $\hat{z}$ 는 각각  $y$  방향 및  $z$  방향의 단위 벡터이다.

한편 전계와 자계의 관계는 맥스웰 필드 방정식으로 주어지며 정현파의 경우는 식 (2.5)로 된다.

$$j\omega \epsilon_0 E = \nabla \times H \quad (4)$$

전력선이  $i = I_0 e^{-jk_0 x'}$ 의 전송파를 유지할 때  $x$ 대신에  $x - x'$ 를 대입함으로써  $x = 0$ 인 평면에서의 전력선에 의한 자속밀도  $[B]$  및 전계  $[E]$ 는 식 (5) 및 (6)에 의해 구해진다

$$[B]_{x=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{B}_t e^{-jk_0 x'} dx' \quad (5)$$

$$[E_x]_{x=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{E}_x e^{-jk_1 x'} dx' \quad (6)$$

한편, 대지내부에서의 반사파도 고려해야 하므로 전자파의 자속밀도 및 전계에 반사파[10]를 고려하여  $k_1$ 을 대지의 파장수로 하고 식 (5) 및 (6)을 적분하면 다음과 같이 각 성분의 식이 얻어진다.

$$[B_x]_{x=0} = \frac{-j\mu_0 k_0 \dot{I}}{2\pi k_1^2} \cdot \frac{y(z+h_0)}{[y^2+(z+h_0)^2]^2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{15 \tan \theta \cdot d\theta}{(1+\tan^2 \theta)^{5/2}}$$

$$= \frac{-j2\mu_0 k_0 \dot{I}}{\pi k_1^2} \cdot \frac{y(z+h_0)}{[y^2+(z+h_0)^2]^2} \quad (7)$$

$$[B_y]_{x=0} = \frac{\mu_0 \dot{I}}{2\pi} \left[ -\frac{z-h_0}{y^2+(z-h_0)^2} + \frac{z+h_0}{y^2+(z+h_0)^2} + \frac{4(z+d)(k_0 h_0)}{k_1^2 [y^2+(z+h_0)^2]^2} \left(1 - \frac{2[(z+h_0)^2-y^2]}{y^2+(z+h_0)^2}\right) \right] \quad (8)$$

$$[\dot{B}_z]_{x=0} = \frac{\mu_0 \dot{I}}{2\pi} y \left[ \frac{1}{y^2+(z-h_0)^2} - \frac{1}{y^2+(z+h_0)^2} + \frac{4(k_0 h_0)}{k_1^2 [y^2+(z+h_0)^2]^2} \left(1 + \frac{2[(z+h_0)^2-y^2]}{y^2+(z+h_0)^2}\right) \right] \quad (9)$$

$$[E_x]_{x=0} = \frac{-j\omega\mu_0 \dot{I}(k_0 h_0)}{\pi k_1^2} \left[ \frac{(z+h_0)^2-y^2}{\{y^2+(z+h_0)^2\}^2} \right] \quad (10)$$

$$[E_y]_{x=0} = \frac{\omega\mu_0 \dot{I}}{2\pi k_0} \left[ \frac{y}{y^2+(z-h_0)^2} - \frac{y(1-\frac{2k_0^2}{k_1^2})}{y^2+(z+h_0)^2} \right] \quad (11)$$

$$[E_z]_{x=0} = \frac{\omega\mu_0 \dot{I}}{2\pi k_0} \left[ \frac{z-h_0}{y^2+(z-h_0)^2} - \frac{z+h_0}{y^2+(z+h_0)^2} \right] \quad (12)$$

따라서 관측점의 전자계는 이 성분들의 합성으로 구할 수 있다. 한편 가공지선과 전력선로 1선의 관계는 2선과 대지극로의 경우와 같으므로 가공지선의 자체인덕턴스는 대지극로인덕턴스  $L_e$ 와 같고 두 전선의 상호인덕턴스는 대지극로상호인덕턴스  $L_e'$ 와 같으며 각각 식 (13) 및 (14)로 주어진다.

$$L_e = 0.1 + 0.4605 \log_{10} \frac{2He}{r} [mH/km] \quad (13)$$

$$L_e' = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{2He}{D} [mH/km] \quad (14)$$

여기서  $r$ 은 가공지선의 반경,  $D$ 는 두전선의 선간거리,  $He$ 는 상등대지면의 깊이이다. 선로의 저항을 무시하면 선로전류  $I$ 에 의해 가공지선에 유도되는 전압  $V_s$  및 유도전류  $I_s$ 는 식 (15) 및 (16)으로 주어진다.

$$V_s = -j\omega L_e' I \quad (15)$$

$$I_s = \frac{V_s}{j\omega L_e} = -\frac{L_e'}{L_e} I \quad (16)$$

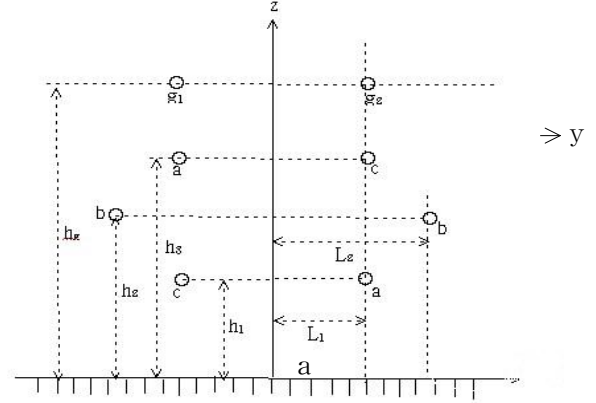
이 유도전류에 의한 전자파전자계는 전력선 전류에 의한 전자파전자계에 대하여 감쇄작용을 하게 되며 관측점에 대하여 전력선의 경우와 동일한 방법으로 계산할 수 있다. 따라서 관측점의 전자계는 이 두가지전자파의 합성으로 주어진다. 그림 2는 수직전선 배열의 전력선로 예로서 각 치수는 문헌[1]의 경우를 그대로 적용한 것이다.

이 그림에서  $h_1=27.5$  [m],  $h_2=38$  [m],  $h_3=48.5$ ,  $hg=54$ ,  $L_1=14.4$ ,  $L_2=17.4$  이며,  $g_1, g_2$ 는 가공지선을 나타낸다. 전류는 좌측회선이 각상 1180 [A], 우측회선이 1157 [A]이다.

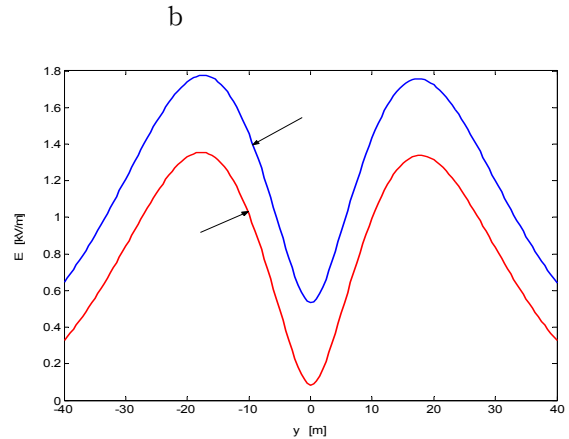
이에 대한 전자파전자계를 계산하기 위하여 다음과 같은 파라미터를 사용하였다. 대지의 도전율  $s=0.04$  [S/m], 지선의 반경  $r=6.5$  [mm], 상등대지면의 깊이 600[m]이다. 그림 3은 관측점 지표상 1 [m]에 있어서 그림 2의 전력선로에 대한 전자파 전계의 계산결과를 나타낸 것이다. 이 계산결과는 문헌[5]의 실측결과와 거의 일치함을 확인 하였다. 이 결과는 그림 2의 전선배열의 경우 전자파 전계가 약 21 [%]정도 감소하는 효과를 나타낸 것이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 쌍극자 안테나 이론을 통한 전자파 전자계의 계산식을 3상전력선로에 적용하였으며 가공지선에 의한 전자파 감쇄 효과를 분석하였다. 그 결과 그 감쇄효과가 상당히 큰 것으로 나타났다.



<그림 2> 3상 2회선 수직전선 배열  
<Fig. 2> Vertical configuration of 3 wires in 3 phase 2 circuits power lines



<그림 3> 계산결과. a: 가공지선을 고려하지않은 경우  
b: 가공지선을 고려한 경우

<Fig. 3> Calculation result.  
a: in case of no consideration of over-head earth lines.  
b: in case of consideration of over-head earth lines.

### [참 고 문 헌]

- [1] Dragan Poljak, Andres Peratta and Carlos A. Brebbia, "The boundary element electromagnetic-thermal analysis of human exposure to base station antennas radiation", Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 28, Issue 7, pp. 763~770, 2004
- [2] Yu-nan Han, Ying-hua LV and Hong-xin Zhang, "Compute extremely low-frequency electromagnetic field exposure by 3-D impedance method", The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, Vol. 14, Issue 3, pp. 113~116, 2007
- [3] Olsen R.G., Wong P.S., " Characteristics of low frequency electric and magnetic fields in the vicinity of electric power lines ", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, pp. 2046~2055, 1992
- [4] Dawalibi F., Selby A., "Electromagnetic fields of energized conductors ", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1275~1284, 1993
- [5] A.S. Farag et al., "Occupational exposure assessment for power frequency electromagnetic fields", Electric Power Systems Research, Vol. 48, pp. 151~175, 1999