

직선으로 가설되어 있는 3상 전력선에 3성 분기선로가 있는 경우의 전자파 전자계

김부규<sup>o</sup> 노일수 강대하  
부경대학교

Electromagnetic fields under 3-phase power lines with branch lines

Pukyong National University

**Abstract** - In this study , near the 3-phase power lines with branch lines were formulated. In rectangular coordinates, dependence of branch angle  $\alpha$  on electromagnetic field components  $B_x, B_y, B_z$  및  $E_x, E_y, E_z$  was analyzed. The resultant electromagnetic fields B and E were discussed.

1. 서 론

전기는 물과 공기처럼 우리생활에 없어서는 안될 소중한 것이며 생활수준이 향상될수록 전기사용량은 증가하고 사용범위는 더욱 넓어질 것이다. 그러나 전기의 생산, 수송, 소비 과정에서 설비나 기기 근처에 사람이 접근하게 되고 직업인이나 일반인을 막론하고 전자계에 노출될 수밖에 없다. 최근 들어 전자파, 특히 핸드폰, 모니터 등에서 발생하는 높은 주파수의 전자파는 수질오염, 대기오염, 소음공해에 이어 제 4의 공해로 인식되고 있으며, 일반대중들은 송배전선로에서 발생하는 극저주파의 전자계에 대해서도 불안감을 나타내고 있다. 이와 함께 전자환경이 인체에 미치는 효과가 중요한 과제로 대두되고 있다.[1-4]

국내에서도 경제성장에 따라 생활여건이 나아지면서 고급 청정에너지인 전력에너지의 급격한 수요증가로 전자계에 노출되는 정도나 빈도가 늘고 있어, 좋은 물 좋은 환경을 찾는 것과 같이 전자파의 공해로부터 피하려는 노력이 기울여지고 있다.

한편 낮은 값의 자속밀도에서도 비디오 디스플레이(컴퓨터 모니터등)와 같은 설비에 저주파 자계가 교란을 일으킨다는 것은 널리 알려져 있는 사실이다. 특히 CAD워크스테이션의 대형 디스플레이 장치는 이러한 국면에 매우 민감하다.

또한 저 수준의 자계라 할지라도 감도가 좋은 측정장비(예 전자현미경)나 의료용 장비에 유도장해 등의 영향을 줄 수도 있다. 이러한 전력주파수의 자계를 [5~11]등의 수많은 문헌에서 분석된 바 있다.

송배전선로 등 전력설비로부터 발생하는 전자파 전자계의 이론적인 근거를 마련하기 위해서는 전자파 전자계의 정확한 계산이 필요하며 이를 고려한 설계 및 건설이 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 목적은 전력선 주변에 발생하는 전자파 문제를 해결하기 위해 전력선하의 전자계에 대한 이론식을 도출하여 정식화 하는 것이다.

본 연구에서는 전력선의 전류에 의해 발생하는 전자파 전자계 성분에 대한 식을 쌍극자 안테나 이론을 이용하여 유도하였으며 직선으로 가설되어 있는 3상 전력선에

3상 분기선로가 있는 경우의 전자파 전자계 식을 유도하여 이를 정식화 하였다.

2. 전력선에 의한 전자파

2.1 전력선하의 전자파

그림 1과 같이 전력선이 지표상  $h_0$ 의 높이에 x방향으로 가설되어 있는 무한장 직선 도체로 가정하면 그영상도선은 지하  $h_0$ 의 깊이에 존재하는 것으로 된다.

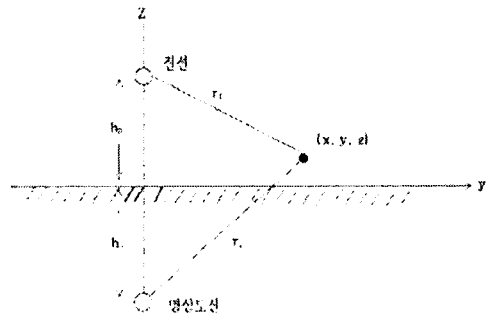


그림 2.1 직각좌표계상의 전력선

전력선의 전류를 정현파 교류라 하면 쌍극자 안테나 이론에 의한 벡터 포텐셜은 식 (2.1)과 같이 된다.

$$A = \frac{I}{4\pi} \left[ \frac{1}{r_1} e^{j(\omega t - k_0 r_1)} - \frac{1}{r_2} e^{j(\omega t - k_0 r_2)} \right] \cdot \hat{x} \tag{2.1}$$

또한 자계 및 자속밀도는 식 (2.2) 및 식 (2.3)으로 된다.

$$H = \nabla \times A \tag{2.2}$$

$$B = \mu_0 H \tag{2.3}$$

막스웰 필드방정식에 의해 전기 및 자계의 관계는 식 (2.4)로 주어진다.

$$j\omega \epsilon_0 E = \nabla \times H \tag{2.4}$$

대지내의 반사파를 고려하여 식 (2.1)-(2.4)로 부터 단위 길이의 전선에 대한 전자계의 성분  $B_x, B_y, B_z$  및  $E_x, E_y, E_z$ 를 구할 수 있다.

2.2 반무한장 직선도체에 의한 전자파 전자계

무한장 직선도체는 두부분의 반무한장 직선도체, 즉 \$x\_0\$에서 \$\infty\$까지 및 \$-\infty\$에서 \$x\_0\$까지의 반무한장 직선도체가 결합된 것으로 볼수 있다. 따라서 이 두 부분의 반무한장 직선도체를 따로 따로 고려하기로 한다. \$y\$축상에서의 각 반무한장 직선도체 전체길이에 대한 각 성분 전자계는 식 (2.5)-(2.8)에 의해 구할 수 있다.

$$[B_s]_{x=0}^+ = \int_{x_0}^{\infty} B_s e^{-jk_0 x'} dx' \dots\dots\dots(2.5)$$

$$[B_s]_{x=0}^- = \int_{-\infty}^{x_0} B_s e^{-jk_0 x'} dx' \dots\dots\dots(2.6)$$

$$[E_s]_{x=0}^+ = \int_{x_0}^{\infty} E_s e^{-jk_0 x'} dx' \dots\dots\dots(2.7)$$

$$[E_s]_{x=0}^- = \int_{-\infty}^{x_0} E_s e^{-jk_0 x'} dx' \dots\dots\dots(2.8)$$

단, \$s=x, y, z\$

2.3 분기전선에 의한 전자파 전자계.

분기전선이 있는 전력선은 그림 2.2와 같이무한장 직선도체로부터 각 \$a\$만큼 분기전력선이 시계방향으로 분기되어 있는 경우로 볼 수 있으며 편의상 주전력선과 분기전력선의 전류를 같은 것으로 한다.

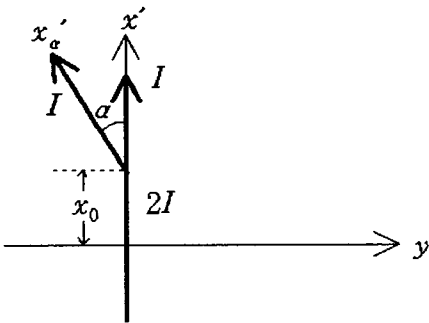


그림 2.2 분기전력선과 직각 좌표계

여기서 \$x'\$축의 \$x\_0\$에서 각 \$a\$만큼 분기되어 있는 전선부분을 "분기전선부"라 하고 \$x'\$축상 \$-\infty\$에서 \$x\_0\$까지의 전선부분을 '기준전선부'라 하기로 한다.

우선 분기전선부의 전자계를 구하기 위하여는 그림 2.3과 같이 새로운 직각좌표계 즉 \$x'\_\alpha\$-\$y'\_\alpha\$좌표계를 고려하여 식 (2.5)와 식(2.7)의 \$x'\$ 및 \$y\$ 대신 \$x\_\alpha\$ 및 \$y\_\alpha\$를 대입함으로써 \$[B\_s]\_{x\_\alpha=0}\$ 및 \$[E\_s]\_{x\_\alpha=0}\$을 구할 수 있다. 이 때 \$x\_\alpha\$ 및 \$y\_\alpha\$는 식 (2.9) 및 식 (2.10)으로 주어진다.

$$x'_\alpha = x \cos a + y \sin a \dots\dots\dots(2.9)$$

$$y'_\alpha = y \cos a - x_0 \sin a \dots\dots\dots(2.10)$$

또 \$[B\_s]\_{x\_\alpha=0}\$ 및 \$[E\_s]\_{x\_\alpha=0}\$을 \$x'\$-\$y\$좌표계로 환산하면 식 (2.11)-(2.16)으로 된다.

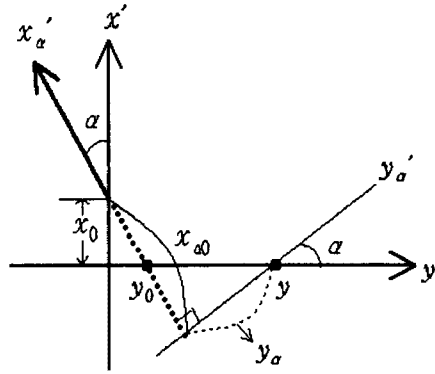


그림 2.3 분기전력선과 \$x'\_\alpha\$-\$y'\_\alpha\$좌표계

$$[B_x]_{x_\alpha=0}^\alpha = [B_{x\alpha}]_{x_\alpha=0} \cos a + [B_{y\alpha}]_{x_\alpha=0} \sin a \dots\dots(2.11)$$

$$[B_y]_{x_\alpha=0}^\alpha = -[B_{x\alpha}]_{x_\alpha=0} \sin a + [B_{y\alpha}]_{x_\alpha=0} \cos a \dots\dots(2.12)$$

$$[B_z]_{x_\alpha=0}^\alpha = [B_{z\alpha}]_{x_\alpha=0} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$[E_x]_{x_\alpha=0}^\alpha = [E_{x\alpha}]_{x_\alpha=0} \cos a + [E_{y\alpha}]_{x_\alpha=0} \sin a \dots\dots(2.14)$$

$$[E_y]_{x_\alpha=0}^\alpha = -[E_{x\alpha}]_{x_\alpha=0} \sin a + [E_{y\alpha}]_{x_\alpha=0} \cos a \dots\dots(2.15)$$

$$[E_z]_{x_\alpha=0}^\alpha = [E_{z\alpha}]_{x_\alpha=0} \dots\dots\dots(2.16)$$

기준전선부에 의한 전자계는 식 (2.17) 및 식 (2.18)로 주어진다.

$$[B_s]_{x=0}^r = [B_s]_{x=0}^- \dots\dots\dots(2.17)$$

$$[E_s]_{x=0}^r = [E_s]_{x=0}^- \dots\dots\dots(2.18)$$

단, \$s= x, y, z\$

따라서 분기전력선이 있는 경우의 전자계는 식(2.19) 및 식(2.20)으로 주어진다.

$$[B_s]_{x=0}^{r,\alpha} = [B_s]_{x=0}^+ + [B_s]_{x=0}^- + [B_s]_{x=0}^r + [B_s]_{x=0}^\alpha \dots\dots\dots(2.19)$$

$$[E_s]_{x=0}^{r,\alpha} = [E_s]_{x=0}^+ + [E_s]_{x=0}^- + [E_s]_{x=0}^r + [E_s]_{x=0}^\alpha \dots\dots\dots(2.20)$$

3. 계산에.....

지표상의 높이 \$h\_0=15\$ [m]의 수평전선배열의 전력선에 높이 13 [m]의 분기선로가 있는 경우에 대하여 전자파 전자계를 계산하였다. 각 상간 선간거리는 3 [m], 전류는 분기전선부 및 기준전선부 모두 평형3상전류로서 \$I=300\$ [A]로 하였다.이 때 \$f=60\$ [Hz], 대지의 도전율 \$\sigma\_1=0.04\$ [S/m], 파장수 \$k\_0=4\pi \times 10^{-7}\$, \$k\_1 = \sqrt{j\omega\mu\_0\sigma\_1}\$을 사용하여 계산하였다

그림 3.1 및 그림 3.2는 분기각 \$a = \frac{2\pi}{3}\$ 인 경우에 있어서 각 자계의 성분 \$B\_x, B\_y, B\_z\$ 및 합성자계 \$B\$와 각 전계의 성분 \$E\_x, E\_y, E\_z\$ 및 합성전계 \$E\$를 함께 도시한 것이다.

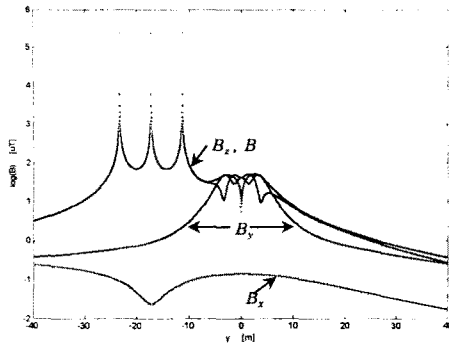


그림 3.1 계산예(자계,  $a = \frac{2\pi}{3}$ ,  $z=13[m]$ ,  $I=300 [A]$ )

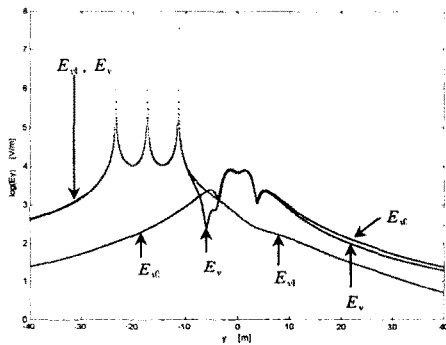


그림 3.2 계산예(전계,  $a = \frac{2\pi}{3}$ ,  $z=13[m]$ ,  $I=300 [A]$ )

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전자파 전자계의 계산에 있어서 실제 적 상황에 근접한 분기 선로가 있는 전력선을 고려하여 전자파 전자계 식을 정식화 하였다. 직각좌표계에 있어서 전자계 성분  $B_x, B_y, B_z$  및  $E_x, E_y, E_z$ 에 대하여 분기 선로의 분기각이 미치는 영향을 분석하였다. 또 합성전자계  $B$  및  $E$ 에 대하여도 검토하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] N.W.Wertheimer, E.Leeper, " Electrical wiring configurations and childhood cancer ", Am.J.Epidemiology, Vol.109, PP.273-284, 1979
- [2] Isaka K.etal, " ELF electric and magnetic fields with human body ", Proc.1988 U.S- Japan Seminar on Eletromagnetic-Interference in Highly Advanced Social Systems(Modeling, Characterization, Evaluation and Protection), No.7, PP.21-30, Hawaii
- [3] Xi W., Stuchly MA., Gandhi OP., " High resolution organ dosimetry for human exposure to low-frequency electric fields ", IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol.41, PP.1018-1023, 1994
- [4] Dawson TW., Caputa K, Stuchly MA., " Influence of human model resolution on computed currents

induced in organs by 60Hz magnetic fields ", Bioelectromagnetics, Vol.18, PP.478-490, 1997

- [5] 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
- [6] Dawalibi F., Selby A., "Electromagnetic fields of energized conductors ", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, No.3, PP.1275-1284, 1993
- [7] Sarma Maruvada P., "Characterization of power frequency magnetic fields in different environments", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, No.3, PP.598-605, 1993
- [8] Deno D.W., " Transmission line fields", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.pas-95/5, PP.1600-1611, 1976
- [9] Steward J.R., Dale S.J., Klein K.W., "Magnetic field reduction using high phase order lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, No.2, PP.628-636, 1993
- [10] Ronald W.P.King, "The electromagnetic field of a horizontal electric dipole in the presence of a three-layered region", J.Appl.Phys. Vol.89, No.12, PP.7987-7995, 1991
- [11] Ronald W.P. King, Tai T. Wu, " The complete electromagnetic field of a three-phase transmission line over the earth and its interaction with the human body", J.Appl.Phys. Vol.78, No.2, PP.668-683, 1995