

옥내배선의 전자계계산 및 감소대책

강대하*, 조용호*, 이영식**, 박상호***, 김휘철***

부경대학교*, 한국전기안전공사**, 한국폴리텍 5 고창캠퍼스***, 한국폴리텍 7 울산캠퍼스****

Calculation and Mitigation of Electromagnetic Fields for Indoor Distribution Lines

Dae-Ha Kang*, Yong-Ho Jo*, Yuong-Sik Lee**, Sang-Ho Park***, Hui-Chil Kim****

Pukeong National University*, Korea Electrical Safety Corporation**, Korea Politech 5 Gochang Campus***, Korea Politech 7 Ulsan Campus****

Abstract - In this study electromagnetic fields generated by currents of electric wires with finite lengths were deduced and formulated to apply to the indoor distribution lines and also using the formula electromagnetic fields were calculated for various configurations of conductors and through analyzing the results mitigation of electromagnetic fields was investigated.

1. 서 론

최근의 고층빌딩의 저압배선은 대부분 1000 [A]이상의 전류가 흐르는 도체가 포함되어 있으며 이 전류는 점유지내에 매우 큰 전자계를 발생시킬 수 있다. ELF 전자계에 관한 문제가 정밀기기 등에 전자간섭의 형태로 대두되고 있음은 확실하다. 최근에는 공기공조 상업용 고층빌딩이 경제활동의 중요한 자산으로 되어있다. 이러한 빌딩은 점점 정교하고 민감한 기기들을 수용하고 있으며 많은 전력을 소비하고 있다. 이러한 빌딩은 세입자들의 요구조건을 충족시키기 위하여 빌딩내의 배전계통은 대전류를 흘릴 수 있는 도체를 필요로 한다. 이러한 대전류의 도체는 ELF 전자계의 간섭문제를 유발한다[1~3]. 보고된 통상적인 문제의 대부분은 컴퓨터 모니터상의 불안정성이다. 지터(jitter)와 같은 불안정성은 1 [μT]와 같은 낮은 자계에 의해서도 모니터 스크린에 나타난다[4,5]. 고층 상업용 빌딩의 배선은 3상 및 부스바라이저, 공기 절연 등, 절연 부스닥터 또는 대규모의 다심 케이블이 보통 사용된다.

이러한 고층 빌딩 내에서 가장 큰 전류의 도체는 변전실, 주스위치보드실의 주변, 복도에서의 수직 덕트 내에서 발견된다. 변압기 및 전동기와 같은 전기기기는 저 릴럭턴스의 전자회로(magnetic circuits)를 갖고 있어서 매우 낮은 수준의 외부자계를 발생시키므로, 이웃 공간에서 가장 두드러진 ELF 전자계의 발생원은 대전류가 흐르는 케이블과 부스바이다.

이상과 같은 전자계 발생을 감소시키기 위해서는 발생원의 위치나 자기스크린에 의한 차폐가 중요하며 이들을 면밀히 분석할 필요가 있다. 이러한 분석을 위해서는 먼저 전선 길이가 짧은 옥내배선에 의해 발생하는 전자계를 정확하게 계산하여야 한다.

본 연구의 목적은 옥내배선에 적용할 수 있는 유한장 전선의 전류에 의해서 발생하는 전자와 전자계의 식을 유도하여 정식화 하고 이 식을 이용하여 여러 가지 전선배열에 따른 전자계를 분석하여 전자계의 감쇄방법을 찾고자 하는 것이다.

2. Biot-Savart 법칙에 의한 전자계 유도

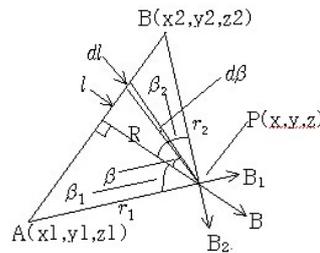
전류 I [A]가 흐르고 있는 유한장 직선도체에 의한 자계를 구함에 있어서 그림 2.1과 같은 도체선상의 미소길이 dl에 의한 점 P의 자계 dB를 고려하면 식 (2.1)과 된다.

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \cdot \cos \beta}{r^2} \quad (2.1)$$

그림에서 l 및 r은 식 (2.2) 및 (2.3)으로 주어진다.

$$l = R \cdot \tan \beta \quad (2.2)$$

$$r = R \cdot \sec \beta \quad (2.3)$$



<그림 2.1> 유한장 직선도체의 전류에 의한 자계

<Fig. 2.1> Magnetic field arising by current flowing through finite-length conductor

또 dl은 식 (2.4)와 같다.

$$dl = R \cdot \sec^2 \beta \cdot d\beta \quad (2.4)$$

그러므로 자계 B는 식 (2.5)와 같이 구해진다.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_{\beta_1}^{\beta_2} \cos \beta \cdot d\beta = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \quad (2.5)$$

다도체 경우에 대한 합성자계를 구하기 위해서는 식 (2.5)의 합성자계 B를 좌표계의 각 성분으로 분리하지 않으면 안 된다.

먼저 그림1에서 합성자계 B를 B1 및 B2 성분으로 분리하면 식 (2.6) 및 (2.7)로 된다.

$$B_1 = B \cdot \left[\cos \beta_1 - \frac{\cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)}{1 - \cos^2(\beta_1 + \beta_2)} \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2) \right] \quad (2.6)$$

$$B_2 = B \cdot \left[\frac{\cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2)}{1 - \cos^2(\beta_1 + \beta_2)} \right] \quad (2.7)$$

또 그림2를 참조하여 B1 및 B2의 직교좌표계 성분을 구하면 식 (2.8)~(2.13)으로 주어진다.

$$B_{x_1} = B_1 \cos \theta_{z_1} \cdot \sin \theta_{x_1/y_1} \quad (2.8)$$

$$B_{y_1} = B_1 \cdot \cos \theta_{z_1} \cdot \sin \theta_{x_1/y_1} \quad (2.9)$$

$$B_{z_1} = B_1 \cdot \sin \theta_{z_1} \quad (2.10)$$

$$B_{x_2} = B_2 \cos \theta_{z_2} \cdot \sin \theta_{x_2/y_2} \quad (2.11)$$

$$B_{y_2} = B_2 \cdot \cos \theta_{z_2} \cdot \sin \theta_{x_2/y_2} \quad (2.12)$$

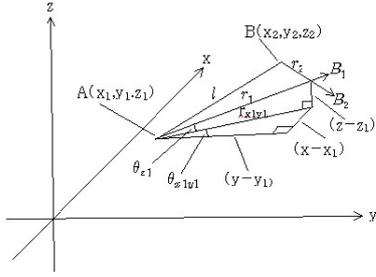
$$B_{z_2} = B_2 \cdot \sin \theta_{z_2} \quad (2.13)$$

단, $r_{x_1/y_1} = [(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2]^{\frac{1}{2}}$

$$r_{x_2/y_2} = [(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$r_1 = [(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$r_2 = [(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2]^{\frac{1}{2}}$$



〈그림 2〉 직교좌표계

〈Fig. 2〉 Rectangular coordinate system

따라서 합성자계 B 의 직교좌표계 성분은 각각 식 (2.14)~(3.16)으로 주어진다.

$$B_x = B_{x1} + B_{x2} \quad (2.15)$$

$$B_y = B_{y1} + B_{y2} \quad (2.15)$$

$$B_z = B_{z1} + B_{z2} \quad (2.16)$$

한편 전계와 자계의 관계는 맥스웰 필드방정식으로 주어지므로 정현파의 경우는 식 (2.17)로 된다.

$$j\omega\mu_0\dot{E} = \nabla \times \frac{\dot{B}}{\mu_0} \quad (2.17)$$

따라서 $\frac{\omega\mu}{k_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ 를 고려하여 전계 \dot{E} 의 각 성분도 구하면 식

구할 수 있다. k_0 는 공기의 파정수이다.

한편 다도체계의 경우로서 3상 선로와 같이 각 도체에 흐르는 전류가 서로 다른 위상각을 갖는 경우가 있다. 이 경우 각 전자계성분의 위상각은 그 도체에 흐르는 전류의 위상각에 의존한다. 예로서 3도체의 경우, 각 도체전류의 위상각을 ϕ_a, ϕ_b 및 ϕ_c 라 하면 각 전자계성분은 식 (2.18)~(2.23)과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{B}_x = B_{xa}e^{j\phi_a} + B_{xb}e^{j\phi_b} + B_{xc}e^{j\phi_c} = B_x e^{j\phi_x} \quad (2.18)$$

$$\dot{B}_y = B_{ya}e^{j\phi_a} + B_{yb}e^{j\phi_b} + B_{yc}e^{j\phi_c} = B_y e^{j\phi_y} \quad (2.19)$$

$$\dot{B}_z = B_{za}e^{j\phi_a} + B_{zb}e^{j\phi_b} + B_{zc}e^{j\phi_c} = B_z e^{j\phi_z} \quad (2.20)$$

$$\dot{E}_x = E_{xa}e^{j\phi_a} + E_{xb}e^{j\phi_b} + E_{xc}e^{j\phi_c} = E_x e^{j\phi_x} \quad (2.21)$$

$$\dot{E}_y = E_{ya}e^{j\phi_a} + E_{yb}e^{j\phi_b} + E_{yc}e^{j\phi_c} = E_y e^{j\phi_y} \quad (2.22)$$

$$\dot{E}_z = E_{za}e^{j\phi_a} + E_{zb}e^{j\phi_b} + E_{zc}e^{j\phi_c} = E_z e^{j\phi_z} \quad (2.23)$$

따라서 이 경우의 합성전자계 E 및 B 는 식 (2.24)~(2.25)로 주어진다.

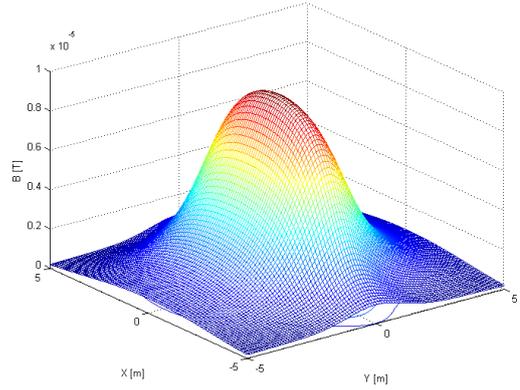
$$B = [(B_x^2 \cdot \cos(2\phi_x) + B_y^2 \cdot \cos(2\phi_y) + B_z^2 \cdot \cos(2\phi_z))^2 + [B_x^2 \cdot \sin(2\phi_x) + B_y^2 \cdot \sin(2\phi_y) + B_z^2 \cdot \sin(2\phi_z)]^2]^{0.25} \quad (2.24)$$

$$E = [(E_x^2 \cdot \cos(2\phi_x) + E_y^2 \cdot \cos(2\phi_y) + E_z^2 \cdot \cos(2\phi_z))^2 + [E_x^2 \cdot \sin(2\phi_x) + E_y^2 \cdot \sin(2\phi_y) + E_z^2 \cdot \sin(2\phi_z)]^2]^{0.25} \quad (2.25)$$

이상과 같이 유한장 직선전류에 의한 전자계를 성분 분리함으로써 임의 방향으로 배열된 다도체계의 합성자계를 쉽게 구할 수 있다.

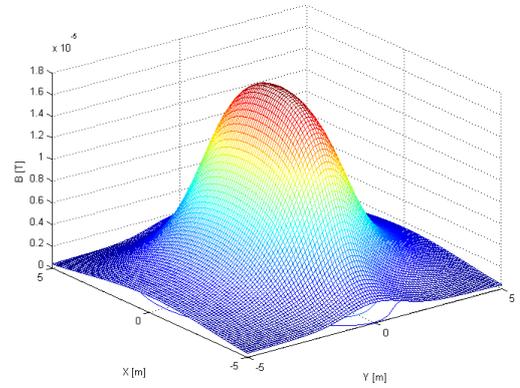
3. 계산 예

그림 3.1 및 그림 3.2는 전류 300 [A], 전선길이 6 [m]의 단상 선로에 대한 전자계의 계산결과로서 선간거리를 0.4 [m] 및 0.8 [m]로 달리 한 경우이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전선 중앙 위치에서 최대값을 나타내며 선간거리 0.8 [m]의 경우가 0.4 [m]의 경우보다 약 2 배 정도로 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 전자계의 값을 감소시키기 위해서는 가능한 한 선간거리를 가깝게 해야 함을 알 수 있다.



〈그림 3.1〉 단상 2선식 전선로에 의한 자기분포(선간거리: 0.4 [m])

〈Fig. 3.1〉 Magnetic-field distribution generated from 1 phase 2 conductors (distance between conductors: 0.4 [m])



〈그림 3.2〉 단상 2선식 전선로에 의한 자기분포(선간거리: 0.8 [m])

〈Fig. 3.2〉 Magnetic-field distribution generated from 1 phase 2 conductors (distance between conductors: 0.8 [m])

4. 결 론

본 연구에서는 유한장 전선의 전류에 의해서 발생하는 전자파 전자계의 식을 유도하여 옥내배선에 적용할 수 있도록 정식화 하고 이 식을 이용하여 여러 가지 전선배열에 따른 전자계를 분석하여 다음과 같은 전자계의 감쇄방법에 대한 결론을 얻었다.

- (1). 될 수 있는 대로 전선간의 간격을 좁혀야 한다.
- (2). 3상의 경우 수평 전선배열의 경우보다는 3각 전선배열의 경우가 더욱 효과적이다.
- (3). 3상의 경우 불평형을 줄여야 한다.
- (4). 3상의 회선수가 많은 경우 전선배열에 있어서 적절한 상배치가 효과적이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Hiles M., "Magnetic field interference—technology, economics and politics", Power Quality ASSURANCE, Vol.8, No.4, pp.84~90, 1997
- [2] Austin S., "Electromagnetic interference in buildings", Building Services, London:CIBSE, pp.55~56, September 1991
- [3] Brommley K., Wylds S., "Magnetic fields in buildings", Building Services, London:CIBSE, pp.37, December 1994
- [4] M. Sandstrom, K.H. Mild, A. Bergland, "External power frequency magnetic field induced jitter on computer monitors", Behaviour and Information Technology, Vol.12, No.6, pp.359~363, 1993
- [5] R. S. Baishiki and D. W. Deno, "Interference from 60 Hz electric and magnetic fields on personal computers", IEEE Transaction on Power Delivery PWRD-2, PP.558~563, 1987