

도체차폐판의 전자계 감소효과

강대하*, 김원희*, 이영식**, 손정대*, 박윤동** 박상호***
 부경대학교*, 한국전기안전공사**, 한국폴리텍 5 고창캠퍼스***

Reduction Effects of Electromagnetic fields in Conductor Shields

Dae-Ha Kang*, Won-Hee Kim*, Yuong-Sik Lee**, Jung- Dae Son* Yoon-Dong Park**, Sang-Ho Park***
 Pukeong National University*,Korea Electrical Safety Corporation**, Korea Politec 5 Gochang Campus***

Abstract - In this study reduction effects of magnetic field were analyzed using multi-conductor method in analysis of shield. The method can be effective in the analysis because of reducing the amount of allocated memory and computing time. And also the method can be applicable to analysis of the induced current distributions and skin effect in shield. The results of the analysis are presented.

1. 서 론

최근 건강문제와 아울러 전자파 규제 때문에 극저주파 자계의 차폐에 대한 관심이 증가해 왔다. 이러한 차폐에 대한 문제는 주자계원이 설치되어 있는 MV/ML 변전소가 더욱 관심의 대상이 된다. MV/ML 변전설비에 의해 발생하는 누설자계의 감소 방법은 보통 자계원(변압기, 부스바, 케이블, 스위치보드)의 레이아웃의 재배치나 금속 차폐판에 의해 달성된다. 도체배열의 최적화에 의해서도 주자계의 감소를 달성할 수 있으나 차폐판에 의한 차폐가 저비용의 관점에서 더욱 효과적일 수 있다. 금속차폐 시스템은 강자성 또는 또는 고도전성 물질로 구성할 수 있다. 자계원에 가까이 설치될 때는 얇은 도전성 차폐판이 강자성 차폐판보다 차폐특성면에서 더욱 효과적이다[1]. 이러한 차폐시스템의 설계를 위해서는 극저주파 자계원의 형상과 기하학적 구조를 정확하게 모델링할 수 있고, 차폐판에 흐르는 유도전류를 정확하게 계산할 수 있는 계산기법이 필요하다. 이러한 조건에 부합하는 여러가지 수치해석법이 문헌을 통해 제시되어 유용한 결과를 제시하고 있다.. 예로서 VCM 이나 CTM 과 같은 해석기법은 closed-form solution [2]을 얻는데 이용되어 왔다. 그러나 이러한 방법에서 이용한 2-D의 가정은 실제의 경우에 적용하는 데 한계가 있다. 따라서 설계단계에서 신뢰성 있는 자체해석을 위해서는 3차원 해석기법이 필요하다. 한편 일반용 3-D 상업코드는 보통 유한요소법 또는 유한체적법과 같이 미분방정식을 기초로 하고 있다. 이러한 방법들은 모든 기하학적 파라미터와 물질의특성을 쉽게 고려할 수 있으나 특히 원거리계의 경계조건을 취급하는때는 적합하지 않다. 더욱이 도체판과 같은 얇은 영역을 분할 할 때는 많은 변수를 필요로 하므로 수치해석상 몇가지 문제가 발생한다. 이와는 달리 MCM[3] 과 같은 적분기법은 모델의 실제적 부분만을 분할하여 할당 메모리 용량과 계산시간을 줄일 수 있으므로 특히 유리하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 MCM 을 기초로 하여 도전성 차폐판이 있는 경우의 자체해석을 함으로써 그 차폐효과를 분석하고자 한다.

2. 차폐도체판의 다도체 모델

도전성 비자성 차폐판의 자체차폐에 관한 연구는 다도체법(MCM:multi-conductor method)이라고 하는 회로해석기법을 이용하여 수행할 수 있다. 이 방법은 차폐판의 길이, 도전율, 도체의 수 및 도체의 형상에 의존하는 단면을 가진 병렬도체로 분할하는 차폐판의 분할에 기반을 둔다. 단면 형상의 선택은 유도전류밀도 분포의 정확한 산정을 위해 매우 중요하다. 차폐판의 분할에 있어서 원주도체를 채택할 수 있으나, 이 경우 빈 공간을 채우기 위한 2차 도체의 도입이 불가피하다. 그러나 직4각 도체를 채용하면 이러한 수정을 피할 수 있다. 본 연구에서는 차폐판의 분할도체의 단면을 직4각형으로 하여 유도전류 분포 및 그 효과를 검토하기로 한다.

분할도체수를 n 개라 하고 자계원인 소스전류를 I_a, I_b 라 하기로 한다. 소스도체와 분할도체사이의 상호인덕턴스를 M_{ka} 및 M_{kb} 라 하면 소스도체에 의해 분할도체 k 에 유도되는 전압은 다음 식으로 주어진다.

$$E_k = -j\omega [M_{ka} M_{kb}] \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

그러므로 n 개의 분할도체에 대한 유도전압은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$E_s = -j\omega \begin{bmatrix} M_{1a} M_{1b} \\ M_{2a} M_{2b} \\ \vdots \\ M_{na} M_{nb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

또 분할도체 상호간의 상호작용도 고려해야 하므로 분할도체 k 및 m 사이의 상호인덕턴스를 M_{km} 이라 하고 도체 m 의 유도전류를 I_m 이라 하면 I_m 에 의해 도체 k 에 유도되는 전압은 다음 식과 같이 된다.

$$E_{km} = -j\omega M_{km} \cdot I_m \quad (2.3)$$

따라서 n 개의 분할 도체에 대하여 다음 식을 쓸 수 있다.

$$E = \begin{bmatrix} Z_{11} & -j\omega M_{12} & \dots & -j\omega M_{1n} \\ -j\omega M_{21} & Z_{22} & \dots & -j\omega M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -j\omega M_{n1} & -j\omega M_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

이 경우 분할도체의 자기인덕턴스는 다음 식과 같이 주어진다[3].

$$M_{kk} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot l \cdot \left[\ln\left(\frac{l}{a}\right) + \frac{1}{2} - \epsilon \right] \quad (2.5)$$

여기서, l 은 차폐판의 길이, a 는 4각 단면의 폭이다. ϵ 은 4각단면의 변의 비에 의존하나 다른 항에 비해 무시할 수 있다. 분할 도체의 전기 저항은 다음 식으로 주어진다.

$$R_{kk} = \frac{l}{\sigma a^2} \quad (2.6)$$

여기서 σ 는 차폐판의 도전율이다. 따라서 식 (3.4)의 Z_{kk} 는 다음 식으로 주어진다.

$$Z_{kk} = R_{kk} + j\omega L_{kk} \quad (2.7)$$

또 분할도체 k 와 m 사이의 상호인덕턴스는 다음 식으로 주어진다.

$$M_{km} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot l \cdot \left(\ln\left(\frac{l}{d_{km}} + \sqrt{1 + \frac{l^2}{d_{km}^2}}\right) - \sqrt{1 + \frac{d_{km}^2}{l^2}} + \frac{d_{km}}{l} \right) \quad (2.8)$$

여기서 d_{km} 은 두 도체 사이의 거리이다. 소스도체 길이 l_s 와 차폐도체의 길이 l 이 다를 경우 M_{km} 은 다음 식[3]에 의해 계산할 수 있다.

$$M_{km} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left[[l_1 \cdot \left(\ln\left(\frac{l_1}{d_{km}} + \sqrt{1 + \frac{l_1^2}{d_{km}^2}}\right) - \sqrt{1 + \frac{d_{km}^2}{l_1^2}} + \frac{d_{km}}{l_1} \right) - [l_2 \cdot \left(\ln\left(\frac{l_2}{d_{km}} + \sqrt{1 + \frac{l_2^2}{d_{km}^2}}\right) - \sqrt{1 + \frac{d_{km}^2}{l_2^2}} + \frac{d_{km}}{l_2} \right)]] \right] \quad (2.9)$$

여기서 l_1 과 l_2 는 다음 식으로 주어진다.

$$l_1 = \frac{l_s + l}{2}, \quad l_2 = \frac{l_s - l}{2} \quad (2.10)$$

한편 차폐도체 시스템에서는 다음식이 성립해야 한다.

$$E + E_s = 0 \quad (2.11)$$

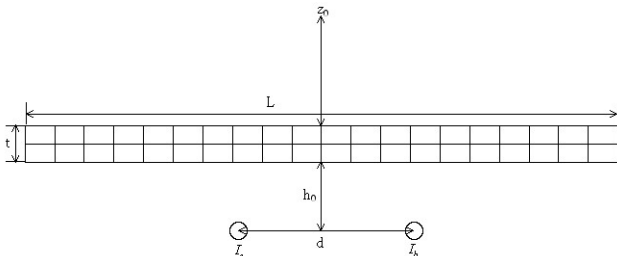
따라서 식 (3.2), (3.4) 및 (3.11)로부터 차폐도체의 유도전류를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = -j\omega \begin{bmatrix} Z_{11} & -j\omega M_{12} & \cdots & -j\omega M_{1n} \\ -j\omega M_{21} & Z_{22} & \cdots & -j\omega M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -j\omega M_{n1} & -j\omega M_{n2} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_{1a} & M_{1b} \\ M_{2a} & M_{2b} \\ \vdots & \vdots \\ M_{na} & M_{nb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

그러므로 소스전류 및 차폐도체의 유도전류에 의한 임의의 공간의 합성자계를 Biot-Savart 법칙에 의한 공식에 의해 구할 수 있다.

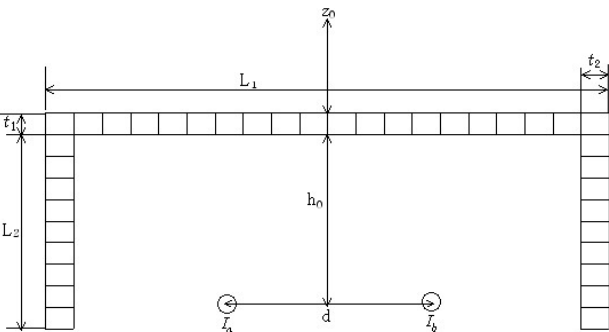
4. 차폐도체판의 도체분할 모델 및 계산 예

그림 1은 평판 차폐판의 분할모델 및 소스도체의 배열을 나타낸 것이다. 자계 계산에 적용된 차폐도체판의 치수로서 폭 $L=1[m]$, 두께 $t=2[mm]$ 이며 도체폭의 분할수는 500, 두께방향의 층수는 2로 하였다. 소스도체에 대해서는 $I_a=100[A]$, $I_b=-100[A]$ 의 단상 2선식으로서 도체간격 $d=10[cm]$, 차폐판간의 거리 $h_0=0.5[m]$ 로 하였으며 좌표의 원점은 차폐판의 중앙이다. 계산점은 차폐판으로 부터의 높이 $z=1[m]$ 로서 차폐판 중앙의 y 방향의 점이다. 차폐판은 알루미늄판으로서 도전율은 $\sigma=35 \times 10^6 [S/m]$ 이다. 또한 소스도체와 차폐판 분할도체는 서로 평행이며 그 평행길이는 5 [m]로 하였다.



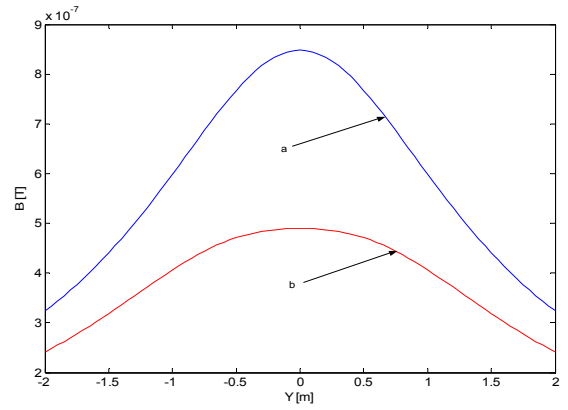
<그림 1> 평판 차폐판의 도체분할 모델 및 소스도체의 배열
<Fig.1> A discretization model of flat-shielding conductor plate and a configuration of source conductors.

그림 2는 U형 차폐판의 분할모델 및 소스도체의 배열을 나타낸 것이다. 여기서 $L_1=1[m]$, $L_2=0.5[m]$ 이며 $t_1=t_2=2[mm]$ 이다. 나머지 파라미터는 평판의 경우와 동일하다.

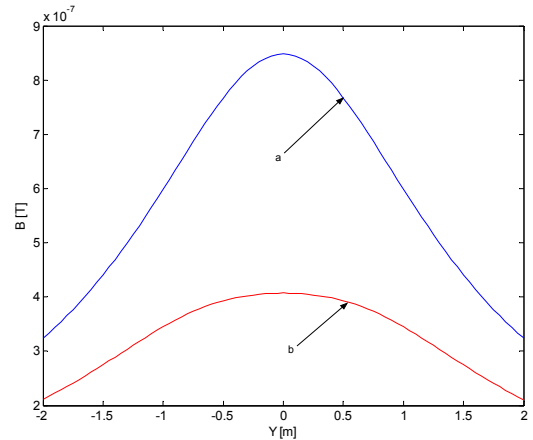


<그림 2> U형 차폐판의 도체분할 모델 및 소스도체의 배열
<Fig.1> A discretization model of U-shielding conductor plate and a configuration of source conductors.

그림 3 및 그림 4는 평판 및 U형 차폐판에 대하여 합성자계의 계산 결과를 나타낸 것으로서 그효과가 매우 큼을 알 수 있다.



<그림 3> 평판형 차폐판의 자계 감소효과
<Fig.3> Reduction effect of magnetic field in flat-shape shielding conductor.



<그림 4> U-형 차폐판의 자계 감소효과(a : 차폐판이 없는 경우 b : 차폐판이 있는 경우)
<Fig.3> Reduction effect of magnetic field in U-shape shielding conductor(a : no shield b : shielded).

5. 결 론

본 연구에서는 차폐효과 해석에 있어서 MCM을 이용하여 자계감소 효과를 분석하였다. 이 방법은 다른 해석 기법에 비해 메모리 용량 및 계산시간을 줄일 수 있으므로 매우 유력한 해석기법이라 할 수 있다. 또한 차폐판 내의 유도전류분포 및 포피효과 분석에도 이용할 수 있다. 이에 대한 해석결과를 제시한다.

[참 고 문 헌]

[1] O. Bottauscio, M. Chiampi, R. Conti, M. Repetto and M. ZUCCA, "Some considerations about environmental ELF MAGNETIC FIELD REDUCTION," Proc. 8th IGTE Symp. Numerical Field Calculation in Electrical Engineering, pp.275~280, Sep. 1998

[2] A. Canova, A. Manzin and M. Tartaglia, "Evaluation of different analytical and semi-analytical methods for the design of ELF magnetic field shields," IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 38, no. 3 pp. 788~796, 2002

[3] A. Canova, G. Grusso, "Integral methods for analysis and design of low-frequency conductive shields," IEEE Trans. Mag. vol. 39, no. 4, pp.2009~2017, 2002