유한폭 무한장 차폐판의 차폐효과 해석

강대하*, 박상호^. 박윤동**. 심재구^. 노일수*. 김구송***. 김휘칠^^
부경대학교* 전기안전공사** 한국전력*** 한국폴리텍 5대학^ 한국폴리텍 7대학^^

Calculation of induced currents and analysis of shielding effectiveness in shield

Dael-Ha Kang*, Sang-Ho Park^. Yun-Dong Park**. Jae-Gu Shim^. Il-Soo Rho*. Ku-Song Kim***. Huy-Chil Kim^^
Pukyong National University*, KESCO** KEPCO*** Korea Polytech 5 College^ Korea Polytech 7 College^^

Abstract - In this study simple formula of magnetic field in case of shield with finite-width infinite-length were deduced. By using these formula calculation is very fast and programing is easy. The formula are applicable to analysis of shielding effectiveness and the design for shield of distribution lines.

1. 서 론

극저주파 자계를 차폐해야 되는 이유는 두 가지가 있다. 그 하나는 건강의 위해에 대한 관심의 고조이며 다른 하나는 CRT 모니터와 같이 전자빔의 조작과 함께 일러나는 간섭 문제이다. 일정 공간 내에서 자계를 감소시키는 한 가지 방법은 차폐판에 의해 그곳을 둘러싸는 것이다. 극저주파에서는 도전성 재료 또는 자성 재료로서 차폐판을 구성할 수 있다. 도전성 차폐판의 자계 차폐 메카니즘은 와류에 의한 상쇄 메카니즘이며 자성 차폐판의 자계차폐 메카니즘은 자속분로(flux shunting) 메카니즘이다. 이러한 차폐판의 설계에는 몇 가지 어려움이 따른다. 즉, 자계차폐는 확인되지 않는 소스의 위치와 방향에 의존한다. 또한 차폐설계에는 일반적으로 계산시간이 긴 수치계산법이 이용되며 이러한 방법들은 물리적 이론이 모호할 때가 종종 있다. 또 수치계산법의 복잡성 때문에 차폐판의 최적설계를 위한 작업이 어렵다는 점 등이다.

본 연구에서는 이상의 결점을 보완하기 위하여 유한폭 무한장 차폐판에 한하여, 도전성 또는 자성 차폐판의 차폐효과 분석을 위한 간단한 자계 식을 도출하였다.

2. 등각사상법(CTM)에 의한 자계 식의 유도

직교 w좌표계에서 x-방향의 무한장 직선 소스도체에 흐르는 전류 I에 의한 자계는 식 (1)~(3)으로 주어진다.

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot real(\frac{1}{w-w_0}) \quad (1)$$

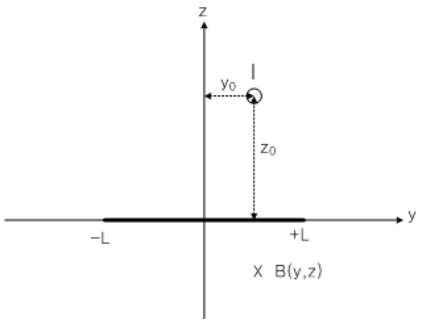
$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot imag(\frac{1}{w-w_0}) \quad (2)$$

$$B_0 = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (3)$$

단, $w = y + jz$: 자계 계산점

$w_0 = y_0 + jz_0$: 소스도체 위치

지금 폭 $2L$인 도전성 또는 자성 차폐판이 그림 1과 같이 좌표축의 중앙에 위치해 있는 경우를 가정한다.

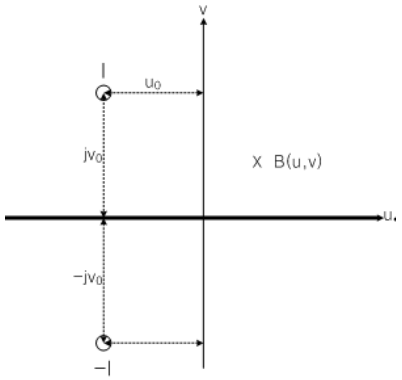


<그림 1> w-직각 좌표계

이와 같은 문제는 등각사상(conformal transformation)법을 이용하면 용이하게 자계문제를 해석할 수 있다. $q = u + jv$를 변환 좌표계의 변수라 하고 w와 q가 다음과 같은 관계가 있다고 하면,

$$w = L(\frac{1-q^2}{1+q^2}) \quad (4)$$

y,z평면에서의 폭 $2L$인 차폐판은 u,v평면에서는 그림 2와 같이 $\pm\infty$로 확대 사상된다. 차폐판이 도체일 경우, 영상도체가 존재하며 이 경우 차폐판의 표면에서 반사파가 발생한다.



<그림 2> q-직각 좌표계

따라서 그 반사계수를 고려하고 다시 w좌표계로 환산하면 임의 공간의 자계는 식 (5)~(7)로 주어진다.

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi}[real(\frac{1}{q-q_0} \cdot \frac{dq}{dw}) + R_f \cdot real(\frac{1}{q-q_0^*} \cdot \frac{dq}{dw})] \quad (5)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi}[imag(\frac{1}{q-q_0} \cdot \frac{dq}{dw}) + R_f \cdot imag(\frac{1}{q-q_0^*} \cdot \frac{dq}{dw})] \quad (6)$$

$$B = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (7)$$

단, $\frac{dq}{dw}=-\frac{(1+q^2)^2}{4Lq}$ $\quad q=\mp\sqrt{\frac{L-w}{L+w}}$

또 R_f는 반사계수로서 다음 식으로 주어진다[1].

$$R_f=\frac{\eta_1-\eta_{nf}}{\eta_1+\eta_{nf}} \tag{8}$$

단 $\eta_1\simeq\sqrt{j\omega\mu_0\mu_r/\sigma}$ $\quad \eta_{nf}=j\omega\mu_0\frac{|q-q_d|}{\left|\frac{dq}{dw}\right|}$, $q_d=\frac{q_0^*}{2}$

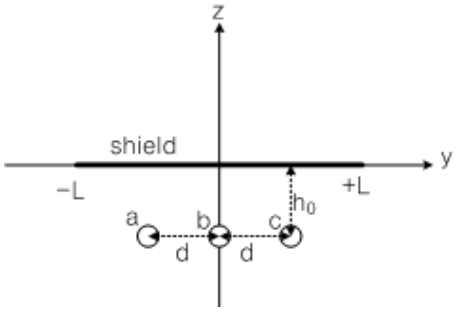
R_f는 완전 도체의 경우 -1이며, 완전 자성체인 경우 $+1$이다.

한편 차폐효율은 다음 식으로 정의된다.

$$SE=20\log_{10}\frac{|B|}{|B_0|} \tag{9}$$

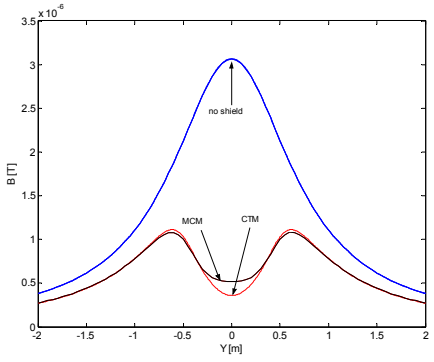
3. 계산예

그림과 3과 같은 도체배열에 대하여 자계 및 차폐효율을 계산하였다.

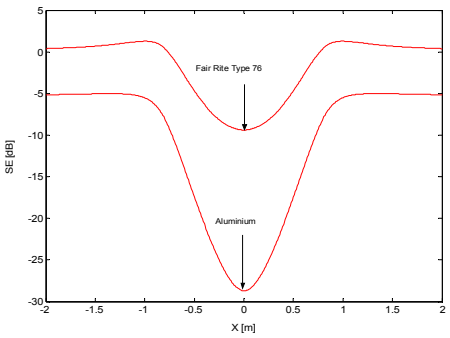


〈그림 3〉 도체배열

그림 4는 비교를 위해 알루미늄 차폐판에 대하여 다도체법(MCM)에 의한 자계의 계산결과를 함께 도시한 것이며 $d=0.05\,[m], h_0=0.5\,[m]$, $L=0.8\,[m]$, 3상 100 $[A]$, 계산점은 $z=0.25\,[m]$의 경우이다. 차폐판의 중앙 부근을 제외하고는 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 5는 차폐효율을 나타낸 것으로서 계산조건은 $d=0.2\,[m], h_0=0.5\,[m]$, $L=0.8\,[m]$, 계산점 $z=0.25\,[m]$, 3상 100 $[A]$이며, 알루미늄 ($\sigma=35\times10^6\ [S/m]$, $\mu_r=1$)과 Fair Rite Type 76 ($\sigma=2$, $\mu_r=10000$)에 대한 것이다. 이 결과는 문헌 [1]의 결과와 완전 일치하며 도전성 차폐판의 경우가 강자성체의 경우보다 차폐효율이 큼을 알 수 있다.



〈그림 4〉 다도체법(MCM)과 등각사상법(CTM)의 계산결과 비교



〈그림 5〉 차폐판의 차폐효과

4. 결 론

본 연구에서는 등각사상법을 이용하여 유한폭 무한장 차폐판이 있는 경우의 간단한 자계식을 도출하였다. 이 식은 수치계산에 의한 방법 보다 계산시간이 빠르며 계산 프로그램 작성이 용이하다. 또한 도전성 차폐판 뿐만 아니라 자성 차폐판의 경우에도 적용할 수 있어 차폐효과 분석 및 차폐설계에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] Pablo Moreno, Robert G. Olsen,"A method for estimating magnetic shielding by 2-D-thick planar plates for distribution systems shielding", IEEE Transaction Power Dilivery, Vol. 25, no. 4, pp. 2710~2716, 2010