

폭이 좁은 슬롯을 통하여 침입하는 침투전자파의 저감법

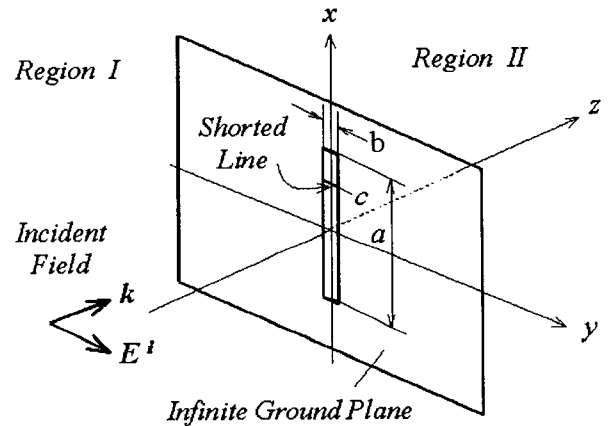
강 우진 정 광현 김 기채
 영남대학교 전자정보공학부

Reduction of Electromagnetic Penetration Through Narrow Slots in Conducting Screens

Woo Jin Kang Gwang Hyun Jung Ki-Chai Kim
 School of Electrical and Computer Engineering, Yeungnam University
 Tel: 053-810-2583 kckim@yu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 무한히 넓은 도체판에 폭이 좁은 슬롯이 있을 때 슬롯을 통하여 침투하는 침투전자파의 크기를 계산하고 침투 전자파의 저감방법을 검토하고 있다. 이론해석으로서는 슬롯 개구면의 전개분포에 관한 적분방정식을 유도하고 구분정현함수를 사용한 Galerkin 의 모멘트법으로 침투전자파의 크기를 계산하고 있다. 슬롯에 평면파가 입사할 때 침투 전자파를 저감시키기 위한 단락도체에 의해 개구면 전개분포가 제어되고 침투전자파의 크기가 감소된다는 것을 확인하고 있다.



1. 서 론

정보화 사회에서 이용되고 있는 고도로 발달된 전기, 전자, 정보처리기기들은 동작전류가 작아지고 있으며, 처리신호도 아날로그에서 디지털화 되어가고 있다. 또한 기기의 내부는 고밀도화 되고 있으므로 전기, 전자, 정보처리장치들은 전도성 잡음 및 방사성 잡음에 대하여 내성이 강한 제품이 되도록 설계되어야 된다. 최근에 사용이 급증하고 있는 개인 휴대전화기와 정전기 방전 등으로부터 발생하는 전자파는 전기, 전자, 정보처리기기에 침투하여 전기, 전자기기에 오작동을 일으키게 하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다.

전자파 침투에 관한 연구는 여러 연구자들에 의해 많이 이루어져 있는데, 반 무한공간의 도체 평면상에 존재하는 개구를 통한 침투 전자파의 해석에 관한 연구[1]~[3], 폭이 좁은 개구에 의한 전계의 주파수 응답특성에 관한 연구[4] 등이 보고되어 있으며 침투 전자파의 저감법에 관한 연

그림 1. 슬롯 개구에 단락도체를 설치한 무한 도체평판.

구도 보고되어 있다[5, 6].

본 논문에서는 무한 도체판에 존재하는 폭이 좁은 슬롯에 단락도체를 설치하였을 때, 평면파 입사에 대한 침투전자파의 특성을 검토하고 있다. 본 논문에서 검토하고 있는 단락도체의 설치는 결과적으로 부등간격 슬롯 개구와 등가로 생각할 수 있다.

이론해석의 결과, 슬롯 개구면에 단락도체를 적절히 설치하면 침투전자파의 크기를 저감시킬 수 있으며, 가장 긴쪽의 슬롯 길이에 공진하는 주파수 부근에서 전자파의 침투가 가장 크다는

것을 확인할 수 있었다.

$$\mathbf{E}^i = \hat{y} E_{0y}^i e^{-jkz} \quad (3-a)$$

$$\mathbf{E}^r = -\hat{y} E_{0y}^i e^{jkz} \quad (3-b)$$

2. 이론해석

그림 1 은 무한 도체판에 존재하는 개구를 통한 평면파의 전자파 침투문제를 해석하기 위한 구조와 좌표계를 나타낸다. $z=0$ 면에 놓여진 무한히 넓은 도체판 위에 폭이 좁은 개구($a \times b$)가 있고 그림과 같이 평면파가 개구를 향하여 z 방향으로 입사하고 있다. 개구면에는 침투전자파의 크기를 저감시키기 위해 사용하는 단락도체가 $x=c$ 의 위치에 설치되어 있다.

그림 1 에서 보는 것처럼 무한 도체판의 좌우를 영역 I ($z < 0$), 영역 II ($z > 0$)로 나누고 각각의 영역에서의 전자계를 구한 다음 각각의 전자계를 개구면에서 접속한다.

영역 I 에서 평면파가 입사한다고 가정하면 개구면 전계분포 \mathbf{E}_a 에 관한 적분방정식은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} & \hat{z} \times \{ \mathbf{H}^i + \mathbf{H}^r + \hat{y} I_y \delta(x-c) \\ & + \frac{1}{j\omega\mu_0} \iint_{S'_a} \bar{\mathbf{K}}_{um}^I \cdot [\hat{z} \times \mathbf{E}_a] dS'_a \} \\ & = (-\hat{z}) \times \frac{1}{j\omega\mu_0} \iint_{S'_a} \bar{\mathbf{K}}_{um}^{II} \cdot [-\hat{z} \times \mathbf{E}_a] dS'_a \quad (1) \end{aligned}$$

여기서, \hat{z} 는 z 방향의 단위벡터이며, $\delta(\cdot)$ 는 디랙의 델타함수, $\bar{\mathbf{K}}_{um}^{I,II}$ 는 영역 I 및 II 에서의 자류원이 자계를 생성시키는 다이애딕 그린함수이다. S'_a 는 $z=0$ 의 개구면을 나타내며, 시간 의존성은 $\exp(j\omega t)$ 로 가정한다. 또한 개구면의 폭은 사용 파장에 비해 충분히 작으므로 등가반경의 개념을 적용하여 반경이 $b/4$ 인 자류가 개구의 중심축에 집중하여 흐른다고 가정하고 있다.

식 (1)에서 I_y 는 단락도체가 설치된 위치에서의 전류치이며 다음과 같다.

$$I_y = \frac{V_L}{Z_L} \quad (2)$$

여기서, V_L 은 단락도체 설치점의 전압을 나타내고, Z_L 은 단락도체의 내부 임피던스이다.

또한, 식 (1)의 \mathbf{H}^i 및 \mathbf{H}^r 은 각각 입사자계 및 개구면을 도체판으로 가정하였을 경우의 반사자계이며, 입사전계의 식

로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\mathbf{H}^i = -\hat{x} \frac{1}{Z_0} E_{0y}^i e^{-jkz} \quad (4-a)$$

$$\mathbf{H}^r = -\hat{x} \frac{1}{Z_0} E_{0y}^i e^{jkz} \quad (4-b)$$

슬롯 개구면의 전계분포(자류분포)를 구하기 위해 적분방정식 (1)을 모멘트법으로 해석한다. 모멘트법으로 해석하기 위해 슬롯의 개구면 전계분포 \mathbf{E}_a 를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다

$$\mathbf{E}_a(y) = \hat{y} \sum_{n=1}^N V_n F_n(y) \quad (5)$$

여기서, \hat{y} 는 y 방향의 단위벡터, V_n 은 미지의 전개계수이며 기지의 함수는 구분정현함수를 사용한다. 식 (5)를 적분방정식 (1)에 대입하고 Galerkin 의 모멘트법을 적용하면 적분방정식은 일차방정식으로 변환되며 이로부터 미지의 전개계수를 구하면 침투 전자계를 계산할 수 있다.

식 (3) 및 (4)와 같은 평면파가 개구면을 향하여 입사할 때, 개구를 통하여 침투된 영역 II 에서의 전계는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$E_y = -\frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^N V_n \frac{1}{\sin k \Delta x_n} [S_L + S_U] \quad (6)$$

여기서,

$$S_L = \int_{x_{n-1}}^{x_n} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \sin k(x' - x_{n-1}) dx' \quad (7)$$

$$S_U = \int_{x_n}^{x_{n+1}} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \sin k(x_{n+1} - x') dx' \quad (8)$$

이다.

3. 부등간격 슬롯에 의한 침투전자파의 저감

그림 1에서 $x=c$ 의 위치에 단락도체를 설치하면 슬롯 개구면의 전계분포를 변화시킬 수 있으므로 개구면 임피던스를 제어할 수 있다. 침투되는 전자파는 개구면 전계분포에 의해 지배되므로 개구면 전계분포를 제어하면 침투전자파의 크기를 저감시킬 수 있다. 이와 같은 단락도체의 설치는 결과적으로 부등간격 개구와 등가가 되며 단락도체로 슬롯의 길이를 조절하면 특정 주파수에서의 침투전자파의 크기를 저감시킬 수 있다.

본 논문에서 검토하고 있는 단락도체의 설치에 의한 침투전자파의 해석은 다수의 슬롯이 일직선상에 존재하는 경우에 대한 연립 적분방정식의 해법을 대치할 수 있다.

4. 수치 계산결과 및 검토

계산에 사용한 개구의 크기는 $a=15\text{ cm}$, $b=1\text{ mm}$ 로서 폭이 사용과장에 비교하여 아주 좁은 직사각형의 슬롯이다. 그림 2는 단락도체의 위치($x=c$)에 대한 침투전자파의 크기를 나타내며, 주파수 1 GHz의 평면파가 영역 II의 5 cm 위치에 침투하는 침투전계의 크기를 계산한 결과이다. 그림으로부터 알 수 있는 것처럼, 단락도체를 슬롯 개구의 중앙에 설치하면 침투전계의 크기가 가장 크게 감소된다.

그림 3은 단락도체를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 침투전계의 주파수 특성을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 단락도체를 설치하지 않았을 경우에는 1 GHz 부근에서 슬롯공진이 일어나고 침투전계의 크기가 가장 크다. 그러나, 단락도체를 슬롯의 중앙에 설치($c=0\text{ cm}$)하면 각각의 슬롯의 길이가 7.5 cm가 되어 대칭이 되고 1.77 GHz 부근에서 슬롯공진이 일어나며, $c=3\text{ cm}$ 에 설치하면 긴 쪽의 슬롯길이는 10.5 cm, 짧은 쪽의 슬롯길이는 4.5 cm가 되며 슬롯공진은 1.46 GHz 부근에서 일어난다는 것을 알 수 있다. 즉, 가장 긴 쪽의 슬롯길이에 공진하는 주파수 부근에서 최대 전계가 침투된다는 것을 확인할 수 있다.

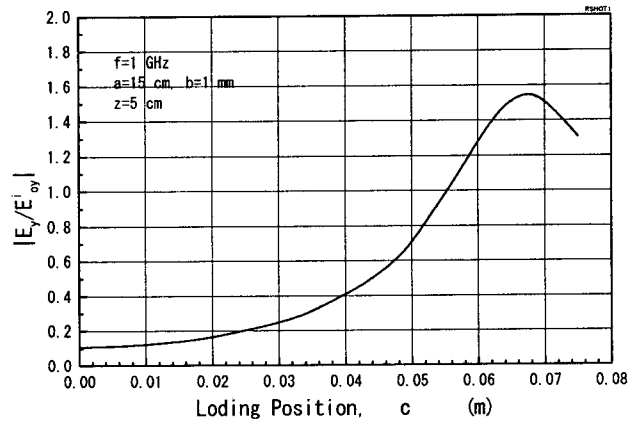


그림 2. 단락도체의 위치에 대한 침투전계

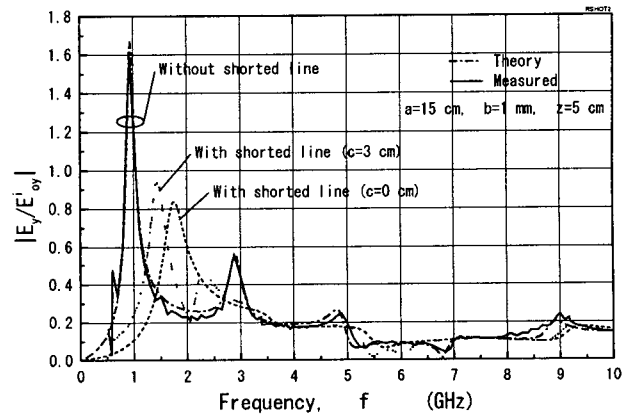


그림 3. 침투전계의 주파수 특성

4. 결론

무한히 넓은 도체판에 폭이 좁은 슬롯이 존재할 때 개구를 통하여 침투하는 전자파의 크기를 모멘트법으로 해석하고, 침투전자파의 크기를 저감시키기 위해 슬롯 개구면에 단락도체를 설치한 경우의 침투전자파에 대하여 검토하였다. 이론해석의 결과, 슬롯에 단락도체를 설치하면 침투전계의 크기를 줄일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] C. M. Butler and K. R. Umashankar, "Electromagnetic excitation of a wire through an aperture-perforated conducting screen," IEEE Tran. on Antenna and propag., vol. AP-24, no. 4, pp. 456~462, July 1976.
- [2] C. M. Butler, Y. R. Samii and R. Mittra, "Electromagnetic penetration through apertures in conducting surfaces," IEEE Tran. on Antenna and propag., vol. AP-26, no. 1, pp. 291~301, January 1978.
- [3] C. D. Taylor, "Electromagnetic pulse penetration through small apertures," IEEE Tran. On Electromagnetic Comp., vol. EMC-15, no. 1, pp 17~26, February 1973.
- [4] E. R. Reed and C. M. Butler, "Time-Domain electromagnetic penetration through arbitrarily shaped narrow slots in conducting screens," IEEE Tran. on Electromagnetic Comp., vol. 34, no. 3, pp 161~172, August 1992.
- [5] 김기채, 진대규, "폭이 좁은 개구를 통한 침투 전자파의 해석", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 제 23 권, 제 2 호, pp.411-414, 2000.
- [6] Ki-Chai Kim and Min Seok Kim, "On the reduction technique of electromagnetic penetration through narrow slots in conducting screen", Proceedings of KJJC-AP/EMC/EMT 2001, pp.107-110, Sep. 2001.