

## 도체평판의 슬롯을 통하여 침입하는 침투전자파의 저감

김 기채 김 민석  
영남대학교 전자정보공학부

### Reduction of Electromagnetic Penetration Through Narrow Slots in Conducting Screens

Ki-Chai Kim Min Seok Kim  
School of Electrical and Computer Engineering, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2583 kckim@yu.ac.kr

#### 요 약

본 논문에서는 무한 도체판에 존재하는 폭이 좁은 슬롯에 단락도체를 설치하였을 때 슬롯을 통하여 침투하는 침투전자파의 크기를 검토하고 있다. 이론해석으로서는 슬롯 개구면의 전개분포에 관한 적분방정식을 유도하고, 개구면 전개분포를 등가 반경의 개념을 적용한 선자류로 가정하여 구분정현함수를 사용한 Galerkin의 모멘트법으로 침투전자파의 크기를 계산하였다. 슬롯에 평면파가 입사할 때 슬롯 개구에 설치된 단락도체에 의해 개구면 전개분포가 제어되고 침투전자파의 크기가 감소된다는 것을 확인하고 있다.

#### 1. 서 론

오늘날 고도로 발달된 전기, 전자 관련기술은 전기, 전자, 정보처리기기들의 동작전류를 작아지게 하고 있으며, 처리신호도 아날로그에서 디지털화 되어가고 있다. 또한 기기 내부는 고밀도화 되고 있으므로 전기, 전자제품은 전도성 잡음 및 방사성 잡음에 대하여 내성이 강한 제품이 되도록 설계되어야 된다. 최근에 사용이 급증하고 있는 개인 휴대전화기와 정전기 방전 등으로부터 발생되는 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

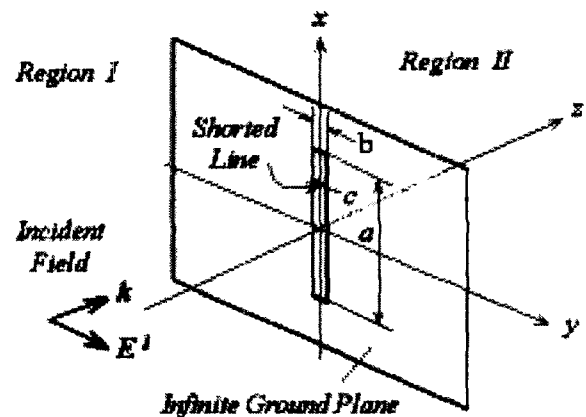


그림 1. 슬롯 개구에 단락도체를 설치한 무한 도체평판.

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 설치에 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 크다

는 것을 확인할 수 있었다.

## 2. 이론해석

그림 1은 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 1에서 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 I에서 평면파가 입사한다고 가정하면 개구면 전계분포  $E_a$ 에 관한 적분방정식은 다음과 같이 구해진다.

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

여기서,  $\hat{z}$ 는  $z$  방향의 단위벡터이며,  $\delta(\cdot)$ 는 디랙의 델타함수,  $\bar{\mathbf{K}}_{am}^{I,II}$ 는 영역 I 및 II에서의 자류원이 자계를 생성시키는 다이애틱 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

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

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

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  $E_a$ 를 다음과 같은 기지의 함수로 전개한다.

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

여기서,  $\hat{y}$ 는  $y$ 방향의 단위벡터,  $V_n$ 은 미지의 전개계수이며 기지의 함수는 구분정현함수를 사용한다. 식 (5)를 적분방정식 (1)에 대입하고 Galerkin의 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 II에서의 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 설치 결과는 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.

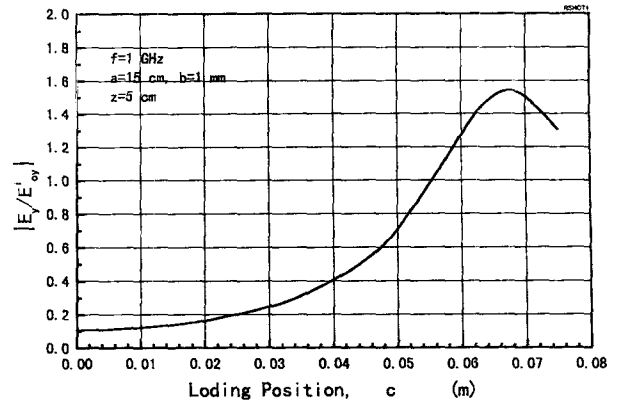


그림 2. 단락도체의 위치에 대한 침투전계

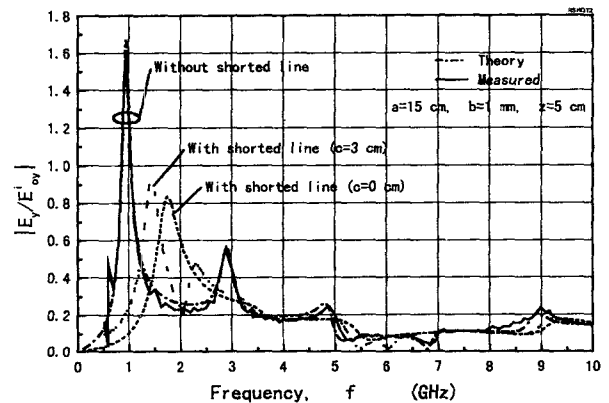


그림 3. 침투전계의 주파수 특성

### 4. 결 론

무한 도체판에 존재하는 폭이 좁은 슬롯 개구를 통하여 침투하는 전자파의 크기를 등가반경의 개념을 적용한 선자류를 미지함수로 하는 적분 방정식을 유도하여 모멘트법으로 해석하고, 침투전자파의 크기를 저감시키기 위해 슬롯에 단락도체를 설치한 경우의 침투전자파에 대하여 검토하였다.

이론해석의 결과, 단락도체를 슬롯 개구에 설치하면 침투전계의 크기를 저감시킬 수 있으며, 슬롯길이에 공진하는 주파수 부근에서 침투되는 전계의 크기가 최대가 된다는 것을 알 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.