

평행평판 장하에 의한 슬릿 침투 전자파의 저감 특성

(REDUCTION OF ELECTROMAGNETIC PENETRATION THROUGH NARROW SLOTS IN CONDUCTING SCREEN BY PARALLEL PLATE LOADING)

박은정 주창현 김기채
Eun Jung Park Chang-Hyun Ju Ki-Chai Kim
영남대학교 전기공학과

Abstract

This paper presents the reduction characteristics of penetrated electromagnetic fields through a narrow slot aperture in a planar conducting screen of infinite extent. When a plane wave is excited to the narrow slot, the aperture electric field is controlled by the parallel plate connected on the slot. The magnitude of penetrated electromagnetic fields through a narrow slot is controlled by electric field distributions on the slot aperture. An integral equation for the aperture electric field on narrow slots is derived and solved by applying Galerkin's method of moments. The results show that the magnitude of the penetrated electromagnetic field can be effectively reduced by installing the parallel plate on the slot aperture.

1. 서론

도체평판상의 개구를 통한 전자계의 침투문제는 많은 연구자들에 의해 연구되었다[1]-[5]. 전기·전자장치들의 차폐문제는 슬릿 개구로 침투하는 전자파의 크기가 매우 중요하다. 개구면에 평행한 도선을 설치하여 도체평판상의 좁은 개구를 통한 침투 전자파의 저감에 관한 연구는 이미 보고되어 있다[6, 7].

본 논문에서는 평면파가 무한 도체 평판상의 슬릿 개구로 입사할 때, 개구에 평행선로와 평행평판을 설치한 경우 침투 전자파 저감 특성을 검토하였다. 이론해석적으로는 개구면의 전개분포에 대한 적분방정식을 유도하고 Galerkin의 모멘트법을 사용하여 해를 구하여 침투 전자파의 크기를 계산하였다. 평면파가 슬릿 개구면으로 입사할 때, 개구면에 설치된 평행선로, 또는 평행평판에 의해 개구면 전개분포를 제어하여 침투 전자파를 저감시킬 수 있음을 확인하였다. 이론해석의 타당성을 검토를 위해 실험결과와도 비교하였다.

2. 본론

그림 1은 슬릿 개구가 있는 무한평판의 좌표계를 나타내고 있다. 무한평판은 xy 평면에 설치되어 있고, x 축과 평행하게 슬릿 개구가 있다. 길이가 l ,

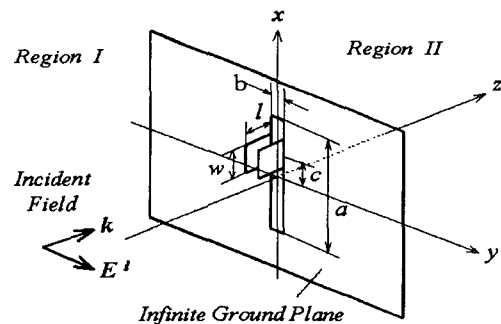


Fig. 1. Aperture with a parallel plate in planar conducting screen of infinite extent.

폭이 w 인 평행평판은 x 축을 따라 c 의 위치에 z 축과 평행하게 설치되어 있다.

이론 해석을 위해 그림 1에서 처럼 무한도체평판을 중심으로 하여 두 개의 영역 I, II로 나눈다. 영역 I ($z < 0$)에는 입사파가 존재하며 입사파는 개구를 통해 영역 II ($z > 0$)로 침투한다. 두 영역은 모두 자유 공간을 가정하였다.

개구면상에 존재하는 폭 b 인 자유는 반경이 $b/4$ 인 원통자류로 등가 표현할 수 있다. 평면파가 개구면으로 입사하면 개구면 상의 미지의 전개분포 E_n 에 관한 적분 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{z} \times \left\{ H^i + H^r + \hat{y} I_y \delta(x-c) + \frac{1}{j\omega\mu_0} \iint_{S_a} \bar{K}_m^i \cdot [\hat{z} \times E_a] dS_a^i \right\}$$

$$= \hat{z} \times \frac{1}{j\omega\mu_0} \iint_{S_a} \bar{K}_m^i \cdot [-\hat{z} \times E_a] dS_a^i \quad (1)$$

여기서, $\delta(\cdot)$ 는 디랙의 델타함수이다. 시간의존성은 $\exp(j\omega t)$ 이며 생략하였다. 첨자 I 과 II 는 각각 영역 I 과 영역 II 를 나타낸다. \hat{y} 및 \hat{z} 는 y 및 z 방향의 단위벡터, dS_a^i 는 개구면의 미소 면적이며, \bar{K}_m^i 과 \bar{K}_m^r 은 각 영역에서의 다이에틱 그린함수이다.

I_y 는 평행도선 또는 평행평판 접속점에서의 전류이며 다음식과 같다.

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

여기서, V_L 은 평행평판 접속점의 전압이고, $Z_L (= b\eta/\omega)$ 은 길이 l 인 평행평판의 임피던스이다. η 은 자유공간의 특성임피던스이다.

입사자계와 반사자계는 각각 다음과 같다.

$$H^i = -\hat{x} \frac{1}{Z_0} E_{0y}^i e^{-jkz} \quad (3a)$$

$$H^r = -\hat{x} \frac{1}{Z_0} E_{0y}^r e^{-jkz} \quad (3b)$$

적분방정식(1)의 해를 구하기 위해 개구면상의 전개분포 E_a 를 다음과 같이 급수전개한다.

$$E_a(x) = \hat{y} \sum_{n=1}^{\infty} V_n F_n(x) \quad (4)$$

여기서, V_n 은 미정계수이고, F_n 은 구분적 정현 전개함수이다. 식 (4)를 적분방정식 (1)에 대입하고 Galerkin의 모멘트법을 적용하면, 다음과 같은 미지의 전개계수에 대한 연립일차방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{n=1}^{\infty} V_n (Y_{nn} - Y_{nn}^L) = I_n \quad (5)$$

여기서,

$$Y_{nn} = \frac{-2}{j\omega\mu_0} \iint F_n'(x) \left(k^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \frac{e^{-jkR}}{2\pi R} F_n'(x) dx' dx \quad (6)$$

$$Y_{nn}^L = \frac{-b}{Z_L} F_n(c) \int F_n'(x) \delta(x-c) dx \quad (7)$$

$$I_n = -(H_x^i + H_x^r) \int F_n(x) dx \quad (8)$$

평면파가 폭이 좁은 개구로 입사할 때, 영역 II 로 침투하는 침투전계는 다음과 같이 주어진다.

$$E_y = -\frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} V_n \frac{1}{\sin k\Delta x_n} [S_L + S_U] \quad (9)$$

여기서,

$$S_L = \int_{x_{n-1}}^{x_n} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \text{sinc}(x' - x_{n-1}) dx' \quad (10)$$

$$S_U = \int_{x_n}^{x_{n+1}} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \text{sinc}(x_{n+1} - x') dx' \quad (11)$$

이다.

3. 수치 계산결과 및 검토

본 논문에서 사용한 개구는 폭이 파장에 비해 매우 좁은 구조이며 크기는 $a = 15$ cm, $b = 1$ mm 이다.

그림 2는 1 GHz의 평면파가 평행도선이 설치된 개구로 입사할 때, $z = 5$ cm에서의 침투 전계의 크기를 나타내고 있다. 그림 2에서 보는 것처럼, 평행도선 또는 평행평판의 길이를 조절하면 침투 전자파의 크기를 감소시킬 수 있으며, 평행평판의 길이가 $0.311\lambda \sim 0.438\lambda$ 일 때 침투 전계의 크기가 0이 된다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 슬릿 개구의 $c = 0$ cm의 위치에 설치한 평행평판의 길이가 3 cm (0.1λ , 1 GHz)일 때, $z = 5$ cm에서의 침투 전계의 주파수 특성을 나타내고 있다. 일점쇄선은 평행평판 또는 평행도선이

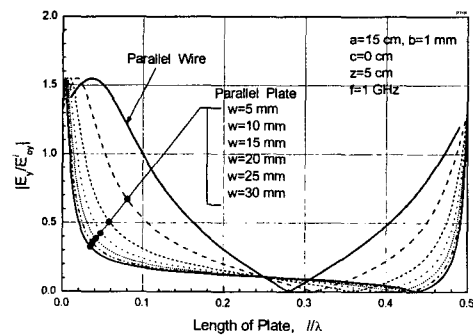


Fig. 2 Penetrated electric fields versus length of the parallel plate.

4. 결론

본 논문에서는 무한도체평판의 폭이 좁은 개구에 침투하는 침투전계의 주파수 특성을 모멘트법으로 검토하였다. 그 결과, 슬릿 개구에 평행도선을 설치하는 것이 평행평판을 설치하는 것보다 침투하는 전계의 크기를 효과적으로 저감시킬 수 있음을 실험 및 이론해석을 통하여 확인할 수 있었다. 무한도체평판상의 슬릿 개구에 평행평판 또는 평행도선을 설치 함으로써 침투전자계를 효과적으로 저감시킬 수 있으므로 전자파 차폐기법으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

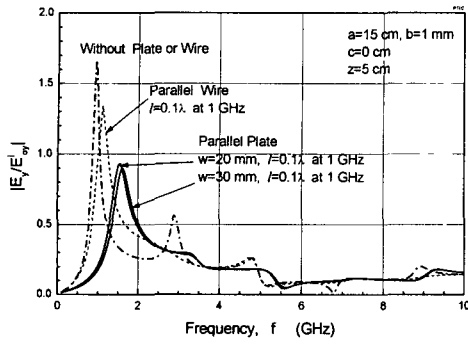


Fig. 3 The penetrated electric fields by parallel plate or wires.

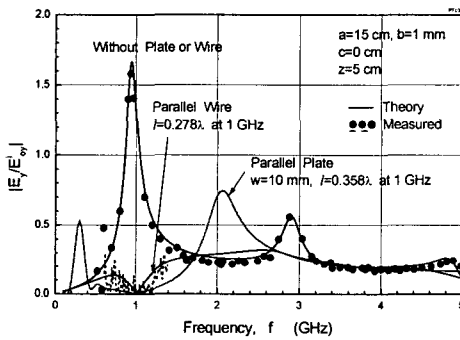


Fig. 4 The penetrated electric fields by parallel plate and wires.

없을 경우를 나타낸다. 이 경우 침투된 전계의 최대치는 0.94 GHz와 2.9 GHz에서 나타난다. 이 주파수들은 길이가 15 cm인 슬릿 개구의 공진 주파수와 일치한다. 그림 3에서 알 수 있는 것처럼 평행도선의 길이가 $l=3$ cm일 때보다 평행평판의 길이가 $l=3$ cm일 때 침투 전계가 더 작다.

그림 4는 슬릿 개구의 $c=0$ cm의 위치에 길이가 10.74 cm (0.358λ , 1 GHz)인 평행평판을 설치 하였을 때, 그리고 길이가 8.34 cm (0.278λ , 1 GHz)인 평행도선을 설치하였을 때, $z=5$ cm에서의 침투전계의 주파수 특성을 나타내고 있다.

그림 4에서 알 수 있는 것처럼, 개구에 평행도선을 설치하였을 때가 평행평판을 설치 하였을 때보다 더 효과적으로 침투 전계를 저감시킬 수 있다. 영역 II에서 계산된 전계는 실험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the EMERC (Electro Magnetic Environment Research center) in Chungnam National University, one of IT Research Centers.

REFERENCES

- [1] C. D. Taylor, "Electromagnetic pulse penetration through small apertures," IEEE Tran. on Electromag. Compa., vol. EMC-15, no.1, pp 17~26, February 1973.
- [2] 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.
- [3] C. M. Butler, Y. Rahmat-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, Jan. 1978.
- [4] Y. Rahmat-Samii and R. Mittra, "Electromagnetic coupling through small apertures in a conducting screen," IEEE Tran. Antennas and propagat., vol.AP-25, no.3, pp.180~187, Mar. 1977.
- [5] E. R. Reed and C. M. Butler, "Time-domain electromagnetic penetration through arbitrarily shaped narrow slots in conducting screens," IEEE Tran. Electromag. Compat., vol.34, no.3, pp 161~172, August 1992.
- [6] Ki-Chai Kim and Min Seok Kim, "On the reduction technique of electromagnetic penetration through narrow slots in conducting screen", KJJC-AP/EMC/EMI 2001 Proceeding, pp. 107-110, Sep. 2001.
- [7] Ki-Chai Kim, Sung Min Lim, and Min Seok Kim, "Reduction of Electromagnetic Penetration through Narrow Slots in Conducting Screen by Two Parallel Wires", IEICE Transaction on Comm., in press, 2005.