

# 영상 평면을 이용한 PCB의 EMI 감쇠 분석

## (EMI Reduction by PCB Image Planes)

김진석·이애경·조광윤

(Jinsuk Kim · Aekyoung Lee · Kwangyun Cho)

### 요약

PCB의 전자파 복사는 전자 회로 설계에서 중요한 문제로 부각되고 있는데, PCB의 전자파 복사를 감소시키는 한 방법으로 영상 평면의 사용이 고려되고 있다. 본 논문은 PCB 전류 라인의 전자파 복사에 미치는 영상 평면의 영향을 해석한 것으로, 전류 라인 아래, 위로 한 층 및 두 층씩 영상 평면을 둔 구조에 대해 수치해석적으로 영상 평면에 의한 전자파 감쇠 효과를 계산하였다. 영상 평면에 유도되는 전류 분포를 모멘트 기법을 이용하여 구했으며 전자파 복사 패턴을 서로 다른 영상 평면 구조와 비교하였고, 영상 평면의 폭과 전류 라인과 영상 평면 사이의 간격 및 신호 전류의 주파수가 최대 복사 전계에 미치는 영향을 분석하였다.

### Abstract

The use of image planes can reduce effectively the radiated emissions from a printed circuit board. This work deals with the influence of image planes on the radiation from current trace. The configurations of one and two layers of image planes on both sides of current trace are proposed. The radiated emissions of those configurations have been calculated by solving a set of electric field integral equations by the method of moments. The induced current distributions on image planes and the radiation patterns are analyzed for different configurations of image planes. The peak radiated electric fields are also considered with the parameters of the width of image planes, the distance between current trace and image planes, and the frequency of signal current.

### I. 서론

전자 제품으로부터 나오는 EMI 문제를 해결하기 위해서는 접지, 차폐, 필터링 등의 기술을 적절히 활

용해야 하지만 기본적으로는 PCB 설계 단계에서부터 EMI를 억제할 필요가 있으며, 근년에 와서 PCB로부터의 전자파 복사는 전자 제품의 설계와 동작에 있어서 주요한 관심사가 되고 있다.

높은 주파수의 clock 신호와 디지털 데이터 전송으로 PCB 전류 라인은 전자파를 복사하게 되고 복사된 전자파는 다른 라인에 결합 및 간섭을 일으킨다. PCB로부터 복사되는 전자파를 감소시키기 위한 한 방법으로서 image plane(영상 평면)을 사용하는 방법이 연구되어 왔는데, PCB 전류 라인 아래에 접지면을 둘 때 전자파의 복사가 상당히 줄어드는 점에 착안하여 수년전부터 수치해석적으로 접지면에 의한 전자파 복사 영향을 분석하는 데 관심이 모아졌다. [1, 2] 전류 라인 아래에 놓는 평면이 무한히 넓다고 가정할 때 이 평면에 의한 영향은 영상 이론으로 간단히 해석할 수 있으며 영상 평면이라는 용어는 여기서 기인한 것이다. 본 논문에서도 PCB의 전자파 복사를 감소시키기 위한 목적으로 PCB 전류 라인 아래, 위에 놓는 평면을 영상 평면으로 표기한다.

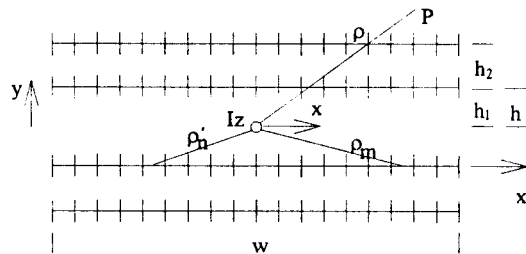
PCB 전류 라인 아래에 영상 평면을 둘 때 복사 전자파는 전류 라인을 흐르는 전류에서 직접 복사된 전자파와 영상 평면에 유도된 전류에서 복사된 전자파의 합으로 구성되며 영상 평면에 의한 기여가 전류 라인에 의한 기여를 상쇄하여 결과적으로 복사 전자파의 감소를 가져오게 된다.

영상 평면에 유도되는 전류분포와 전자파의 복사 패턴은 영상 평면의 구조에 따라 상당히 변하게 된다. 본 논문에서는 폭이 일정하고 길이가 무한하며 완전 도체인 영상 평면을 전류 라인 아래, 위에 놓을 때 복사되는 전자파가 영상 평면의 폭과 영상 평면과 전류 라인 사이의 간격에 따라 얼마나 감소하는지 그 효과를 모멘트 기법을 이용하여 해석한다. 먼저, 영상 평면을 사용한 구조에 대해 전계에 대한 적분방정식을 세우고 영상 평면에 경계조건을 적용하여 임피던스 매트릭스를 구성한 다음 영상 평면에 유도되는 전류분포를 계산했으며, 전류 라인을 흐르는 전류와 영상 평면에 유도된 전류로부터 복사되는 전자파의 크기를 계산하였다. 전류 라인 아래[6] 및 아래, 위에[3] 한 층의 영상 평면을 놓은 구조에 대해 전류 분포, 복사 패턴, 영상 평면의 폭에 대한 최대 전계의 변화가 구해진 바 있으나, 본 논문에서는

영상 평면의 전자파 감쇠 효과를 높이기 위해 전류 라인 아래 위로 두 층씩, 네 개의 영상 평면을 놓는 다층 구조를 제안하였으며, 복사 패턴 결과를 영상 평면이 없을 때 및 아래 위로 한 층의 영상 평면을 놓을 때와 비교하였고, 영상 평면의 폭과 전류 라인 과 영상 평면 사이의 높이를 변수로 복사 패턴의 최대 전계강도의 변화를 분석했다.

## II. 수치해석

[그림 1]에 전류  $I_z$ 가 흐르는 전류 라인과 이 전류 라인 아래, 위로 높이  $h_1, h_2$ , 폭  $w$ 인 영상 평면이 두 층씩 있는 배치를 나타내었다. 영상 평면은 완전 도체이며 두께가 무한히 작다고 가정한다. 영상 평면과 전류 라인이 무한히 길다고 가정하면  $z$  축에 대해 [그림 1]은 대칭적이며 결과적으로 2 차원 구조가 되어 선 전류  $I_z$ 에 의해 발생하는 전계는 식 (1) 과 같이 주어진다. [7]



[그림 1] 영상 평면의 배치.

[Fig. 1] Image planes configuration.

$$E_z^d(\rho) = \frac{\beta^2 I_z}{4\omega\epsilon} H_0^{(2)}(\beta\rho) \quad (1)$$

식 (1) 에서  $\rho$ 는 전류 라인으로부터의 거리이며,  $H_0^{(2)}$ 는 0 차의 제 2 종 Hankel 함수로서 다음과 같이 Bessel 함수로 표현된다.

$$H_0^{(2)}(x) = J_0(x) - jY_0(x) \quad (2)$$

$$\text{식 (2) 에서, } J_0(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m (x/2)^{2m}}{(m!)^2} \quad (3)$$

$$Y_0(x) = \frac{2}{\pi} J_0(x) \ln \frac{\gamma x}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1} (x/2)^{2m}}{(m!)^2} p(m) \quad (4)$$

식 (4)에서,  $p(m) = \sum_{k=1}^m \frac{1}{k}$ ,  $p(0) = 0$ ,  $\gamma = 1.781$

식 (3) 과 식 (4) 는 계산하기에 부적절하여 근사적인 계산 방법으로 다음과 같은 다항식을 사용한다. 적분형태의 근사공식을 사용하면 Hankel 함수의 값에 약간의 오차( $10^{-2}$  order 정도)가 발생되는데 이는 결과적으로 영상 평면상의 전류분포 형태를 상당히 왜곡시키게 되므로 주의해야 한다. [3, 4]

$x \leq 3$  일 경우;

$$J_0(x) = 1 - 2.2499997(x/3)^2 + 1.2656208(x/3)^4 - 0.3163866(x/3)^6 + 0.444479(x/3)^8 - 0.0039444(x/3)^{10} + 0.00021(x/3)^{12} \quad (5)$$

$$Y_0(x) = (2/\pi) \ln(x/2) J_0(x) + 0.36746691 + 0.60559366(x/3)^2 - 0.74350384(x/3)^4 + 0.25300117(x/3)^6 - 0.04261214(x/3)^8 + 0.00427916(x/3)^{10} - 0.00024846(x/3)^{12} \quad (6)$$

$x > 3$  일 경우;

$$J_0(x) = x^{-1/2} f_0 \cos \theta_0 \quad (7)$$

$$Y_0(x) = x^{-1/2} f_0 \sin \theta_0 \quad (8)$$

식 (7), (8)에서,

$$f_0 = 0.79788456 - 0.00000077(3/x) - 0.00552740(3/x)^2 - 0.00009512(3/x)^3 + 0.00137237(3/x)^4 - 0.00072805(3/x)^5 + 0.00014476(3/x)^6$$

$$\theta_0 = x - 0.78539816 - 0.04166397(3/x) - 0.00003954(3/x)^2 + 0.00262573(3/x)^3 - 0.00054125(3/x)^4 - 0.00029333(3/x)^5 - 0.00013558(3/x)^6$$

한편, 변수  $x$ 가 0에 접근할 때 Hankel 함수는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$H_0^{(2)}(x) = 1 - j \frac{2}{\pi} \ln \left( \frac{1.781\beta x}{2} \right), \quad x \ll 1 \quad (9)$$

전류  $I_z$ 에 의해 발생하는 직접파  $E^d$ 는 영상 평면에 표면 전류  $J_z$ 를 유도하며 이 유도전류에 의해 다음의 식 (10) 과 같은 전계  $E_z^s$ 가 형성된다.

$$E_z^s(\rho) = \frac{\beta^2}{4\omega\epsilon} \int_{-w/2}^{w/2} J_z(x') H_0^{(2)}(\beta|\rho - \rho'|) dx' \quad (10)$$

어떤 점에서의 전체 전계는 직접파  $E_z^d$ 와 산란파  $E_z^s$ 의 합으로 주어지며 각 영상 평면상의 점들에 다음과 같은 경계조건이 적용된다.

$$\begin{aligned} E_{zA}^d(x) + E_{zA}^{sA}(x) + E_{zA}^{sB}(x) + E_{zA}^{sC}(x) + E_{zA}^{sD}(x) &= 0 \\ E_{zB}^d(x) + E_{zB}^{sA}(x) + E_{zB}^{sB}(x) + E_{zB}^{sC}(x) + E_{zB}^{sD}(x) &= 0 \\ E_{zC}^d(x) + E_{zC}^{sA}(x) + E_{zC}^{sB}(x) + E_{zC}^{sC}(x) + E_{zC}^{sD}(x) &= 0 \\ E_{zD}^d(x) + E_{zD}^{sA}(x) + E_{zD}^{sB}(x) + E_{zD}^{sC}(x) + E_{zD}^{sD}(x) &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 아래 첨자  $zA, zB, zC, zD$ 는 영상 평면 A, B, C, D 상의 전계의  $z$  성분을 의미하고 위 첨자  $d, sA, sB, sC, sD$ 는 직접파 및 영상 평면 A, B, C, D에 의해 유도되는 산란파를 의미한다.

$I_z$ 를 1로 하면 식 (1), (10), (11)로부터 영상 평면 A 상의 한 점에 대해 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} H_0^{(2)}(\beta\rho_{mA}) &= -\int_{-w/2}^{w/2} J_{zA}(x_A') H_0^{(2)}(\beta|\rho_{mA} - \rho_A'|) dx_A' \\ &\quad - \int_{-w/2}^{w/2} J_{zB}(x_B') H_0^{(2)}(\beta|\rho_{mA} - \rho_B'|) dx_B' \\ &\quad - \int_{-w/2}^{w/2} J_{zC}(x_C') H_0^{(2)}(\beta|\rho_{mA} - \rho_C'|) dx_C' \\ &\quad - \int_{-w/2}^{w/2} J_{zD}(x_D') H_0^{(2)}(\beta|\rho_{mA} - \rho_D'|) dx_D' \end{aligned} \quad (12)$$

영상 평면 B, C, D 상의 점들에 대해서도 이와 유사한 식을 구할 수 있다.

식 (12)의  $J_z(x')$ 를 수치해석적인 방법으로 구하

기 위해  $J_z(x')$ 를 다음과 같이 놓는다.

$$\begin{aligned} J_{zA}(x') &= \sum_{n=1}^{NA} aA n g_n(x') \\ J_{zB}(x') &= \sum_{n=1}^{NB} aB n g_n(x') \\ J_{zC}(x') &= \sum_{n=1}^{NC} aC n g_n(x') \\ J_{zD}(x') &= \sum_{n=1}^{ND} aD n g_n(x') \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $g_n(x')$ 는 기저함수로서 다음과 같이 정의한다.

$$g_n(x') = \begin{cases} 1 & x'_{n-1} \leq x' \leq x_n \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (14)$$

식 (13)을 식 (12)에 대입하여 정리하면

$$V_m = \sum_{n=1}^N I_n Z_{mn} \quad (15)$$

와 같이 되며, 여기서

$$V_m = H_0^{(2)}(\beta \rho_m) \quad (16)$$

이다.  $I_n$ 은,  $a_A, a_B, a_C, a_D$ 로 구성되는 column matrix의  $n$ 번째 항이고  $N = NA + NB + NC + ND$ 이다.  $Z$ 의 대각선 항 ( $m = n$ )은 식 (9)의 Hankel 함수 근사식을 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$Z_{nn} = -\Delta x_n \left[ 1 - j \ln \left( \frac{1.781 \beta \Delta x_n}{4e} \right) \right] \quad (17)$$

여기서  $\Delta x_n = x_{n+1} - x_n$ ,  $e = 2.718$ 이다. 비대각선 항 ( $m \neq n$ )의 경우  $x_n \sim x_{n+1}$ 에서 Hankel 함수의 변수를  $x$ 의 중간값으로 보고 근사화하면,

$$Z_{mm} \cong -\Delta x_n H_0^{(2)}(\beta |\rho_m - \rho'_n|) \quad (18)$$

식 (17), (18)에서 임피던스 매트릭스가 계산되면 식 (15)에서 영상 평면 A, B, C, D 상에 유기되는

전류분포가 구해지며 식 (1) 및 식 (10)을 이용하여 공간상의 한 점에 복사되는 전자파의 전계강도를 구할 수 있다.

전류 라인과 영상 평면 사이의 높이에 대한 영상 평면의 폭의 비  $w/h$ 가 클 경우 정확한 계산을 위해서는 영상 평면을 더욱 세밀히 나눌 필요가 있으며 이렇게 할 때 결과적으로 임피던스 매트릭스의 크기가 증가하게 되고 계산 시간이 길어진다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 영상 평면을 같은 간격으로 나누지 않고 전류 라인에서 먼 거리는 길게 하고 전류 라인쪽으로 접근할수록 짧게 하는 지수적으로 간격을 좁혀 나가는 방법을 사용한다.

영상 평면의 왼쪽 영역에 대해,  $r_i$ 를  $i-1$ 번째 cell과  $i$ 번째 cell 사이의 경계로 정의하고 전류 라인의 왼쪽 영역에 있어서  $r_i$ 를 다음과 같이 계산한다. [6]

$$r_i = -\frac{w}{2} \left( \frac{N_1 - i}{N_1 - 1} \right)^p \quad (19)$$

여기서  $N_1$ 은 왼쪽 영역에서 요구되는 cell 갯수이며 지수  $p$ 는 다음 식과 같다.

$$\left( 1 - \frac{b}{w/2} \right)^{1/p} + \left( \frac{h}{w/2} \right)^{1/p} = 1 \quad (20)$$

여기서  $b$ 는 영상 평면 왼쪽 끝에서의 cell 폭이다. cell의 갯수  $N_1$ 은 다음과 같다.

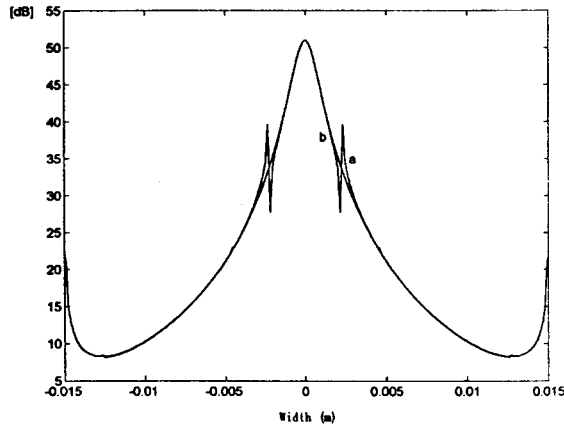
$$N_1 = \left( \frac{w/2}{h} \right)^{1/p} + 1 \quad (21)$$

전류 라인 오른쪽의 영역에 대해서도 이와 유사한 관계를 이용하여  $r_i$ 를 구할 수 있다. 본 논문에서는  $w/h$ 가  $10^3$ 보다 작은 경우에는 cell을 등간격으로 나누었고  $w/h$ 가  $10^3$ 보다 큰 경우에는 지수적으로 간격을 좁혀 나가는 방법을 사용했다.

### III. 결과 및 고찰

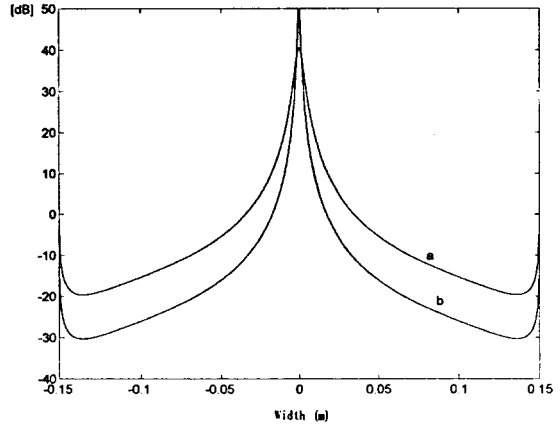
[그림 2]는 라인을 흐르는 신호 주파수가 1 GHz이며,  $h=0.003\lambda$ ,  $w=0.1\lambda$ 인 경우 적분 근사법과 다항식 근사법을 이용하여 영상 평면에 유도되는 전류밀도분포를 나타내고 있는데, 적분 근사법에 의한 오차가 전류분포곡선을 상당히 왜곡시키고 있음을 볼 수 있다. 따라서 이후의 모든 계산에서는 다항식 근사법을 사용하였다.

[그림 3]은 전류 라인 아래에 폭이  $1\lambda$ 인 한 층의 영상 평면을 둘 때 영상 평면에 유도되는 전류밀도분포를 나타낸 것으로, 곡선 *a*는 전류 라인에 대한 영상 평면의 높이가  $0.01\lambda$ , 곡선 *b*는  $0.003\lambda$ 에 대한 것이다. [그림 3]에서 영상 평면의 폭  $w$ 에 대해 높이  $h$ 가 클수록 영상 평면상의 전류밀도는 넓게 분포되는 것을 볼 수 있다.



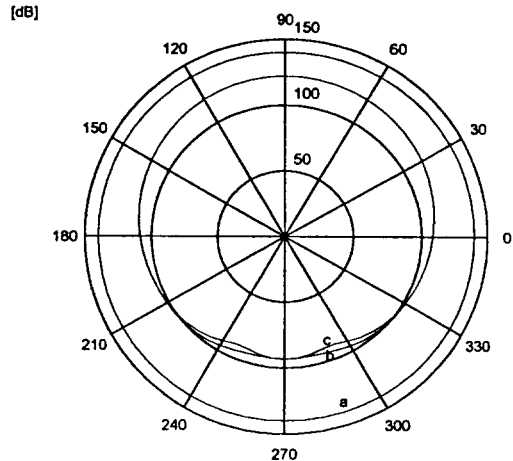
[그림 2] 전류분포 곡선의 왜곡,  $f=1\text{ GHz}$ ,  $w=0.1\lambda$ ,  $h=0.003\lambda$ :  
(a) 적분 근사법, (b) 다항식 근사법.

[Fig. 2] Distortion of current distribution curve,  $f=1\text{ GHz}$ ,  $w=0.1\lambda$ ,  $h=0.003\lambda$ :  
(a) integral approximation,  
(b) polynomial approximation.



[그림 3] 전류 분포,  $f=1\text{ GHz}$ ,  $w=1\lambda$ :  
(a)  $h=0.01\lambda$ , (b)  $h=0.003\lambda$ .

[Fig. 3] Current distributions,  $f=1\text{ GHz}$ ,  $w=1\lambda$ :  
(a)  $h=0.01\lambda$ , (b)  $h=0.003\lambda$ .

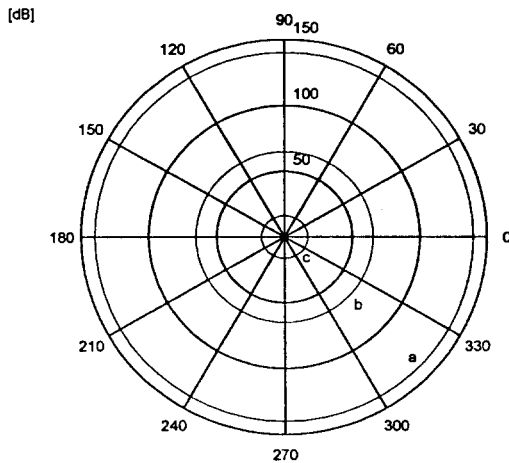


[그림 4] 전류 라인 아래의 영상 평면에 의한 복사 패턴,  $\rho=3m$ ,  $w=1\lambda$ :  
(a) 영상 평면이 없을 때, (b) 한 층,  $h=0.01\lambda$ ,  
(c) 두 층,  $h_1=0.01\lambda$ ,  $h_2=0.02\lambda$ .

[Fig. 4] Radiation patterns due to image planes on one side of current trace,  $\rho=3m$ ,  $w=1\lambda$ :  
(a) no image plane, (b) one layer,  $h=0.01\lambda$ ,  
(c) two layers,  $h_1=0.01\lambda$ ,  $h_2=0.02\lambda$ .

[그림 4]는 전류 라인 아래에 폭  $w$ 가  $1\lambda$ 인 영상 평면이 한 층 있을 때와 두 층 있을 때 전류 라인으

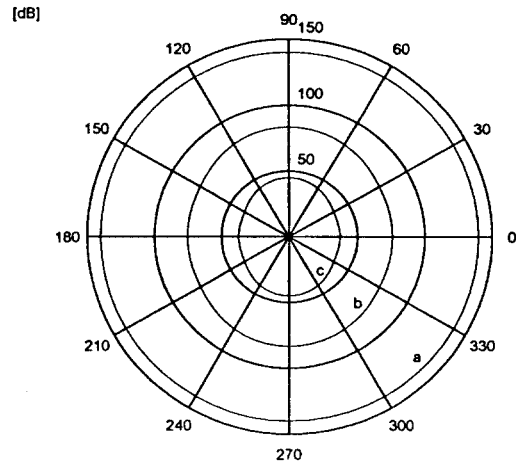
로부터 3m 떨어진 곳에서의 복사 패턴을 보이고 있다. 라인을 흐르는 신호 주파수는 1 GHz이며, 영상 평면이 한 층인 경우의 높이  $h$ 는  $0.01\lambda$ (곡선 b), 영상 평면이 두 층인 경우의 높이  $h_1, h_2$ 는  $0.01\lambda, 0.02\lambda$ (곡선 c)로 하였다. 곡선 a는 영상 평면이 없을 때의 전류 라인만에 의한 복사를 나타낸 것이다. [그림 4]에서 영상 평면을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 전계강도 차이를 볼 수 있는데 영상 평면을 사용할 경우 영상 평면 뒷쪽 방향에서 전계강도가 20 dB 정도 감소됨을 볼 수 있다. 한 층의 영상 평면을 사용하는 경우와 두 층을 사용하는 경우에 있어서 영상 평면 뒷쪽 방향에서는 별 다른 차이가 없고 아래 방향에서는 두 층을 사용하는 경우가 조금 더 감소되는 것을 볼 수 있다.



[그림 5] 전류 라인 아래, 위의 영상 평면에 의한 복사 패턴,  $\rho = 3m, w = 0.1\lambda, h = 0.003\lambda, h_1 = 0.003\lambda, h_2 = 0.006\lambda$ :  
 (a) 영상 평면이 없을 때, (b) 한 층,  
 (c) 두 층.

[Fig. 5] Radiation patterns due to image planes on both sides of current trace,  $\rho = 3m, w = 0.1\lambda, h = 0.003\lambda, h_1 = 0.003\lambda, h_2 = 0.006\lambda$ :  
 (a) no image plane, (b) one layer,  
 (c) two layers.

[그림 5], [그림 6]은 전류 라인 아래, 위에 각각 한 층의 영상 평면과 두 층의 영상 평면을 둔 경우 전류 라인으로부터 3m 거리에서 복사 패턴을 구한 것이다. [그림 5]는 폭이  $0.1\lambda$ , 영상 평면이 한 층인 경우의 높이  $h$ 가  $0.003\lambda$ , 영상 평면이 두 층인 경우 높이  $h_1, h_2$ 가  $0.003\lambda, 0.006\lambda$ 인 구조에 대한 것이며, [그림 6]은 폭이  $1\lambda$ , 영상 평면이 한 층인 경우의 높이  $h$ 가  $0.01\lambda$ , 영상 평면이 두 층인 경우 높이  $h_1, h_2$ 가  $0.01\lambda, 0.02\lambda$ 인 구조에 대한 것이다. 이들 그림으로부터 복사 패턴은 영상 평면의 구조에 매우 민감한 것을 볼 수 있는데, 영상 평면을 한 층 사용하는 경우 전계강도는 영상 평면을 사용하지 않을 때보다 현저히 감소되며(최대 복사 방향에서 60 dB 이상), 영상 평면을 두 층 사용하는 경우는 영상 평면의 구조에 따라 다소 차이는 있으나 전류 라인 아

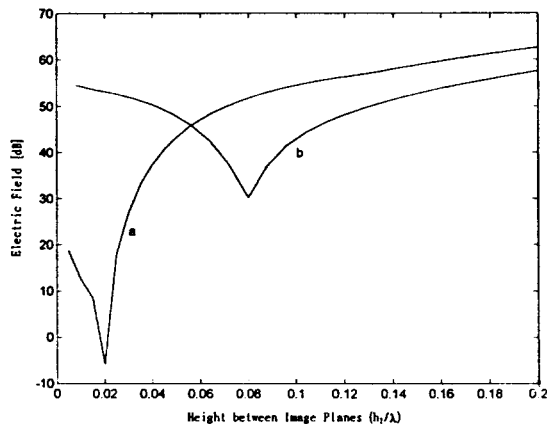


[그림 6] 전류 라인 아래, 위의 영상 평면에 의한 복사 패턴,  $\rho = 3m, w = 1\lambda, h = 0.01\lambda, h_1 = 0.01\lambda, h_2 = 0.02\lambda$ :  
 (a) 영상 평면이 없을 때, (b) 한 층,  
 (c) 두 층.

[Fig. 6] Radiation patterns due to image planes on both sides of current trace,  $\rho = 3m, w = 1\lambda, h = 0.01\lambda, h_1 = 0.01\lambda, h_2 = 0.02\lambda$ :  
 (a) no image plane, (b) one layer,  
 (c) two layers.

래에만 영상 평면을 두 층 사용한 [그림 4]와는 달리 한 층 사용할 때보다 상당히 감소된다(최대 복사 방향에서 35 dB 이상).

[그림 7]은 전류 라인 아래, 위에 폭이  $0.1\lambda$ 인 영상 평면을 각각 두 층씩 둘 때 높이  $h_1$  을  $0.003\lambda$ (곡선 a),  $0.01\lambda$ (곡선 b)로 고정하고 높이  $h_2$  를 변수로 하여 복사 패턴의 최대치를 계산한 것이다. 높이  $h_1$  이  $0.003\lambda$ 인 경우  $h_2$  가  $0.02\lambda$ 근처에서 감쇠효과가 가장 크고  $h_1$  이  $0.01\lambda$ 인 경우  $h_2$  가  $0.08\lambda$ 근처에서 감쇠효과가 가장 큼을 볼 수 있다. [그림 8]은 폭이  $1\lambda$ 일 때 높이  $h_1$ 을  $0.003\lambda$ (곡선 a),  $0.01\lambda$ (곡선 b)로 고정하고 높이  $h_2$  를 변수로 하여 복사 패턴의 최대치를 계산한 것이다. 높이  $h_1$  이  $0.003\lambda$  및  $0.01\lambda$ 인 경우 모두  $h_2$  가  $0.17\lambda$ 근처에서 감쇠효과가 가장 크며 [그림 7]과 비교해 보면 영상 평면의 폭이 넓은 경우 높이에 덜 민감함을 알 수 있다.

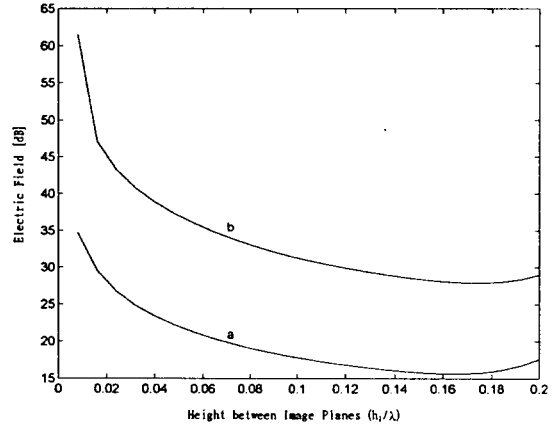


[그림 7] 영상 평면간 높이를 변수로 한 최대 전계 강도,  $w=0.1\lambda$ :

(a)  $h_1=0.003\lambda$ , (b)  $h_1=0.01\lambda$ .

[Fig. 7] Peak electric fields as a function of height between image planes,  $w=0.1\lambda$ :

(a)  $h_1=0.003\lambda$ , (b)  $h_1=0.01\lambda$ .



[그림 8] 영상 평면간 높이를 변수로 한 최대 전계 강도,  $w=1\lambda$ :

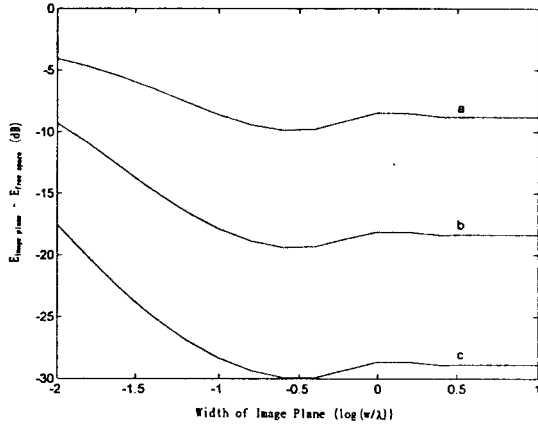
(a)  $h_1=0.003\lambda$ , (b)  $h_1=0.01\lambda$ .

[Fig. 8] Peak electric fields as a function of height between image planes,  $w=1\lambda$ :

(a)  $h_1=0.003\lambda$ , (b)  $h_1=0.01\lambda$ .

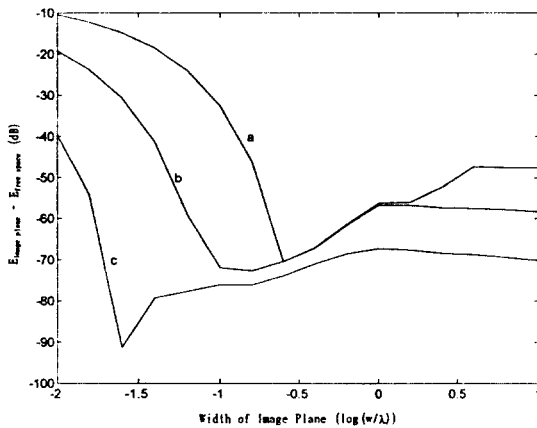
[그림 9]는 전류 라인 아래에 한 층의 영상 평면을 둘 때 영상 평면의 폭  $w$ 를 변수로 영상 평면의 전계강도 감쇠 효과(영상 평면이 없을 때의 전계강도를 뺀 값)을 계산한 것이다. [그림 9]에서 영상 평면의 폭이 좁을수록 복사되는 전자파는 영상 평면이 없을 때의 값에 가까워짐을 볼 수 있다.  $0.1\lambda$ 와  $1\lambda$ 사이에서는  $1\lambda$ 보다 클 때에 비해 전계강도가 오히려 더 작음을 볼 수 있는데 이는 영상 평면에 의한 산란이 증가하기 때문이며  $0.1\lambda < w < 1\lambda$ 에서 영상 평면이 공진하는 것으로 이해된다.

[그림 10], [그림 11]은 전류 라인 아래, 위에 한 층 및 두 층의 영상 평면을 둘 때 영상 평면의 폭  $w$ 를 변수로 영상 평면의 전계강도 감쇠 효과를 계산한 것이다. [그림 10], [그림 11]에서 영상 평면에 의한 산란이 최대가 되는 영상 평면의 폭은 [그림 9]와는 달리 일정하지 않으며 높이가 감소할수록 더욱 작은 값에서 공진함을 볼 수 있다. 또한, 전류 라인 아래, 위에 두 층의 영상 평면을 둘 때가 한 층의 영상 평면을 둘 때보다 전계강도 감쇠 효과가 증가함을 볼 수 있다.



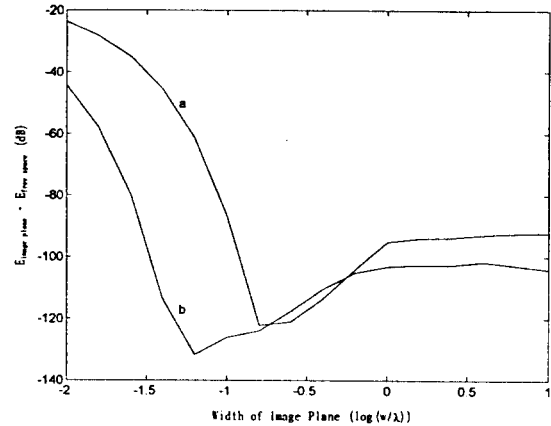
[그림 9] 영상 평면의 폭( $w/\lambda$ )에 대한 전계강도 감쇠 변화(전류 라인 아래 한 층),  $\rho = 300m$ :  
(a)  $h = 0.03\lambda$ , (b)  $h = 0.01\lambda$ , (c)  $h = 0.003\lambda$ .

[Fig. 9] Reduction of peak electric fields as a function of width( $w/\lambda$ ) of image planes(one image plane below current trace),  $\rho = 300m$ :  
(a)  $h = 0.03\lambda$ , (b)  $h = 0.01\lambda$ , (c)  $h = 0.003\lambda$ .



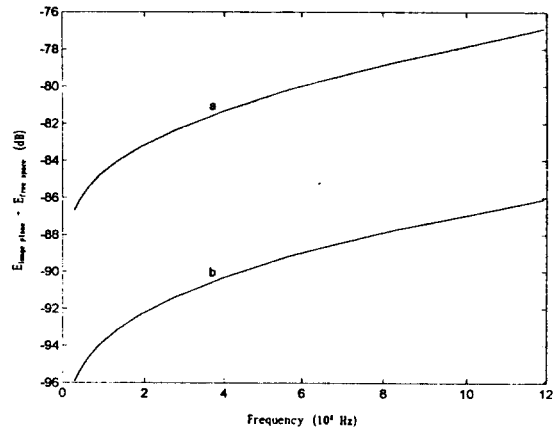
[그림 10] 영상 평면의 폭( $w/\lambda$ )에 대한 전계강도 감쇠 변화(전류 라인 아래, 위 한 층),  $\rho = 300m$ : (a)  $h = 0.03\lambda$ ,  
(b)  $h = 0.01\lambda$ , (c)  $h = 0.003\lambda$ .

[Fig. 10] Reduction of peak electric fields as a function of width( $w/\lambda$ ) of image planes(one layer of image planes on both sides of current trace),  $\rho = 300m$ :  
(a)  $h = 0.03\lambda$ , (b)  $h = 0.01\lambda$ ,  
(c)  $h = 0.003\lambda$ .



[그림 11] 영상 평면의 폭( $w/\lambda$ )에 대한 전계강도 감쇠 변화(전류 라인 아래, 위 두 층),  $\rho = 300m$ : (a)  $h_1 = 0.01\lambda$ ,  $h_2 = 0.02\lambda$ .  
(b)  $h_1 = 0.003\lambda$ ,  $h_2 = 0.006\lambda$ .

[Fig. 11] Reduction of peak electric fields as a function of width( $w/\lambda$ ) of image planes(two layers of image planes on both sides of current trace),  $\rho = 300m$ :  
(a)  $h_1 = 0.01\lambda$ ,  $h_2 = 0.02\lambda$   
(b)  $h_1 = 0.003\lambda$ ,  $h_2 = 0.006\lambda$ .



[그림 12] 신호전류 주파수에 대한 전계강도 감쇠 변화,  $w = 3cm$ :  
(a) 한 층,  $h = 3mm$ , (b) 두 층,  
 $h_1 = 3mm$ ,  $h_2 = 6mm$ .

[Fig. 12] Reduction of peak electric fields as a function of the frequency of signal current,  $w = 3cm$ :  
(a) one layer,  $h = 3mm$ ,  
(b) two layers,  $h_1 = 3mm$ ,  $h_2 = 6mm$ .



[그림 12]는 전류 라인 아래, 위에 폭이 3cm 인 영상 평면을 한 층 및 두 층씩 둘 때 주파수를 변수로 영상 평면의 전계강도 감쇠 효과를 계산한 것이다. 한 층의 영상 평면일 경우 높이  $h$ 를 3mm, 두 층의 영상 평면일 경우 높이  $h_1, h_2$ 를 3 mm, 6 mm로 했으며 주파수 범위는 일반적인 복사 전자과장해 규제대상 영역(30MHz~1GHz)으로 했다. [그림 12]의 경우 해당 주파수 영역에서 전계강도 감쇠 효과는 10 dB 정도의 변화가 있음을 볼 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 PCB 전류 라인을 감싸는 영상 평면 구조가 PCB의 전자파 복사에 미치는 영향을 moment method를 이용하여 해석하였다.

영상 평면에 유도되는 전류분포와 전자파의 복사 패턴은 영상 평면의 구조에 따라 상당히 변하게 되는데 영상 평면의 폭이 좁을수록 복사는 증가하며 영상 평면과 전류 라인이 가까울수록 감소한다. 또한, 전류 라인 아래, 위에 영상 평면을 두 층 사용하는 경우 영상 평면의 구조에 따라 다소 차이는 있으나 한 층 사용할 때보다 전자파 감쇠 효과가 상당히 증가한다.

전류 라인 아래, 위에 한 층 및 두 층의 영상 평면을 둘 경우 높이가 감소할수록 영상 평면의 폭이 더욱 작은 값에서 영상 평면에 의한 산란이 최대가 됨을 볼 수 있고, 좁은 폭의 영상 평면을 전류 라인 아래, 위에 두 층 둘 경우 전류 라인과 영상 평면간 높이에 따라 서로 다른 영상 평면간 높이에서 가장 큰 감쇠 효과가 일어남을 볼 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R.F. German, H.W. Ott, C.R. Paul, "Effect of an Image Plane on Printed Circuit Board Radiation", IEEE Inter. Symp. Electromagn. Compat., Washington D.C., USA, August 21-23, 1990, pp.284-291.
- [2] J.T. Fessler, K.W. Whites, C.R. Paul, "Effect of Image Plane Dimensions on Radiated Emissions", 1992 IEEE Intern. Symp. on Electromag. Compat., Anaheim, CA, Aug. 1992.
- [3] S. Celozzi, A. Orlandi, "Influence of Lossy Finite Width Image Planes on PCB Radiation", 1994 Intern. Symp. on Electromag. Compat., Sendai, Japan, May 17-19, 1994.
- [4] S. Celozzi, A. Orlandi, "PCB Emission Analysis in Different Image Planes Configurations", 12-th International Wroclaw Symp. on EMC, June 28-July 1, 1994, Wroclaw, Poland.
- [5] T. Takahashi, N. Schibuya, K. Ito, "Prediction and Reduction of Radiated Emission from PCB", 1994 Intern. Symp. on Electromag. Compat., Sendai, Japan, May 17-19, 1994.
- [6] T.A. Jerse, C.R. Paul, K.W. White, "The Effect of Finite Image Plane Width on the Radiation from an Electric Line Source", 1993 Inter. Symp. and Technical Exhibition on Electromagn. Compat., Zurich, Switzerland, March 9-11, 1993, pp.201-206.
- [7] C.A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [8] N.O. Sadiku, Numerical Techniques in Electromagnetics, CRC Press, London, 1992.
- [9] H.W. Ott, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems (second edition), John Wiley & Sons, New York, 1988.

- [1] R.F. German, H.W. Ott, C.R. Paul, "Effect of an Image Plane on Printed Circuit Board Radiation", IEEE Inter. Symp. Electromagn. Compat., Washington D.C., USA, August