

# 유한 접지판 위의 정규화 시험장 감쇠량 비교

윤광렬\*

## Comparison of Normalized Site Attenuation on Finite Ground Plane

Kwang-Yeol Yoon\*

### 요 약

본 논문은 유한 접지 도체판 위의 시험장에 대해서 접지 도체판의 edge가 NSA(Normalized Site Attenuation)에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 사용하는 안테나를 광대역 미소다이폴안테나로 가정하여 방사성 방해파의 측정시설로 사용하는 시험장의 크기가 방해파의 측정환경으로 적합한지를 평가하기 위한 기준이 되는 NSA의 이론치를 GTD(Geometric theory of diffraction)법을 적용하여 계산하였다. 본 논문에서는 유한 접지 도체판 위의 송·수신 안테나가 상호 영향을 받지 않을 경우, 접지 도체판의 크기가 NSA에 미치는 영향을 수평편파와 수직편파에 대해서 측정거리 3 m법을 이용하여 고찰 하였다. 수치적으로 검토한 결과, 수평편파에서는 일반적인 규격에서 규정하고 있는 타원평면의 규격 정도의 접지 도체판에서도 edge의 영향을 무시 할 수 있으나, 수직편파의 경우에는 edge의 영향을 1 dB 이하로 줄이기 위해서는 유한 도체 접지판의 크기를 크게 가져가야 한다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

The extent of a rectangular conducting plane for measuring electromagnetic interference is discussed. Mutual coupling between the transmit and receive antennas is negligible, the effects of the ground plane on the normalized site attenuation(NSA) are considered by applying GTD(Geometric theory of diffraction). The calculation was done for the case that measuring distance(d) was 3 m for both horizontal and vertical polarizations. As the result, the size of the rectangular ground plane almost never affects upon NSA for horizontal polarization, but for vertical case, when both width and length of the rectangular plane are several times as long as distance, the effects of the edges are reduced under 1 dB.

### 키워드

electromagnetic interference, NSA, GTD, horizontal and vertical polarization  
전자파장해, 정규화 시험장 감쇠량, GTD, 수평 편파, 수직 편파

## 1. 서 론

전자파의 이용분야가 증가함과 동시에 최근의 전기 전자기술 응용분야의 급속한 발전은 그 부산물로서 잠재적인 전자파 방해원의 증가를 초래하고 있으며,

악화되어가는 전자파환경에 질서를 부여하고 조화를 이루도록 하는 전자파 환경기술(EMC, EMI/EMC)에 대한 관심이 높아지고 있다 [1].

전자파 환경기술 요구의 기본과제는 일반적으로 방해전자파의 발생을 억제하는 연구와 주어진 방해전자

\* 계명대학교 전자공학과(yoonky@kmu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 04. 12

심사(수정)일자 : 2011. 07. 04

게재확정일자 : 2011. 08. 12

파의에 대하여 참아내는 능력(내성)을 부여하는 연구로 대별할 수 있는데, 이와같은 EMI/EMC 연구에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 방해전자파의 정밀한 측정이다. 즉, 방해원의 잡음을 정확히 측정하여야만 전자파환경을 정확히 평가할 수 있으며, 대책도 세울 수 있기 때문이다. 이러한 EMI/EMC 측정에 있어서의 측정 기본 시설로는 전자파 반무향실(semianechoic chamber), 야외시험장(open area test site), 전자파 차폐실(shield enclosure)과 이들 측정시설에서 사용할 각종 EMI/EMC 측정 장비들로 크게 분류할 수 있다 [2].

야외 시험장이 방사성 방해파의 측정환경으로 적절하지 어떤지는 야외시험장 위의 두 지점에 위치하는 송·수신 안테나 사이의 전자파 전송손실을 평가하여 확인할 수 있다. 이와 같은 전송손실을 시험장 감쇠량(site attenuation : SA)이라 한다.

일반적인 관련 규격에 의하면, 시험장 감쇠량의 측정치가 이론치와 비교하여  $\pm 3\text{dB}$  이내에 들어가면 적합한 것으로 판정한다. 판정의 기준이 되는 시험장 감쇠량의 이론치는 야외시험장이 이상적이라고 가정된 상태(주위에 전자기파 산란체가 없고 접지판이 무한히 넓은 반무향 공간)에서 계산한 값을 사용하며, 이론계산의 수법에 따라서 시험장 감쇠량 이론치의 근사도가 달라지게 된다.

시험장 감쇠량의 이론계산은 Maxwell 방정식의 경계치 문제에 속하지만, 계산의 간편함 때문에 초기에는 기하광학(GO) 근사법 [3] 또는 기전력(electromotive force : EMF)법 [4], [5]을 사용하여 계산하였다. 이 방법들은 모두 송·수신안테나 및 접지판과의 상호결합 효과(mutual impedance correction factors)를 완전히 평가할 수 없다는 문제점을 갖고 있다.

종래의 시험장 감쇠량 측정에는 주로 동조다이폴안테나가 사용되어왔으나, 최근에는 측정의 자동화에 의해 바이코니컬안테나와 같은 광대역안테나가 사용되고 있다. 이와 관련하여 시험장 감쇠량으로부터 송·수신 안테나의 안테나계수를 제외시킨 정규화 시험장 감쇠량(Normalized Site Attenuation : NSA)의 이론치가 제안되었다 [6]. NSA는 송·수신 다이폴안테나 간의 상호결합을 고려하여 정밀한 이론해석을 하고 있다고 평가받고 있다 [7].

측정 장소는 NSA의 이론치 산출의 간편함, 측정 재현성 등의 이유로 무한한 완전 도체판 공간이 이상적이지만, 현실적으로는 유한의 공간에서 이루어지고 있다. 시험장의 접지 도체판은 지면과 떨어져있어야 하기 때문에 건설비 등의 절감을 고려하면, 허용 가능한 접지 도체판의 크기가 어느 정도인가를 검토할 필요가 있다.

본 논문에서는 유한 접지판 위의 송·수신 안테나가 상호 영향을 받지 않을 경우(송·수신 안테나를 미소다이폴안테나로 가정), 접지 도체판의 크기가 NSA에 미치는 영향에 대해서 고찰 하였다. 유한 접지판의 4개의 모서리(edge) 부분의 영향은 기하광학적 회절이론인 GTD(Geometric theory of diffraction) [8], [9]에 의해 계산되었으며, 송·수신 안테나에 흐르는 전류분포는 적분방정식을 이용하는 모멘트 법으로 해석 하였다. 수치계산에는 송·수신 안테나의 거리가 3 m의 경우에 한하여 계산하였다.

## II. 시험장감쇠량의 정의

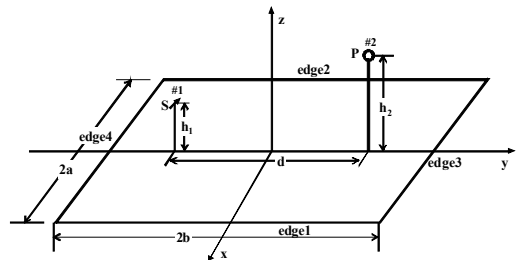


그림 1. NSA 측정을 위한 방형 접지판 구조  
Fig. 1 Geometry of problem for the NSA rectangular ground plane

그림 1과 같은 야외 시험장의 시험장 감쇠량은 무한접지평면 위에 놓여있는 송·수신안테나 사이의 전송전력의 손실로서 다음과 같이 정의한다.

$$SA = 10 \log_{10} \frac{P_S}{P_R} \quad [dB] \quad (1)$$

여기서,  $P_S$ 는 송신안테나 #1에 공급되는 입력전력,  $P_R$ 는 수신안테나 #2에  $Z_L$ 이 연결 되었을 때 수신안테

나에 유기되는 유기전력을 나타낸다.

위와 같은 시험장 감쇠량의 값은 사용하는 안테나에 의해 달라지므로, 여기서 송·수신안테나의 안테나계수(A1, A2)를 차감하는 정규화 시험장 감쇠량(NSA)을 다음 식에 정의한다.

$$NSA = SA - (A_1 - A_2) \quad [dB] \quad (2)$$

일반적으로 안테나계수는 각각의 안테나에 의해서 결정되어지는 것이 아니라, 송·수신안테나 사이와 접지도체판과 상호결합에 의해 변화한다. 여기서 이러한 상호결합이 없는 미소다이폴안테나를 이용하면 다음 식과 같이 NSA는 기하광학적 방법으로도 계산 가능하다.

$$NSA = 32 - 20 \log F - 20 \log E_{\max} \quad [dB] \quad (3)$$

여기서,  $F$ 는 사용주파수[MHz],  $E_{\max}$ 는 송신안테나의 높이  $h_1$ 을 고정하고, 수신안테나의 높이  $h_2$ 를  $h_2=h_{2\min}$ 에서  $h_2=h_{2\max}$ 까지 가변시키는 경우의 수신전계의 최대치이다.

### III. 유한 접지 도체판에 의한 회절계

그림 1은 시험장 감쇠량 측정을 해석하기 위한 좌표계를 나타낸다. 방향 접지 도체판 위에 미소다이폴 송신안테나(S) 및 수신안테나(P)가 각각 높이  $h_1$  및  $h_2$ 의 위치에 간격  $d$ 로 배치되어 있다. GTD에 의하면 송신안테나 S에 의한 관측점 P에서의 전체 전계  $\mathbf{E}$ 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}^i + \mathbf{E}^r + \mathbf{E}^d \quad (4)$$

여기서,  $\mathbf{E}^i$ ,  $\mathbf{E}^r$ 은 직접파 및 도체판에 의한 반사파이며, 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{E}^i = E_0 \frac{\exp(-jkR)}{R} \mathbf{e}_i \quad (5)$$

$$R = \overline{SP} = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (6)$$

$$\mathbf{e}_i = -\mathbf{s} \times \mathbf{R} \times \mathbf{R} \quad (7)$$

$$\mathbf{E}^r = E_0 \frac{\exp(-jkR')}{R'} \mathbf{e}_r \quad (8)$$

$$R' = \overline{S'P} = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (9)$$

$$\mathbf{e}_r = -\mathbf{s}' \times \mathbf{R}' \times \mathbf{R}' \quad (10)$$

$$\mathbf{s}' = \mathbf{s} \cdot (-\mathbf{xx} - \mathbf{yy} + \mathbf{zz}) \quad (11)$$

여기서,  $\mathbf{s}$ 는 점파원 S에서의 진류소자의 단위벡터,  $\mathbf{s}'$ 은 도체판에 의한 s의 영상, R, R'은 방향벡터를 표시한다. 또한,  $\mathbf{E}^d$ 는 도체판 위의 4개의 모서리(edge)에 의한 회절계를 표시하며, edge 1, 2 및 edge 3, 4 사이의 다중회절계를 포함하여 다음 식과 같이 표시한다.

$$\mathbf{E}^d = \sum_{i=1}^4 \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{E}_{i,n}^d \quad (12)$$

$\mathbf{E}_{i,n}^d$ 는 edge  $i$ 에서 최초 회절하는 다중회절파 성분을 표시하며, 1회의 회절파( $n=1$ )는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{E}_{i,n}^d = E_0 A(r'_{i,1} + r_{i,1}) \Phi(r'_{i,1}) \mathbf{e}_{i,1} \cdot (-\boldsymbol{\alpha}'_{i,1} \boldsymbol{\alpha}_{i,1} D_s^{(i)} - \boldsymbol{\varphi}'_{i,1} \boldsymbol{\varphi}_{i,1} D_h^{(i)}) \Phi(\gamma_{i,1}) \quad (13)$$

$$A(r) = \frac{1}{\sqrt{r}} \quad (14)$$

$$\Phi(r) = \frac{\exp(-jkr)}{\sqrt{r}} \quad (15)$$

$$D_{s,h}^{(i)} = D(r'_{i,1}, r_{i,1}, \beta_i^-, \alpha_{i,1}) \mp D(r'_{i,1}, r_{i,1}, \beta_i^+, \alpha_{i,1}) \quad (16)$$

$$\beta_i^\mp = \left| \phi_i' \mp \phi_i \right| \quad (17)$$

GTD에 의한 입사파와 회절파의 edge에 대한 각도, (24)  
 즉, 입사파의 각도  $\alpha$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_{0,n} = \tan^{-1} \frac{\rho'_i + 2(n-1)\alpha + \rho_l}{y - y'} \quad (18)$$

$$i \begin{cases} = l & (n: \text{odd}) \\ \neq l & (n: \text{even}) \end{cases} \quad (i, l = 1, 2) \quad (25)$$

여기서,  $l$ 은 최후의 회절하는 edge 번호를 표시하며, 다음과 같은 관계가 있다.

$$\begin{aligned} n(\text{기수}) &: i=1; \\ n(\text{우수}) &: i \neq 1; \end{aligned}$$

각도  $\alpha$ 에 대해서는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} \alpha'_{1,n} &= \alpha_{1,n}, \quad \alpha'_{2,n} = \alpha_{2,n}, \\ \alpha'_{3,n} &= \alpha_{3,n}, \quad \alpha'_{4,n} = \alpha_{4,n} \end{aligned} \quad (19)$$

$\phi'_i$  과  $\phi_i$  는 각각 입사면과 반사면이 이루는 각, 회절면과 반사면이 이루는 각을 표시한다.

$$D(r', r, \beta, \alpha) = \frac{\exp(-j\frac{\pi}{4})}{2\sqrt{2\pi k} \sin \alpha} \cdot \frac{F[\kappa]}{\cos(\frac{\beta}{2})} \quad (20)$$

$$F[\kappa] = 2j\sqrt{\kappa} \exp(j\kappa) \int_{\sqrt{\kappa}}^{\infty} \exp(-j\gamma^2) d\gamma \quad (21)$$

$$\kappa = 2kL \cos^2 \frac{\beta}{2} \quad (22)$$

$$L = \frac{r'r}{r'+r} \sin^2 \alpha \quad (23)$$

또한,  $n \geq 2$ 회 다중회절파(edge 1, 2 또는 edge 3, 4 사이에서  $n$ 회 회절)는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{i,n}^d &= (-2)^n (\mathbf{e}_{i,n} \cdot \boldsymbol{\phi}'_i) \Phi_l \\ &\times E_0 A(r'_{i,n} + (n-1)d_n + r_{l,n}) \Phi(r'_{i,1}) \\ &\times D(r'_{i,n}, (n-1)d_n + r_{l,n}, \phi'_i, \alpha_{i,n}) \\ &\times \{\Phi(d_n)\}^{n-1} \times \prod_{m=1}^{n-2} \{D(d_n, md_n + r_{l,n}, 0, \alpha_{i,n})\} \\ &\times D(d_n, r_{l,n}, \phi_l, \alpha_{i,n}) \Phi(r_{l,n}) \quad (n \geq 2) \end{aligned}$$

이와 같이 식(4)에서  $\mathbf{E}$ 를 계산하면, 식(3)으로부터 접지 도체판 위의 edge의 영향을 포함하는 NSA를 간단히 계산할 수 있다.

#### IV. 시험장감쇠량 계산치의 비교 및 검토

다음은 그림 1의 유한 접지 도체판에 관한 전자기적 특성을 위에서 언급한 이론식을 이용하여 계산한 결과를 다음에 나타낸다. 여기서는 FCC의 야외시험장 규격에 따라서 검토한 결과를 제시한다. FCC 규격에서 규정하고 있는 시험장 감쇠량의 측정조건은 다음과 같다.

- 송신안테나의 높이 :  $h_1=1m$
- 수신안테나의 높이 :  $h_2= 1 \sim 4m$  ( $d=3m, 10m$ )

그림 2는 광대역안테나를 사용하였을 경우, 수신안테나에는 송신안테나로부터 직접파 이외에, 접지판에서 반사되는 반사파도 함께 수신된다. 즉, 직접파와 반사파의 합성파는 수신안테나의 높이  $h_2$ 에 따라서 변화하는데 이 관계를 나타내는 것이 NSA의 하이트 패턴(height pattern)이다. 그림에서 실선은 접지도체판이 무한평면( $a=b=\infty$ ), 점선은 유한평면의 경우 관련 규격에서 규정하고 있는 일반적인 타원평면 ( $2a = \sqrt{3}d, 2b = 2d$ ) 규격에 해당하는 유한 평면에서의 NSA 이론곡선이다.

그림 2는  $d=3m$ 에서 수평편파를 사용하였을 경우, 사용주파수가 30 MHz에서는 무한 접지판과 유한 접지판 사이에 1 dB 정도의 차이가 있으나, 100 MHz 이상에서는 양자의 사이에 차이가 없음을 알 수 있다. 그림 3은 수직편파를 사용하였을 경우로서 수평편파의 이론곡선과 비교하였을 때 양자의 사이에 차이가 발생함을 보여 주고 있다.

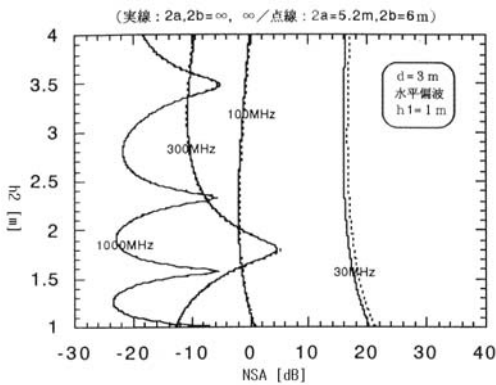


그림 2. 하이트 패턴(수평편파)  
Fig. 2 Height Pattern(horizontal polarization)

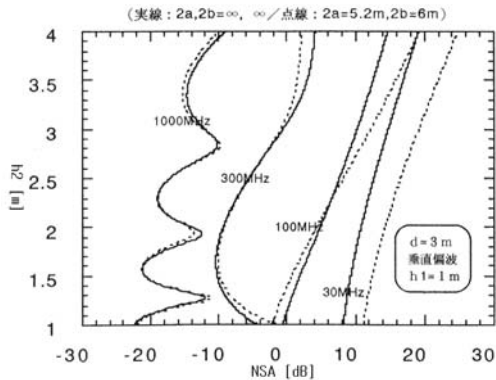


그림 3. 하이트 패턴(수직편파)  
Fig. 3 Height Pattern(vertical polarization)

다음은 유한 접지 도체판의 폭(2a)과 길이(2b)를 변수로 하여 무한 접지도체판 위의 NSA와 가변하는 유한 접지 도체판 위의 NSA 주파수특성을 조사하기 위하여 d=3 m, 사용 주파수 범위 30 ~ 1000 MHz, h<sub>1</sub>의 높이 1 m, 가변하는 h<sub>2</sub>의 높이 1 ~ 4 m로 하여 수치 해석을 하였다. 무한 접지도체판 위의 NSA와 가변하는 유한 접지 도체판 위의 NSA 값을 비교하여 양자의 차이가 최대가 되는 값을 표 1과 2에 표시 하였다.

표 1은 수평편파의 경우 접지 도체판의 길이(2b)의 영향보다 폭(2a)이 6m 이상 되면 유한 접지 도체판의 edge의 영향이 상대적으로 적어지는 것을 알 수 있다. 표 2는 수직편파를 사용하여 무한 접지 도체판의 경우와 유한 접지 도체판에서의 NSA의 차이를 비교한 결과이다. 접지 도체판의 폭과 길이가 수평편파의 경우와는 달리 14 m 정도에서 NSA의 차이가 1 dB 이

하로 작아지는 것을 알 수 있다. 광대역 안테나의 경우, d=3 m 법에서는 수평편파의 경우에는 유한 접지 도체판의 크기가 폭의 2배, 길이의 2배 정도에서 무한 접지 도체판의 NSA와 큰 차이가 없지만, 수직편파에 대해서는 접지 도체판의 크기를 더욱 크게 가져가야 한다는 것을 알 수 있다.

표 1. NSA 계산치의 비교(수평편파)  
Table 1. Comparison of NSA for horizontal polarization.

		단위 [dB]					
2a \ 2b	6	7	8	9	10	∞	
4 m	2.67	2.87	3.01	3.08	3.10	3.02	
5 m	1.03	1.20	1.31	1.36	1.37	1.30	
6 m	0.32	0.28	0.35	0.38	0.39	0.37	
7 m	0.39	0.26	0.24	0.29	0.33	0.31	
8 m	0.44	0.30	0.21	0.21	0.24	0.27	
∞	0.25	0.11	0.08	0.07	0.05	X	

표2. NSA 계산치의 비교(수직편파)  
Table 2. Comparison of NSA for vertical polarization.

		단위 [dB]						
2a \ 2b	8	10	12	14	16	18	∞	
8 m	1.86	1.57	1.30	1.31	1.36	1.18	0.95	
10 m	1.63	1.45	1.36	1.00	0.83	1.04	0.83	
12 m	1.56	1.13	1.37	0.85	0.75	0.95	0.70	
14 m	1.48	1.08	0.83	0.95	0.85	0.67	0.48	
16 m	1.56	1.19	0.68	0.79	0.87	0.80	0.43	
18 m	1.39	1.11	0.89	0.59	0.79	0.68	0.34	
∞	1.08	0.90	0.76	0.49	0.43	0.34	X	

#### IV. 결 론

유한 접지 도체판 위의 시험장에 대해서 접지 도체

판의 edge가 NSA에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 사용하는 안테나를 광대역 미소다이폴안테나로 가정하여 방사성 방해파의 측정시설로 사용하는 시험장의 크기가 방해파의 측정환경으로 적합한지를 평가하기 위한 기준이 되는 NSA의 이론치를 GTD법을 적용하여 계산하였다.

측정거리  $d=3$  m 의 수평편파 및 수직편파에 대해서 검토한 결과, 수평편파에서는 일반적인 규격에서 규정하고 있는 타원평면의 규격, 즉  $2a = \sqrt{3}d, 2b = 2d$  정도의 방형 접지 도체판에서도 edge의 영향을 무시할 수 있으나, 수직편파의 경우에는 edge의 영향이 크게 작용하여, 측정거리  $d=3$  m에서 방형 접지 도체판의 크기를  $14m \times 14m$  정도로 하여야 edge의 영향이 1 dB 이하가 되는 것을 확인 하였다.

### 참고 문헌

- [1] 윤광렬, "복합형 구조에서의 전자파전파특성", 한국전자통신학회 논문지, 제6권, 3호, pp. 343-348, 2011.
- [2] 이승재, 윤중환, 이진우, "휴대 단말 주파수 대역에서 동작하는 차량용 안테나 설계", 한국전자통신학회 논문지, 제6권, 3호, pp. 337-342, 2011.
- [3] FCC Bullentin OET-55, "Characteristics of open area test site", Aug., 1982.
- [4] T. Kawana, S. Miyajima, "CTheoretical investigations of site attenuation by means of mutual impedance between antennas", in 3rd Symp. Tech. Exhibition EMC 17D3, 1979.
- [5] R.G Fitzgerald, "site attenuation", IEEE Trans., EMC-28, No. 1, pp. 38-40, 1986.
- [6] A.A. Smith, R.F. German, J.B. Pate, "Calculation of site attenuation from antenna factors", IEEE Trans. Electromagn. Compat., EMC-24, No. 3, pp. 301-316 Aug., 1982.
- [7] A. Sigiura, " Formulation of Normalized Site Attenuation in Terms of Antenna Impedances", IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 32, No. 4, pp. 257-263, Nov., 1990.
- [8] J.B. Keller, "Geometrical Theory of Diffraction", J. Opt. Soc. Amer., Vol. 52, No. 2, pp. 116-130, Feb., 1962
- [9] R. G. Kouyoumjian, P.H. Pathak, "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for Edge in

a Perfectly Conducting Surface", Proc. IEEE, Vol. 62, No. 11, pp. 1448-1461, Nov., 1974.

### 저자 소개



#### 윤광렬(Kwang-Yeol Yoon)

1994년 3월 후쿠오카공업대학교 졸업 (공학사)

1996년 3월 후쿠오카공업대학교 대학원 정보공학과 졸업(공학석사)

2001년 3월 큐슈대학교 대학원 시스템정보과학 연구과 졸업(공학박사)

현재 계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전자파 전파, 전자파 수치해석, 전자통신