

평판형 산란체에 대한 전류분포해석

오재현, 오세준\*, 안창희

Analysis of the current distributions on the planar objects

Jae Hyun Oh, Se Jun Oh\*, Chang-Hoi Ahn

School of EECS Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

E-mail : chahn@yu.ac.kr

**Abstract** - The emission of external incident field or near device field is important factor of EMI and EMC. In this paper, we apply MOM, using the RWG basis function, to analysis the induced current distribution on the PEC and dielectric plates. The volume and surface integral equations are presented for the electromagnetic wave scattering from plate structures composed of dielectric and conducting objects.

1. 서 론

현대의 전자장비들은 시간이 경과 할수록 점점 더 고집적화 되고 동작 주파수도 더욱 높아지고 있으며 소비전력은 저전력화 되어 가고 있다. 장치의 소비전력은 저전력화 되고 고집적화 되어감에 따라 외부 입사파와 인접한 전자장치로부터 인한 전자파는 인접한 디지털 회로의 동작에 큰 영향을 미치게 되어 EMC 와 EMI 문제에서 중요한 고려 사항 중 하나이다. 특히 대부분의 많이 사용되고 있는 기판회로들의 EMC/EMI문제에 있어서 외부전자파에 의해 유기되는 전류분포의 해석은 필수적이라고 할 수 있다.

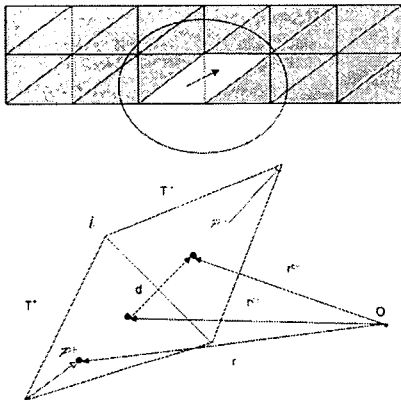
본 논문에서는 평판형 도체 및 유전체에 대한 외부전자파에 의한 유기전류를 구하기 위해서 RWG(Rao, Wilton, Glisson)함수[1]를 전류밀도의 기저함수로 사용하여 MOM(Method of Moment)에 적용 하였다.

또한 도체형 평판에 대한 해석 시에는 FMM(Fast Multipole Method)를 적용하여 빠른 계산이 될 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 표면 RWG 기저함수(Surface RWG basis function)

RWG 기저 함수는 물체의 표면을 삼각형들로 나누었을 때, 각 삼각형들은 서로 공유하는 변을 가지고 그 변의 수직인 성분이 단위 벡터를 가지게끔 정의 된다.



<그림 1> 표면 RWG 기저함수

그림1 과 같이 인접한 두 삼각형(T+,T-)의 넓이가 각각 A1,A2 이고 공유하는 변의 길이가 l<sub>n</sub>일 때 n번째 기저함수는 다음과 같다.

$$f_n(r) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^+} \rho_n^+, & r \in T_n^+ \\ \frac{l_n}{2A_n^-} \rho_n^-, & r \in T_n^- \end{cases} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot f_n = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^+} & r \in T_n^+ \\ \frac{l_n}{2A_n^-} & r \in T_n^- \end{cases} \quad (2)$$

자유공간상에서 전도체에 대해 파가 입사될 때 입사파에 대한 전계 적분

방정식은 다음과 같다.

$$E_{tan}^i = (j\omega A + \nabla\Phi)_{tan}, \quad r \text{ on } S \quad (3)$$

위의 식에 시험함수를 양변에 곱하고 스톡스의 정리를 적용하면 식(4)와 같이 나타난다.

$$\int_s f_m \cdot E^i ds = j\omega \int_s f_m \cdot A ds - \int_s (\nabla \cdot f_m) \Phi ds \quad (4)$$

전류밀도는 RWG함수로 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = \sum_{n=1}^N I_n f_n \quad (5)$$

벡터 자위와 스칼라 전위에 식(5)를 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

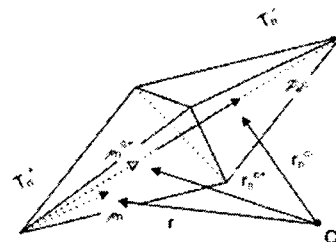
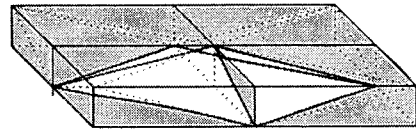
$$A(r) = \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\mu_0}{4\pi} \int_s f_n(r) g ds' \right\} I_n \quad (6)$$

그리고 전위는

$$\Phi(r) = \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\mu_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mu_0}{w} \int_s \nabla \cdot f_n(r) ds' \right\} I_n \quad (7)$$

2.2 체적 RWG 기저 함수(Volume RWG basis function)

체적 RWG 기저함수는 표면 RWG 기저함수와 아주 비슷하다. 그림 2에서처럼 인접한 2개의 4면체는 공유하는 면을 가진다.



<그림 2> 체적 RWG 기저함수

n번째 기저함수는 다음과 같다.

$$f_n = \begin{cases} \frac{a_n}{3V_n^+} \rho_n^+, & r \in T_n^+ \\ \frac{a_n}{3V_n^-} \rho_n^-, & r \in T_n^- \end{cases} \quad (8)$$

$$\nabla \cdot f_n(r) = \begin{cases} \frac{a_n}{V_n^+}, & r \in T_n^+ \\ -\frac{a_n}{V_n^-}, & r \in T_n^- \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (9)$$

자유 공간상에서 유전체에 대해 파가 입사될 때, 입사파에 대한 전계 적분 방정식은 다음과 같다.

$$E^i = E + j\omega A + \nabla\Phi, \quad r \in V \quad (10)$$

만약  $E = D(r)/\epsilon$ 이면

$$\int_V f_m \cdot E^i dr = \int_V f_m \cdot \frac{D(r)}{\epsilon(r)} dr + j\omega \int_V f_m \cdot A dr, \quad r \text{ in } V \quad (11)$$

$$- \int_V \Phi(\nabla \cdot f_m) dr + \int_V \Phi(f_m \cdot \hat{n}) dr$$

그러므로

$$\int_V \nabla \Phi \cdot f_m dr = - \int_V \Phi(\nabla \cdot f_m) dr + \int_{\Omega} \Phi(f_m \cdot \hat{n}) dr \quad (12)$$

전속밀도 D를 기저함수의 형태로 나타내면

$$D = \sum_{n=1}^N D_n f_n \quad (13)$$

이고, 벡터 자위는

$$A_v(r) = \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_V K_n(r') f_n(r') g dr' \right\} D_n \quad (14)$$

이다.

그리고 전위는 다음 식으로 표시된다.

$$\Phi_v(r) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{4\pi\epsilon} \left\{ \int_V K_n(r') \nabla \cdot f_n(r') g dr' + \int_V (\nabla K_n(r')) f_n(r') g dr' \right\} D_n \quad (15)$$

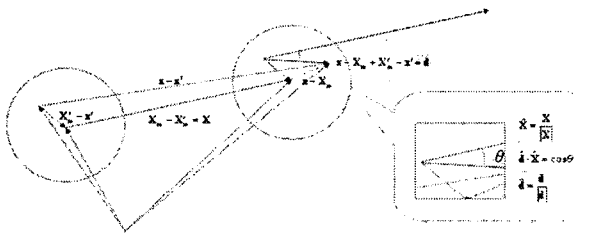
여기에서 K(r)은 다음과 같다.

$$K(r) = \frac{\epsilon(r) - \epsilon_0}{\epsilon(r)} \quad (16)$$

### 2.3 FMM 적용이론

그린함수를 분해 하기 위해 덧셈정리(addition theorem)을 사용하면

$$\frac{e^{jk(X+d)}}{4\pi|X+d|} = \frac{ik}{4\pi} \sum_{l=0}^{\infty} (-1)^l (2l+1) j_l(kd) h_l^{(1)}(kX) P_l(\hat{d} \cdot \hat{X}) \quad (17)$$



<그림 3> X와 d의 관계

$j_l(kd) P_l(\hat{d} \cdot \hat{X})$ 은 평면입사파에 대한 적분방정식으로 전개된다.

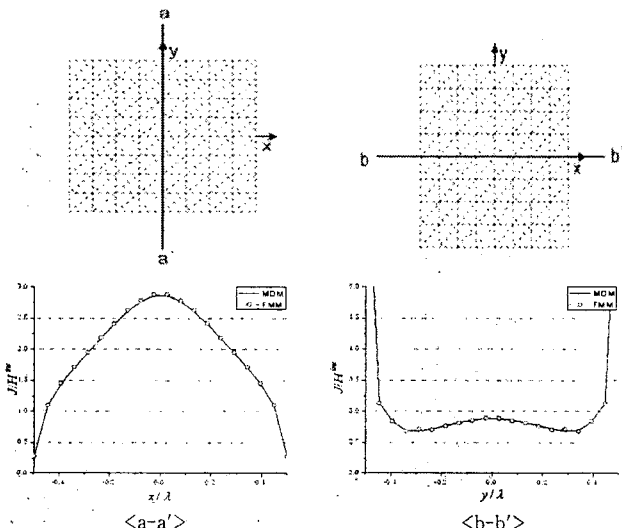
$$4\pi^2 j_l(kd) P_l(\hat{d} \cdot \hat{X}) = \int_S e^{ik \cdot d} P_l(\hat{k} \cdot \hat{X}) d^2 k \quad (18)$$

(17)식에 (18)식을 대입하면

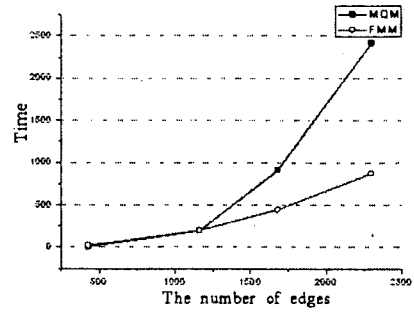
$$\frac{e^{jk(X+d)}}{4\pi|X+d|} = \frac{ik}{16\pi^2} \sum_{l=0}^{\infty} (-1)^l (2l+1) h_l^{(1)}(kX) \int_S e^{ik \cdot d} P_l(\hat{k} \cdot \hat{X}) d^2 k \quad (19)$$

### 3. 수치해석결과

그림 4는 평면파를 수직 입사 했을 때, 전도체의 표면전류분포를 표면 RWG 기저함수를 이용하여 구한 것이다.

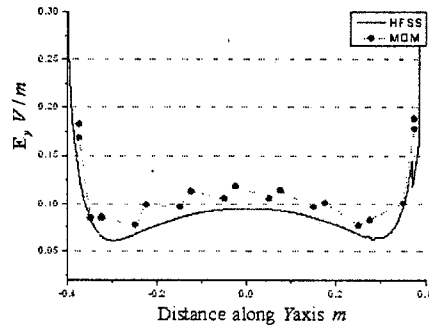
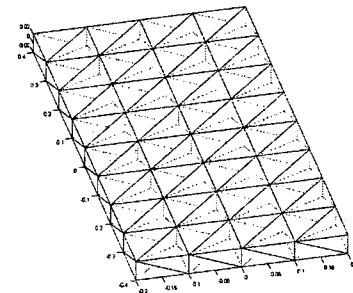


<그림 4> 도체표면의 전류분포 계산 결과



<그림 5> 계산속도

미지수의 수가 증가 할수록 FMM은 MOM에 비해 빠른 시간 안에 원하는 값을 구할 수 있으므로 더 효율적이다. 그리고 그림 6은 순수 유전체 판에 Z축을 따라 평면파를 수직 입사 하였을 때 체적 RWG 기저함수를 이용하여 구한 결과와 상용 툴인 HFSS를 이용한 결과를 비교한 것이다. 절연체 판의 크기는 4X8X0.5 cm 이고, 250MHz에서 상대 유전율은 2이다.



<그림 6> 유전체 표면의 전류분포 계산 결과

### 4. 결 론

본 논문에서는 평판형 산란체 중 표면 RWG 기저함수를 이용한 MOM을 사용하여 외부 입사파에 의해 전도체 표면에서 발생하는 표면 전류를 구하였고, 체적 RWG 기저함수를 이용하여 유전체에 유기되는 전류의 분포를 구하였다. 결과는 상용 해석프로그램의 해석결과와 비교하여 그 값이 유효함을 검증하였다.

### [참고 문헌]

- [1] S. M. Rao, D. R. Wilton, and A. W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surface of arbitrary shape," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-30, no.3, pp.409-418, May 1982
- [2] D. H. Schaubert, D. R. Wilton, and A. W. Glisson, "A tetrahedral modeling method for electromagnetic scattering by arbitrarily shaped in homogeneous dielectric bodies," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-32, no. 1, pp. 77-85, January 1984
- [3] J. Stratton, "Electromagnetic Theory," McGraw-Hill, 1941
- [4] S. N. Makarov, "Antenna and EM Modeling with MATLAB," WILEY, 2002
- [5] R. Coifman, V. Rokhlin, and S. Wandzura, "The fast multipole method for the wave equation: a pedestrian prescription," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 35, no. 3, pp. 7-12, June 1993.
- [6] Jiming Song and Weng Cho Chew, "Multilevel fast multipole algorithm for solving combined field integral equation of electromagnetic scattering," Microwave and Optical Technology Letter, vol. 10, no. 1, pp. 14-19, September 1995.