

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.2.47>

JIIBC 2019-2-6

## 2중 유전체층 사이의 완전도체띠 격자구조에 의한 TE 산란 해석

### Analysis of TE Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer

윤익중\*

Uei-Joong Yoon\*

**요약** 본 논문에서는 2중 유전체층 사이의 완전도체띠 격자구조에 의한 TE(transverse electric) 산란 문제는 전자과 수치해석 방법으로 알려진 FGMM(Fourier-Galerkin moment method)를 이용하여 해석하였다. 경계조건들은 미지의 계수를 구하기 위하여 이용하였고, 도체띠의 해석을 위해 완전도체 경계조건을 적용하였다. 도체띠의 폭과 주기, 2중 유전체층 사이의 비유전율과 두께 및 입사각에 대해 정규화된 반사전력과 투과전력을 계산하였다. 전반적으로 유전율의 값이 증가하면 반사전력은 증가하며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다. 유전율이 증가할수록 도체띠에 유도되는 전류밀도는 양쪽 끝으로 진행하면서 증가하였다. 본 논문의 제안된 구조에 대한 수치결과들은 기존 논문의 수치해석 결과들과 비교하여 매우 잘 일치하였다.

**Abstract** In this paper, TE(transverse electric) scattering problems by a conductive strip grating between a double dielectric layer are analyzed by applying the FGMM(Fourier-Galerkin moment method) known as a numerical method of electromagnetic field. The boundary conditions are applied to obtain the unknown field coefficients, and the conductive boundary condition is applied to analysis of the conductive strip. The numerical results for the normalized reflected and transmitted power are analyzed by according as the width and spacing of conductive strip, the relative permittivity and thickness of the double dielectric layers, and incident angles. Generally, as the value of the dielectric constant increases, the reflected power increases and the transmitted power decreases, respectively. As the dielectric constant increases, the current density induced in the strip increases as it goes to both strip ends. The numerical results for the presented structure of this paper are shown in good agreement compared to those of the existing papers.

**Key Words** : TE scattering, Conductive boundary condition, double dielectric layer, PMM, FGMM.

## 1. 서 론

유전체 판상의 스트립 회절격자(strip grating)에 의한 산란문제는 광학, 필터, 레이더, 안테나 및 전자기학의 이론 및 응용분야에서 중요시 되었고, 광학에서는 이러한

구조들은 회절격자로 널리 이용되어 왔으며, reflector antenna systems, wave polarizers, artificial dielectrics, side lobe suppression angular filter 등 반사나 투과 현상을 취급하기 위해서 여러 연구자들에 의해서 많은 관심을 가져왔다<sup>[1]-[10]</sup>. 격자구조에 도체띠(conductive strip)

\*중신회원, 가천대학교 의용생체공학과  
접수일자 : 2019년 1월 19일, 수정완료 : 2019년 3월 8일  
게재확정일자 : 2019년 4월 5일

Received: 19 January, 2019 / Revised: 8 March, 2019 /

Accepted: 5 April, 2019

\*Corresponding Author: uijoon@gachon.ac.kr

Dept. of Biomedical Engineering, Gachon University, Korea

를 사용한 기본 문제로서 Richmond<sup>[2]</sup>는 자유공간상에서 스트립에 유도되는 미지의 유도전류를 FGMM(fourier-galerkin moment method)을 이용하여 수치해석하였고, Mittra<sup>[3]</sup>는 자유공간상에서 저항띠를 가진 경우는 파수 영역에서 SGMM(spectral galerkin moment method)을 적용하여 수치해석하였으며, Kalhor<sup>[4]</sup>는 반사를 유리하도록 유전체 접지층 위에 도체띠를 가지는 경우에 대해 PMM(point matching method)을 이용하여 수치 계산하였다. 주기적인 유전체층 문제에 대해 전자기과의 산란 문제에 대해 근사화 이론을 이용하여 해석하였고<sup>[5]</sup>, 주기적인 유전체 층을 사용한 안테나용 주파수 선택 반사기를 설계한 바 있다<sup>[6]</sup>.

TE(transverse electric, H-polarized)산란 문제를 취급함에 있어, 접지 유전체층 위의 저항띠에 유도되는 전류밀도를 sine 함수와 cosine 함수로 나누어 홀수 항과 짝수 항으로 구분해서 수치해석하였고<sup>[7]</sup>, 접지된 2개의 유전체층 위의 도체띠의 경우 FGMM을 이용하여 수치 계산하였다<sup>[8]</sup>. 1개 유전체층 위의 완전도체띠 격자구조에 의한 TE 산란 문제를 해석하였으며<sup>[9]</sup>, 2중 유전체층 사이의 완전도체띠 격자구조에 대해 TE 산란 문제를 PMM을 이용하여 수치해석하였다<sup>[10]</sup>.

본 논문에서는 TE 산란 문제의 경우, 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 완전도체띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 FGMM을 이용하여 정규화된 반사 및 투과전력을 계산하고, 기존의 PMM의 수치계산 결과와 비교하여 본 논문의 타당성을 입증하는 것이 본 논문의 목적이다.

## II. 문제 구조의 전자계 수식전개

문제의 구조는 그림 1과 같이 TE 평면파가 가장자리에 나란하게  $\phi$ 의 각도로 비스듬히 입사하고, 접지된 2중 유전체층 사이에 완전도체띠가  $y$  방향으로 무한하게 배열되어 있다. 완전도체띠의 격자는  $x$ - $y$ 평면상에 위치하고 있으며,  $x$  방향으로 주기적으로 배열되어 있으며, 스트립 주기  $s$ , 스트립 폭  $w$ , 영역 1과 2의 비유전율 및 두께는  $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$  [F/m] 및  $t_1$ ,  $t_2$ 이며, 단위는 파장 $[\lambda]$ 이다.

그림 1과 같은 구조에 대하여 영역 0에 입사하는 자기장  $\vec{H}^i$  및 전기장  $\vec{E}^i$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>[4][8]</sup>.

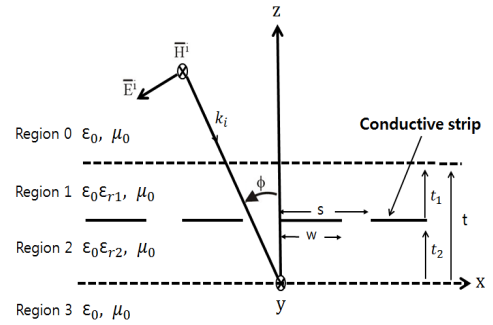


그림 1. 2중 유전체층을 갖는 TE 평면파의 구조  
Fig. 1. Geometry of TE plane wave with a double dielectric layer

$$\vec{H}^i = \hat{a}_y H_0 e^{-jk_0 x \sin \phi} e^{jk_0 z \cos \phi} \quad (1)$$

$$\vec{E}^i = -(\hat{a}_x \cos \phi + \hat{a}_z \sin \phi) \frac{H_0}{\omega \epsilon_0} k_0 e^{-jk_0 x \sin \phi} e^{jk_0 z \cos \phi} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서  $\hat{a}_x$ ,  $\hat{a}_y$  및  $\hat{a}_z$ 는  $x$ ,  $y$  및  $z$  방향의 단위벡터이며, 매질의 전파상수(propagation constant)  $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ ,  $\mu_0$ 와  $\epsilon_0$ 는 자유공간의 투자율 및 유전율,  $H_0$ 는 입사 자계의 진폭으로 정규화하였다. 영역 0에서 산란 자기장  $\vec{H}^s$  및 전기장  $\vec{E}^s$ 는 다음과 같은 평면파의 합으로 표시할 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$\vec{H}^s = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n A_n e^{-j\gamma_n(z-t)} e^{-j2n\pi x/s} \quad (3)$$

$$\vec{E}^s = \hat{a}_x \frac{e^{-jk_0 x \sin \phi}}{\omega \epsilon_0} \sum_n A_n \gamma_n e^{-\gamma_n(z-t)} e^{-j2n\pi x/s} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서  $A_n$ 는 구해야 할 미지의 계수이며,  $\beta_n = \beta_0 + 2\pi n/s$ ,  $\gamma_n$ 는 2가지 모드인 전파모드(propagation mode)와 감쇠모드(evanescent mode)로 표시할 수 있다<sup>[4][8]</sup>.

$$\gamma_n = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2}, & k_0^2 > \beta_n^2 \\ -j\sqrt{\beta_n^2 - k_0^2}, & k_0^2 < \beta_n^2 \end{cases} \quad (5)$$

영역 1( $t_2 \leq z \leq t$ )과 영역 2( $0 \leq z \leq t_2$ )에서 전체 자계  $\overline{H}_i^t$  및 전계  $\overline{E}_i^t$ 는 다음과 같이 무한급수의 합으로 표현할 수 있다.

$$\overline{H}_i^t = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n (B_{ni} e^{-jn_0 x} + C_{ni} e^{jn_0 x}) e^{-j2n\pi x/s} \quad (6)$$

$$\overline{E}_i^t = -\hat{a}_x \frac{e^{-jk_0 x \sin \phi}}{\omega \epsilon_0 \epsilon_{ri}} \sum_n \eta_{ni} (B_{ni} e^{-jn_0 x} - C_{ni} e^{jn_0 x}) e^{j2n\pi x/s} \quad (7)$$

여기서  $B_{ni}$ 와  $C_{ni}$ 는 구해야 할 미지의 계수,  $i$ 는 유전체 영역 1과 2를 의미하며,  $\eta_{ni}$ 는 다음과 같이 2가지 모드로 구분하여 표시할 수 있다.

$$\eta_{ni} = \begin{cases} \sqrt{k_i^2 - \beta_n^2}, k_i^2 \geq \beta_n^2 \\ -j \sqrt{\beta_n^2 - k_i^2}, k_i^2 < \beta_n^2 \end{cases} \quad i=1, 2 \quad (8)$$

식 (8)에서  $k_i = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{ri}} = k_0 \sqrt{\epsilon_{ri}}$ ,  $\epsilon_{ri}$ 는 영역 1과 2의 비유전율[F/m]이며, 자유 공간상의 영역 3에서 투과하는 전체 자계  $\overline{H}_3^t$  및 전계  $\overline{E}_3^t$ 는 다음과 같이 무한급수의 합으로 표현할 수 있다.

$$\overline{H}_3^t = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n T_n e^{j\gamma_n z} e^{-j2n\pi x/s} \quad (9)$$

$$\overline{E}_3^t = -\hat{a}_x \frac{1}{\omega \epsilon_0} e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n T_n \gamma_n e^{j\gamma_n z} e^{-j2n\pi x/s} \quad (10)$$

식 (9)와 (10)에서  $T_n$ 은 투과계수이며, 지금까지 사용된 미지의 계수를 구하기 위해 경계조건을 적용한다.  $z=0$ 에서 전계와 자계는 연속이며, 경계면  $z=t_2$ 인 영역 0과 영역 1에서 전계는 연속이어야 하므로 식 (2), (4) 및 (7)을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$C_n = \frac{\epsilon_{r1}}{\eta_{n1}} (k_0 \cos \phi \delta_n e^{jk_0 t \cos \phi} - A_n \gamma_n) e^{-jn_0 t_1} + B_n e^{-j2n_0 t_1} \quad (11)$$

경계면  $z=t$ 에서 영역 0과 영역 1의 자계 성분도 연

속이어야 하므로 식 (1), 식 (3) 및 식 (6)을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$C_n = (A_n + \delta_n e^{jk_0 t \cos \phi}) e^{-jn_0 t_1} - B_n e^{-j2n_0 t_1} \quad (12)$$

식 (11)과 (12)는 동일한 계수이므로 정리하면  $B_n$ 를  $A_n$ 의 항으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$B_n = p_{n0} A_n + e^{j\gamma_n t} (p_{n1} \delta_n) \quad (13)$$

$$p_{n0} = 0.5(1 + \epsilon_{r1} \gamma_n / \eta_{n1}) e^{jn_0 t_1} \quad (14)$$

$$p_{n1} = 0.5(1 - k_0 \cos \phi \epsilon_{r1} / \eta_{n1}) e^{jn_0 t_1} \quad (15)$$

또한,  $z=t_2$ 인 경계면에서 도체면에 유도되는 전류를 미지의 계수와 간단한 지수함수의 곱의 급수로 전개할 수 있다.

$$\overline{J}_x = \hat{a}_x e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_{p=-N}^N f_p e^{jp\pi x/h}, \quad -h \leq x \leq h \quad (16)$$

식 (16)에서  $f_p$ 는 미지의 계수이며, 유도전류는 경계면  $z=t_2$ 에서 자계의 차이에 의해서 결정되므로 식 (6), (13), (16)을 이용하여 정리한 후, 양변에  $e^{j2n\pi x/s}$ 를 곱하고, 한주기 s구간에서 양변을 적분하면 다음과 같이  $A_n$ 을 구할 수 있다.

$$A_n = \frac{1}{s} \sum_{p=-M}^M f_p \left( \frac{G_{pn}}{P_{n6}} \right) + e^{k_0 t \cos \phi} \left\{ \left( \frac{P_{n7}}{P_{n6}} \right) \delta_n \right\} \quad (17)$$

$$p_{n2} = \frac{\eta_{n2} + \gamma_n \epsilon_{r2}}{\eta_{n2} - \gamma_n \epsilon_{r2}} \quad (18)$$

$$p_{n3} = \left( \frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}} \frac{\eta_{n1}}{\eta_{n2}} \right) \left( \frac{e^{-jn_0 d_2} + p_{n2} e^{jn_0 d_2}}{e^{-jn_0 d_2} - p_{n2} e^{jn_0 d_2}} \right) \quad (19)$$

$$p_{n4} = p_{n3} - 1 \quad (20)$$

$$p_{n5} = p_{n3} + 1 \quad (21)$$

$$p_{n6} = p_{n0}(p_{n4} + p_{n5}e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - p_{n5}e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (22)$$

$$p_{n7} = p_{n1}(p_{n4} + p_{n5}e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - p_{n5}e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (23)$$

$$G_{pm} = \int_{-h}^h e^{j2\pi(p/w+n/s)x} dx \quad (24)$$

경계면  $z = t_2$  인 경계면의 완전도체피에서 전체 전계는 사라져야 하며, 영역 1에서의 전계 관련식을 정리한 후 양변에  $e^{-jq\pi x/h}$ 를 곱한 후, 양변에 도체피 구간에 대해 적분을 취하면 다음과 같은 선형방정식(linear equation)을 얻는다.

$$\sum_{p=-M}^M f_p Z_{pq} = V_q \quad (25)$$

$$Z_{pq} = \frac{1}{s} \sum_{n=-N}^N \left( G_{pm} \frac{p_{n8}}{p_{n6}} \right) G_{qn}^* \quad (26)$$

$$V_q = e^{jk_0 t \cos \phi} \left[ \sum_{n=-N}^N \left( \frac{p_{n7}}{p_{n6}} p_{n8} - p_{n9} \right) \delta_n \right] G_{qn}^* \quad (27)$$

$$G_{qn}^* = \int_{-h}^h e^{-j2\pi(p/w+n/s)x} dx \quad (28)$$

상기 식에서 “\*”는 공액복소수(Complex conjugate)를 의미하며, 사용된 계수와 적분방정식은 다음과 같다.

$$p_{n8} = \frac{\eta_{n0}\eta_{n1}}{k_0\epsilon_{r1}} \{ p_{n0}(1 + e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - e^{-j\eta_{n1}t_1} \} \quad (29)$$

$$p_{n9} = \frac{\eta_{n0}\eta_{n1}}{k_0\epsilon_{r1}} \{ p_{n1}(1 + e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - e^{-j\eta_{n1}t_1} \} \quad (30)$$

또한 각 영역에서 전자계의 연속정리를 이용하면 투과계수  $T_n$ 은 다음과 같다<sup>[10]</sup>.

$$T_n = \frac{2\eta_{n2}}{\eta_{n2} - \gamma_n \epsilon_{r2}} (A_n p_{n8} - e^{jk_0 t \cos \phi} \delta_n p_{n9}) \quad (31)$$

### III. 수치계산 결과 및 검토

본 논문에서는 TE 산란문제에 대하여 접지된 2개의 유전체층 위에 도체피가 주기적으로 배열되어 있을 때, 반사 및 투과전력을 FGMM을 이용하여 수치계산하였다. 식 (25)를 이용하여 정방형 매트릭스를 역변환하여 미지의 계수  $f_p$ 를 구한 후, 식 (17)과 (31)을 이용하여 정규화된 반사전력  $|A_0|^2$  및 투과전력  $|T_0|^2$ 를 계산하며,  $p = q = [-M:M]$ ,  $n = [-N:N]$ 을 가지며, 이 때  $M = 10$ ,  $N = 100$ 으로 매트릭스의 크기를 한정하였다. 본 논문의 경우 식 (25)에서 정방행렬은  $21 \times 21$ 의 크기를 가지나, PMM의 방법으로 수치해석할 경우는 정방행렬이  $201 \times 201$ 의 크기를 가지므로 역변환시 FGMM의 경우보다 더 많은 시간이 소요된다<sup>[10]</sup>. 또한 비유전율 및 도체피의 폭, 주기 및 유전체층의 두께의 단위는 파장 $[\lambda]$ 으로 편의상 단위는 생략한다.

그림 2는 수직입사시, 격자상수가  $s = 1.2$ ,  $w = 0.8$ ,  $t_1 = 0.05$ ,  $t_2 = 0.05$ 일 때 도체피에 유도되는 전류밀도는 좌우대칭이므로 수치계산의 타당성을 검증하였으며, 또한 비유전율의 값이 큰 경우가 작은 경우보다 도체피 양 끝으로 가면서 증가하였다.

그림 3과 4는 입사각이 30도 및  $s = 0.3$ 인 경우, 격자상수  $t_1 = 0.1$ ,  $t_2 = 0.1$ ,  $s = 0.3$ ,  $w/s = 0.25$ 일 때  $w/s$ 의 비에 대한 반사 및 투과전력을 계산하였다. 전반적으로 유전율의 값이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 투과전력은 감소하였다. 범례의 “●”와 “○”는 동일한 격자상수를 사용했을 때 PMM을 이용하여 수치계산한 결과로 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 입증하였다<sup>[10]</sup>.

그림 5와 6은 수직입사시, 격자상수  $t_1 = 0.1$ ,  $t_2 = 0.1$ ,  $w/s = 0.25$ 일 때 비유전율에 대한 반사 및 투과전력을 계산하였으며, 유전율의 값이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 격자주기  $s = 1$  부근에서 급변하는 반사 및 투과전력이 발생하였는데, 이는 전파모드에서 감쇠모드로, 감쇠모드에서 전파모드로 전환될 때 발생하는 것으로 ‘Wood’s anomaly’라고 언급한 바 있다<sup>[4]</sup>.

그림 7과 8은 격자상수  $t_1 = 0.1$ ,  $t_2 = 0.1$ ,  $s = 1.2$ ,  $w = 0.8$ ,  $h = 0.4$ 일 때  $\epsilon_{r1}$  및  $\epsilon_{r2}$ 을 변화시켰을 때 입사각에 대한 반사 및 투과전력을 계산하였다. 전반적으로  $\epsilon_{r1}$ 의 값이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 입사각이 10도에서 40도 부근에서는 대역통과 필터의 역할을 하였다.

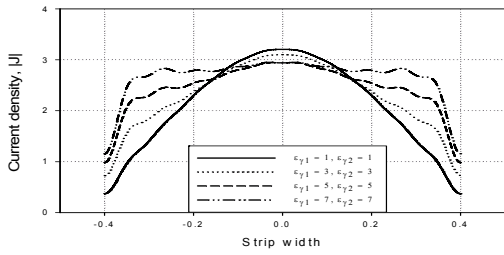


그림 2. 수직입사시 전류밀도의 크기  
 Fig. 2. Magnitude of current density for normal incidence.

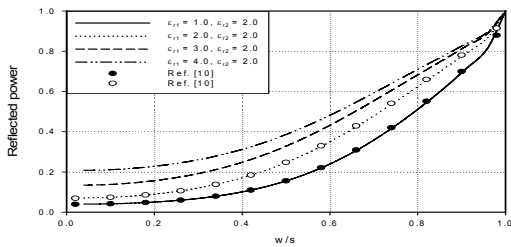


그림 3. 입사각 30도에서 w/s비에 대한 반사전력  
 Fig. 3. Reflected power for w/s ratio at incident angle  $\phi = 30^\circ$

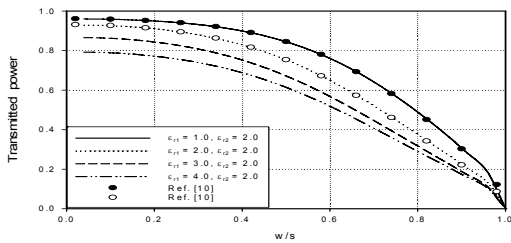


그림 4. 입사각 30도에서 w/s비에 대한 투과전력  
 Fig. 4. Transmitted power for w/s ratio at incident angle  $\phi = 30^\circ$

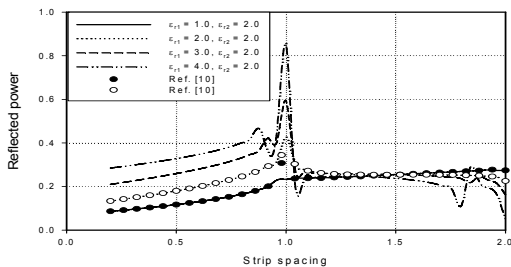


그림 5. 수직입사시 주기와 비유전율에 대한 반사전력  
 Fig. 5. Reflected power for strip spacing and relative permittivity at normal incidence

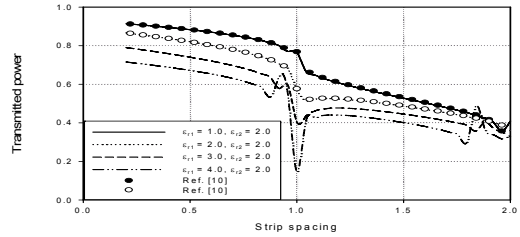


그림 6. 수직입사시 주기와 비유전율에 대한 투과전력  
 Fig. 6. Transmitted power for strip spacing and relative permittivity at normal incidence

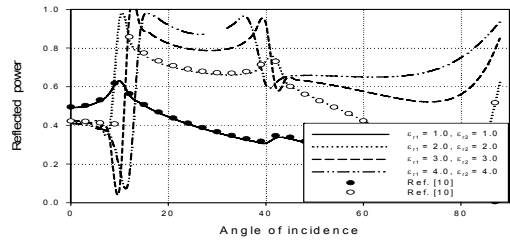


그림 7. 수직과 비유전율에 따른 대한 반사전력  
 Fig. 7. Reflected power for relative permittivity and incident angles

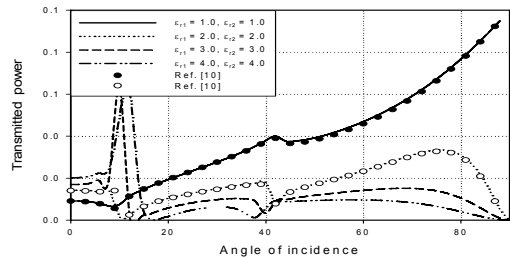


그림 8. 수직과 비유전율에 따른 대한 투과전력  
 Fig. 8. Transmitted power for relative permittivity and incident angles

## IV. 결론

본 논문에서는 TE 산란 문제의 경우, 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 완전도체가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 FGMM을 이용하여 정규화된 기하광학적 반사 및 투과전력을 구하고, 기존의 PMM을 이용한 수치계산 결과와 비교하여 수치결과가 거의 일치하였다. 또한 역변환시, 본 논문의 경우가 기존의 PMM의 경우보다 상대적으로 역변환을 수행하는 정방행렬의 크기를 작게 할 수 있으므로 수치해석 시간을 절약할 수 있다

는 장점을 가진다.

전반적으로 유전율의 값이 증가하면 반사전력은 증가하며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다. 유전율이 크면 작은 경우보다 도체띠에 유도되는 전류밀도는 양쪽 끝으로 가면서 증가하였으며, 유전체층의 두께가 증가하면 전체적으로 전류밀도는 증가하였다.

앞으로 본 논문을 기초로 하여 접지된 2중 유전체층 사이에 의한 TE 산란에 대해서도 수치해석이 가능할 것으로 기대되어 지속적인 연구가 필요하다.

## References

- [1] M. Ando and K. Takei, "Reflection and Transmission Coefficient of a Thin Strip Grating for Antenna Application," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 4, pp. 367-371, Mar. 1987.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.1987.1144112>
- [2] J. H. Richmond, "On the Edge Mode in the Theory of TM Scattering by a Strip or Strip Grating," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-28, pp. 883-887, Sept. 1980.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.1980.1142427>
- [3] R. C. Hall and R. Mittra, "Scattering from a Periodic Array of Resistive Strips," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-33, pp. 1009-1011, Sept. 1985.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.1985.1143706>
- [4] H. A. Kalhor, "Electromagnetic Scattering by a Dielectric Slab Loaded with a Periodic Array of Strips Over a Grounded Plane," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-36, No. 1, pp. 147-151, Jan. 1988.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/8.1088>
- [5] M. N. Kim and G. S. Chae, "Analysis of Scattering of Electromagnetic Wave in Dielectric Periodic Media," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 5, No. 5, pp. 385-388, 2004.
- [6] K. C. Ho, "Design of Frequency-Selective Reflector for Large Reflecting Antennas using a Periodic Dielectric Layer," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 10, No. 1, pp. 33-38, 2010.
- [7] Y. S. Choi and S. I. Yang, "Analysis of the Electromagnetic Scattering of Resistive Strip Grating with Uniform Resistivity on a Grounded Dielectric Layer. H-Polarization case," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 31, No. 3A, pp. 321-327, Mar. 2006.
- [8] U. J. Yoon, "Solution of TE Scattering by a Perfectly Conducting Strip Grating Over the Grounded Two Dielectric Layers Applying Fourier-Galerkin Moment Method," Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 16, No. 4, pp. 635-640, Aug. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2012.16.4.635>
- [9] U. J. Yoon, "A study on TE Scattering by a Perfectly Conductive Strip Grating Over a Dielectric Layer," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 16, No. 6, pp. 4158-4163, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4158>
- [10] U. J. Yoon, "A Study on TE Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 17, No. 2, pp. 83-88, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.2.83>

## 저자 소개

### 윤 의 중(중신회원)



- 1993년 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1997년 6월 ~ 1997년 8월 : Bemidji State University in Minnesota (USA), 미국방문 연수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 의용생체공학과 교수

• 주관심분야 : 전자파산란 수치해석, 생체모니터링 시스템, Biosensor, Embedded system 등