

유전체층 위의 완전도체띠 격자구조에 의한 TE 산란에 관한 연구

윤의중*

¹가천대학교 의용생체공학과

A Study on TE Scattering by a Conductive Strip Grating Over a Dielectric Layer

Uei-Joong Yoon^{1*}

¹Department of Biomedical Engineering, Gachon University

요약 본 논문에서는 유전체층 위의 완전도체띠 격자구조에 의한 TE(transverse electric)산란 문제를 전자파 수치해석 방법으로 알려진 FGMM(fourier-Galerkin moment method) 및 PMM(point matching method)을 이용하여 해석하였다. 산란전자계는 Floquet 모드함수의 급수로 전개하였고, 경계조건은 미지의 계수를 구하기 위하여 적용하였으며, 완전도체의 경계조건은 접선성분의 전계와 스트립위에 유도되는 전류와의 관계를 이용하였다. 도체띠의 폭과 주기, 유전체의 비유전율과 두께 및 입사각에 대해 정규화된 기하광학적 반사 및 투과전력을 계산하였다. 전반적으로 유전체층의 비유전율이 증가할수록 기하광학적 정규화된 반사전력이 증가하였다. 본 논문의 정확도를 검증하기 위하여 FGMM의 수치결과들은 PMM을 이용한 수치계산 결과들과 비교하여 매우 잘 일치하였다.

Abstract In this paper, the solutions of TE(transverse electric) scattering problems by a conductive strip grating over a dielectric layer are analyzed by using the FGMM(fourier galerkin moment method) and PMM(point matching method) known as a numerical method of electromagnetic field. The scattered electromagnetic fields are expanded in a series of floquet mode functions, the boundary conditions are applied to obtain the unknown field coefficients, and the conductive boundary condition is used for the relationship between the tangential electric field and the induced surface current density on the strip. The numerical results for the reflected and transmitted power of zeroth mode analyzed by according as the width and spacing of conductive strip, the relative permittivity and thickness of dielectric layer, and incident angles. Generally, according to the relative permittivity of dielectric layer increased, also the normalized reflected power of zeroth mode increased. To examine the accuracy of this paper, the numerical results of FGMM shown in good agreement compared to those of PMM.

Key Words : conductive boundary condition, fourier galerkin moment method, point matching method, TE scattering.

1. 서론

유전체 판상의 스트립 회절격자(strip grating)에 의한 산란문제는 광학, 필터, 레이더, 안테나 및 전자기학의 이론 및 응용분야에서 중요시 되었고, 광학에서는 이러한 구조들은 전송회절격자로 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[1-9]. 격자구조에 도체를 사용한 기본 문제로서 Richmond [2]는 자유공간 상에서 스트립에 유도되는 미지의 유도전류를 간단히 Fourier 급수로 전개하여 FGMM(fourier galerkin moment method)을 이용하여 수치해석하였으며, 자유공간 상에서 저항띠

*Corresponding Author : Uei-Joong Yoon(Gachon Univ.)

Tel: +82-32-820-4252 email: ujuoon@gachon.ac.kr

Received February 27, 2015

Revised May 8, 2015

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

(resistive strip)를 가진 경우는 파수영역에서 SGMM (spectral galerkin moment method)을 이용하여 수치해석하였다[3], [4].

도체띠 격자구조에 의한 산란 문제에 대해 반사를 유리하게 하기 위하여 유전체 접지층 위에 도체띠를 가지는 경우에 대해 수치방법 중의 하나인 PMM(point matching method)을 이용하여 수치 계산하였으며 [5], 접지 유전체층의 TM 산란 문제에 대해 급속한 수렴 해를 취급하였다[6].

최근에 TE(transverse electric)산란 문제를 취급함에 있어, 접지 유전체층 위의 저항띠에 유도되는 전류밀도를 sine 함수와 cosine 함수로 나누어 홀수 항과 짝수 항으로 구분해서 수치해석하였고 [7], 기저함수를 홀수 항과 짝수 항으로 구분하여 처리하는 번거로움을 피하기 위하여 기저함수를 간단한 지수함수를 사용하여 접지된 유전체층 위의 도체띠 격자구조에 대하여 FGMM을 이용하여 수치해석한 바 있다[8]. 또한 유전체층 위의 도체 스트립 격자구조에 대한 TE 산란문제는 단락된 슬롯(slot)에 대해 등가 표면 자계 전류를 이용하여 FGMM 방법을 이용하여 수치해석한 바 있으나[9], 슬롯에 대해 등가자계의 전류밀도를 적용한 수치해석 결과는 TM 산란해석과 동일한 결과를 가진다.

본 논문에서는 TE 산란문제의 경우에 대해 유전체층 위에 매우 얇은 도체띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 FGMM을 이용하여 기하광학적 반사 및 투과전력을 수치계산하고 수치해석의 타당성을 검증하기 위하여 수치해석 방법인 PMM을 이용한 수치계산 결과와 비교하여 본 논문의 타당성을 입증하는 것이 본 논문의 목적이다.

2. 문제구조의 전자계 수식 전개

Fig. 1에서 TE 평면파(Plane Wave)가 가장자리에 나란하게 ϕ 의 각도로 비스듬히 입사하고, 접지된 2개의 유전체층 위에 도체띠가 y 방향으로 무한하며, 도체띠 격자는 $x-y$ 평면상에 있고 x 방향으로 주기적으로 배열되어 있다. 또한 영역 1의 비유전율은 ϵ_r [F/m], 스트립 주기 s , 스트립 폭 w , h 는 스트립 폭의 반 ($h = w/2$), 영역 1의 유전체 두께 t 의 단위는 파장 $[\lambda]$ 이다. 이때 영역 0에서 입사 자계 \overline{H}^i 와 입사 전기 \overline{E}^i 는 다음과 같다[8].

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

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

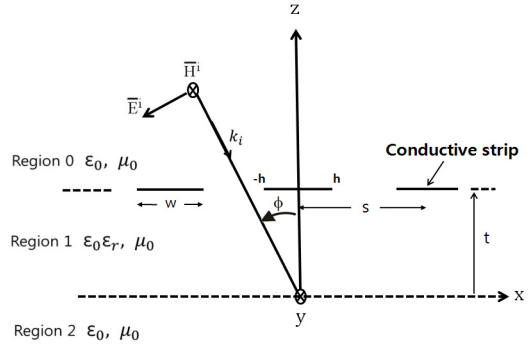


Fig. 1. Structure of TE scattering for incident angle

식 (1)과 (2)에서 \hat{a}_x, \hat{a}_y 및 \hat{a}_z 는 x, y 및 z 방향의 단위벡터를 의미하며, 전파상수 $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, 고유 임피던스 $\eta_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$, μ_0 와 ϵ_0 는 자유공간의 투자율 및 유전율, H_0 는 입사자계의 진폭으로 크기는 1로 정규화하고 수식전개시 생략한다. 영역 0에서의 산란자계 \overline{H}^s 와 산란전기 \overline{E}^s 는 평면파의 합으로 다음과 같이 표현할 수 있다[8].

$$\overline{H}^s = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n A_n e^{-\hat{j} \gamma_n (z-t)} e^{-\hat{j} 2n\pi x / s} \quad (3)$$

$$\overline{E}^s = \hat{a}_x \frac{e^{-jk_0 x \sin \phi}}{\omega \epsilon_0} \sum_n A_n \gamma_n e^{-\hat{j} \gamma_n (z-t)} e^{-\hat{j} 2n\pi x / s} \quad (4)$$

여기서 A_n 은 구해야 할 미지의 계수이며, $\beta_n = k_0 \sin \phi + 2n\pi / s$, γ_n 는 자유공간 상에서 2가지 모드인 전파모드 (Propagation mode)와 감쇠모드 (Evanescent mode)로 구분하여 다음과 같이 표시할 수 있다[8].

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

영역 1의 접선성분의 전체 자계 $\overline{H_1^t}$ 및 전체 $\overline{E_1^t}$ 는 미지의 급수들의 합으로 표현할 수 있다.

$$\overline{H_1^t} = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n \cdot (B_n e^{-j\eta_n x} + C_n e^{j\eta_n x}) e^{-j2n\pi x/s} \quad (6)$$

$$\overline{E_1^t} = -\hat{a}_x \frac{e^{-jk_0 x \sin \phi}}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r} \sum_n \eta_n \cdot (B_n e^{-j\eta_n x} - C_n e^{j\eta_n x}) e^{j2n\pi x/s} \quad (7)$$

여기서 B_n 와 C_n 는 구해야 할 미지의 계수이며, η_n 는 다음과 같이 유전체층에서 2가지인 전파모드와 감쇠모드로 구분하여 표시할 수 있다[8].

$$\eta_n = \begin{cases} \sqrt{k_d^2 - \beta_n^2}, & k_d^2 \geq \beta_n^2 \\ -j \sqrt{\beta_n^2 - k_d^2}, & k_d^2 < \beta_n^2 \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)에서 $k_d = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r} = k_0 \sqrt{\epsilon_r}$ 이며, ϵ_r 는 영역 1의 비유전율[F/m]을 의미하며, 영역 2에서 투과하는 전체 자계 $\overline{H_2^t}$ 및 전체 $\overline{E_2^t}$ 는 다음과 같이 무한급수의 합으로 표현할 수 있다.

$$\overline{H_2^t} = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n T_n e^{j\eta_n z} e^{-j2n\pi x/s} \quad (9)$$

$$\overline{E_2^t} = -\hat{a}_x \frac{1}{\omega \epsilon_0} e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n T_n \gamma_n e^{j\eta_n z} e^{-j2n\pi x/s} \quad (10)$$

식 (9)와 (10)에서 T_n 은 투과계수이며, 지금까지 사용된 미지의 계수를 구하기 위해 경계조건을 적용한다. 우선 $z=0$ 인 영역 1과 2의 경계면에서 접선성분의 자계 및 전계는 연속이므로 이들의 경계조건들을 정리하면 B_n 를 A_n 의 항으로 표현할 수 있다.

$$B_n = \frac{\epsilon_r}{\eta_n} \frac{A_n \gamma_n - k_0 \cos \phi \delta_n e^{j\eta_n t}}{e^{-j\eta_n t} - (\eta_n + \epsilon_r \gamma_r) / (\eta_n - \epsilon_r \gamma_r)} e^{j\eta_n t} \quad (11)$$

식 (11)에서 δ_n 는 $n = 0$ 일 때만 1이 $n \neq 0$ 의 경우는 0인 Kronecker delta 함수이다.

2.1 FGMM을 이용한 수치해석

본 논문에서 제안한 구조에 대해 FGMM을 이용하여

수치해석한다. 우선, $z=t$ 인 경계면에서 완전도체피에 유도되는 전류를 미지의 계수와 간단한 지수함수의 곱의 급수로 전개하였다.

$$\overline{J_x} = \hat{a}_x e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_{p=-N}^N f_p e^{j p \pi x / h}, \quad -h \leq x \leq h \quad (12)$$

도체피에 유도되는 전기전류 식 (12)는 자계의 경계조건을 이용하여 계산되므로 식(1), (3) 및 식 (7)에 의해 얻어진 식을 정리한 후, 양변에 $e^{j2n\pi x/s}$ 를 곱하고, 한 주기 구간에서 양변을 적분하면 다음과 같이 A_n 의 항으로 표시할 수 있다.

$$A_n = -\frac{1}{s} \sum_{p=-M}^M f_p \left(\frac{G_{pn}}{\gamma_n p_n - 1} \right) + e^{k_0 t \cos \phi} \delta_n \left(\frac{p_n k_0 \cos \phi + 1}{\gamma_n p_n - 1} \right) \quad (13)$$

$$p_n = \frac{\epsilon_r (e^{-j\eta_n t} + (\eta_n + \epsilon_r \gamma_r) / (\eta_n - \epsilon_r \gamma_r)) e^{j\eta_n t}}{\eta_n (e^{-j\eta_n t} - (\eta_n + \epsilon_r \gamma_r) / (\eta_n - \epsilon_r \gamma_r)) e^{j\eta_n t}} \quad (14)$$

그리고 $z=t$ 인 경계면에서 도체피 위에서 전체전계는 사라져야 하므로 식 (2)와 식 (4)를 이용하여 정리하고, 양변에 $e^{-j\eta_n x/h}$ 를 곱한 후 양변에 도체피 구간에 대해 적분을 취한다음 식 (13)을 대입하면 다음과 같은 선형방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{p=-M}^M f_p Z_{pq} = V_q \quad (15)$$

$$Z_{pq} = \frac{1}{s} \sum_{n=-N}^N \left(\frac{G_{pn}}{\gamma_n p_n - 1} \right) G_{qn}^* \quad (16)$$

$$V_q = e^{jk_0 t \cos \phi} \left[k_0 \cos \phi G_q - \sum_{n=-N}^N \left(\frac{k_0 \cos \phi p_n + 1}{\gamma_n p_n - 1} \right) \delta_n \right] G_{qn}^* \quad (17)$$

식 (13), (16) 및 식 (17)의 적분방정식들인 G_{pn} , G_{qn}^* , G_q^* 는 다음과 같다.

$$G_{pn} = \int_{-h}^h e^{j2\pi(p/w+n/s)y} dy \quad (18)$$

$$G_{qn}^* = \int_{-h}^h e^{-j2\pi(p/w+n/s)y} dy \quad (19)$$

$$G_q = \int_{-h}^h e^{-j2q\pi y/w} dy \quad (20)$$

식 (15)의 정방행렬을 역변환하여 f_p 를 구한 후, 식 (13)에 대입하여 반사계수를 계산할 수 있다.

2.2 PMM을 이용한 수치해석

FGMM을 이용한 수치해석의 타당성을 검증하기 위하여 수치해석 방법인 PMM을 이용한 수치해석 결과를 비교하고자 한다[5]. PMM으로 수치해석을 위하여 편의상 도체 스트립 구간을 0부터 w , 슬롯 구간 w 부터 s 까지로 그림 1의 구조를 변형하여 수치해석 한다. $z = t$ 인 경계면의 완전도체피에서 전체 전계는 사라져야 하므로 식 (2)와 식 (4)를 이용하여 정리하면 A_n 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{n=-N}^N A_n \gamma_n e^{-j\beta_0 x} = \gamma_0 e^{-j\beta_0 x} e^{j\gamma_0 t}, \quad 0 \leq x \leq w \quad (21)$$

식 (21)에서 $\beta_0 = k_0 \sin \phi$, $\gamma_0 = k_0 \cos \phi$ 이며, $z = t$ 인 경계면의 슬롯에서 영역 0의 1의 자계는 연속이므로 식 (1), (3) 및 식 (6)을 이용하여 정리하면 A_n 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=-N}^N A_n (\gamma_n p_n - 1) e^{-j\beta_0 x} \\ = e^{-j\beta_0 x} e^{j\gamma_0 t} (\gamma_0 + p_n \delta_n) \end{aligned}, \quad w \leq x \leq s \quad (22)$$

따라서 식 (21)과 식 (22)은 한 주기 구간인 $0 \leq x \leq s$ 의 범위에서 만족하는 수식이다. 미지의 계수 A_n 을 구하기 위해서 $(2N + 1)$ 개의 등 간격으로 나누어 수치계산하게 되며, 식 (21)과 식 (22)에 대해서 Dirac delta 함수와의 내적(inner product)을 수행하고, 정방행렬을 역변환하여 반사계수를 계산할 수 있다. 또한 각 경계면에서 전자계의 연속정리를 이용하면 투과계수 T_n 을 계산할 수 있다.

$$T_n = \frac{2\eta_n \epsilon_r}{(\eta_n^2 - \epsilon_r \gamma_n \eta_n)} \frac{(A_n \gamma_n - \gamma_0 \delta_n e^{j\gamma_0 t})}{(e^{-j\gamma_0 t} - (\eta_n + \epsilon_r \gamma_r) / (\eta_n - \epsilon_r \gamma_r) e^{j\gamma_0 t})} \quad (23)$$

3. 수치계산 결과 및 검토

FGMM을 이용하여 수치계산할 경우에는 식 (15)를 이용하여 f_p 를 구한 후, 식 (13)에 대입하여 기하광학적 투과

반사전력 $|A_0|^2$ 및 식 (23)에 대입하여 기하광학적 투과 전력 $|T_0|^2$ 을 계산할 수 있다. 또한 PMM을 이용하여 수치계산할 경우에는 식 (21)과 식 (22)을 이용하여 반사전력 및 투과전력을 계산할 수 있다.

식 (13)에서 행렬의 크기 $p=[-M:M]$ 및 $n=[-N:N]$ 일 때, $M=10$, $N=100$ 및 식 (21)과 식 (22)에서 행렬의 크기 $n=[-N:N]$ 일 때, $N=100$ 으로 한정하여 수치계산하였다. 그리고 비유전율, 스트립 폭 및 주기, 유전체의 두께의 단위는 편의상 생략하였다.

Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 수직입사시, 격자상수 $t=1$, $w/s=0.25$ 일 때 각각의 비유전율 ϵ_r 에 따른 격자주기 s 에 대한 반사전력 및 투과전력을 계산하였으며, 비유전율이 증가하면 반사전력도 증가하였다. 격자주기 $s=1$ 및 2 부근에서 반사 및 투과전력의 변곡점이 발생하였다. 이는 전파모드에서 감쇠모드로, 감쇠모드에서 전파모드로 전환될 때 발생하는 것으로 'Wood's anomaly'라고 언급한 바 있다[5]. 또한 범례의 표시된 선들인 실선, 점선, 끊어진 실선, 2점 쇄선은 기존의 FGMM을 이용한 수치계산 결과이며, 기호인 "●, ○, ▼, △"는 동일한 격자상수를 사용했을 때 PMM을 이용한 수치계산 결과로서 2가지 수치계산 결과가 거의 일치하여 수치계산의 타당성을 검증하였다.

Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)는 입사각이 30도인 경우, 격자상수 $s=0.5$, $t=0.1$ 일 때 유전체층의 비유전율 ϵ_r 값에 따른 반사 및 투과전력을 계산한 결과로, 전반적으로 비유전율이 클수록 반사전력이 증가하였으며, 또한 w/s 의 비가 1인 경우는 슬롯이 없는 영역이므로 반사전력이 1이 되고 투과전력은 0이 되므로 수치해석의 타당성이 있다고 할 수 있으며, 2가지 수치해석 방법인 FGMM과 PMM을 이용한 계산 결과가 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 검증하였으며, 범례는 Fig. 2에서 언급하였다.

Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 입사각에 따른 반사 및 투과전력을 계산한 것으로 적용한 격자상수들은 $s=1.2$, $w=0.6$, $t=0.1$ 일 때, 비유전율 ϵ_r 에 따른 수치계산 결과로 10도 및 40도 부근에서 변곡점이 발생하였으며, 전반적으로 유전체층의 비유전율이 증가할수록 반사전력이 증가하였으며, Fig. 3과 Fig. 4에서 2가지 수치해석 방법인 FGMM과 PMM을 이용한 계산 결과는 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 검증하였으며, 범례는 Fig. 2에서 언급하였다.

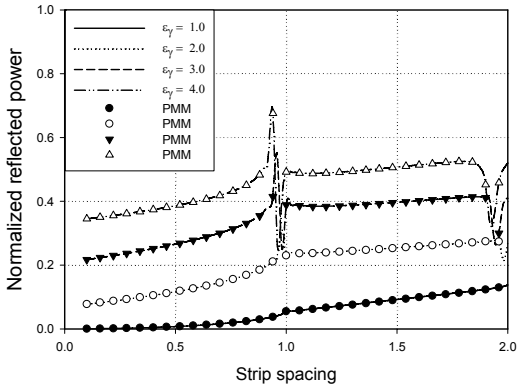


Fig. 2(a). Variation of reflected power vs. strip spacing for relative permittivity parameters at normal incidence.

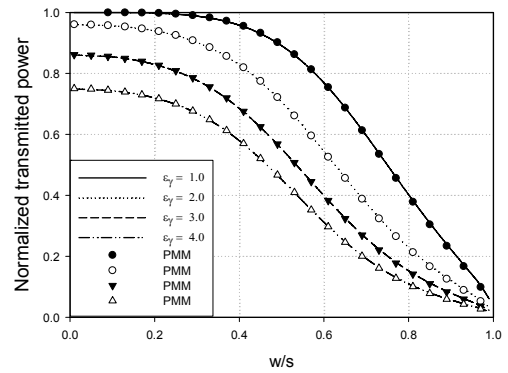


Fig. 3(b). Variation of transmitted power vs. w/s ratio for relative permittivity at incident angle $\phi = 30^\circ$.

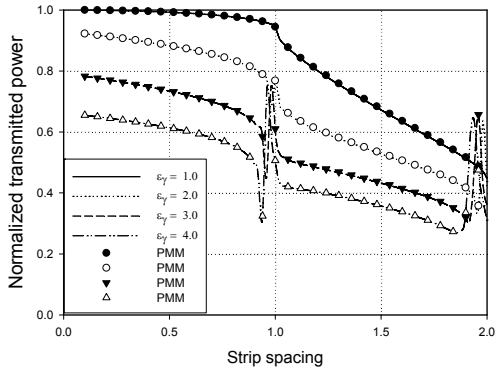


Fig. 2(b). Variation of transmitted power (b) vs. strip spacing for relative permittivity parameters at normal incidence.

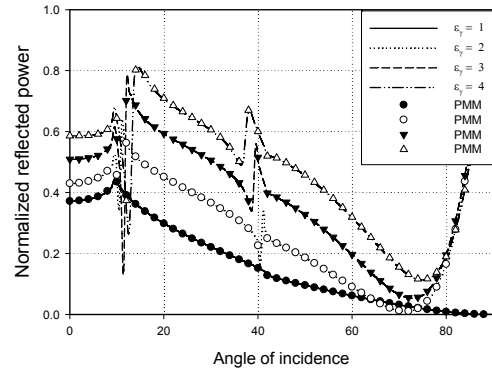


Fig. 4(a). Variation of reflected power vs. incident angles for thicknesses of dielectric layer.

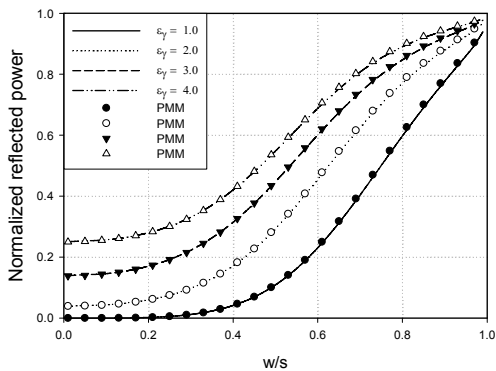


Fig. 3(a). Variation of reflected power vs. w/s ratio for relative permittivity at incident angle $\phi = 30^\circ$.

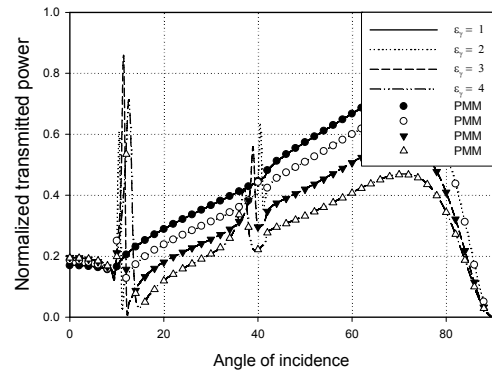


Fig. 4(b). Variation of transmitted power vs. incident angles for thicknesses of dielectric layer.

4. 결론

본 논문에서는 TE 산란 문제의 경우, 유전체층 위에 완전도체띠가 주기적으로 배열되어 있는 구조에 대하여 수치해석 방법인 FGMM을 이용하여 수치해석하여 기하광학적 반사 및 투과전력을 계산하였고, 수치해석의 타당성을 검증하기 위하여 다른 수치해석 방법인 PMM을 이용하여 수치계산한 결과와 비교하여 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 입증하였다. 전반적으로 비유전율이 증가할수록 반사전력이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

앞으로 본 논문을 기반으로 하여 유전체층 위에서의 저항띠 격자구조와 다층 및 2중 유전체층 사이의 도체띠 및 저항띠의 격자구조에 의한 TE 산란 문제에 대해 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] R. C. Hall, R. Mittra, and K. M. Mitzner, "Analysis of multilayered periodic structure using generalized scattering matrix theory," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-36, pp. 511-517, Sept. 1988. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/8.1140>

[5] 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>

[6] Y. K. Cho, et al, "Analysis of electromagnetic scattering by periodic strips on grounded dielectric slab," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Symposium Digest*, Vol 1, pp. 511-517, 1995.

[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] S. H. Lee and Y. K. Cho, "Solution for TE scattering by a periodic strip grating with a dielectric slab," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 27, No. 11, pp. 20-24, Nov. 1990.

윤 의 중(Uei-Joong Yoon)

[정회원]



- 1993년 8월 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1997년 6월 ~ 1997년 8월 : Bemidji State University in Minnesota(USA) 미국방문연수
- 2008년 7월 ~ 2012년 1월 : 가천대학교 학생처장
- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 의용생체공학과 교수

<관심분야>

전자파산란 수치해석, 마이크로파 회로, 생체모니터링 시스템 등