

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.1.77>
JIIBC 2020-1-10

FGMM을 이용한 2중 유전체층 사이의 완전도체띠 격자구조에 의한 E-분극 전자파 산란 해석

Analysis of E-polarized Electromagnetic Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer Using FGMM

윤의중*

Uei-Joong Yoon*

요약 본 논문에서는 2중 유전체층 사이의 완전도체띠 격자구조에 의한 E-분극 전자파 산란 문제는 전자파 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 2중 유전체층의 비유전율이 증가할수록 반사전력은 증가하였으며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다. 2중 유전체층의 비유전율이 증가할수록 도체띠에 유도되는 전류밀도는 스트립 중앙에서 증가하였다. 본 논문의 제안된 구조에 대한 수치결과들은 기존 논문의 수치해석 결과들과 비교하여 매우 잘 일치하였다.

Abstract In this paper, E-polarized electromagnetic 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 of the double dielectric layer increases, the reflected power increases and the transmitted power decreases, respectively. As the dielectric constant of the double dielectric layer increases, the current density induced in the strip center increases. The numerical results for the presented structure of this paper are shown in good agreement compared to those of the existing papers.

Key Words : H-polarized electromagnetic scattering, E-polarized electromagnetic scattering, Conductive boundary condition, double dielectric layer, PMM, FGMM.

*충신회원, 가천대학교 의용생체공학과
접수일자: 2019년 12월 27일, 수정완료: 2020년 1월 27일
게재확정일자: 2020년 2월 7일

Received: 27 December, 2019 / Revised: 27 January, 2020 /
Accepted: 7 February, 2020
*Corresponding Author: ujyoon@gachon.ac.kr
Dept. of Biomedical Engineering, Gachon University, Korea

I. 서 론

스트립 회절격자(strip grating)에 의한 산란 성질은 전자기학이나 광학 분야에서 매우 중요시 되어 왔으며, 광학에서 이러한 구조들은 전송 회절격자로서 많은 연구가 진행되고 있으며, 또한 reflector antenna systems^[1], wave polarizers^[2], artificial dielectrics 및 polarization twister^[3] 등의 구성에 대한 연구가 진행되어 왔다.

격자구조에 대한 기본적인 수치해석 방법으로는 도체 띠(Conductive strip)에 대해 Richmond^[4]는 스트립에 유도되는 미지의 유도전류를 FGMM(Fourie Galerkin Moment Method)을 이용하여 수치해석하였고, Mittra^[5]는 자유공간 상에서 파수영역(space domain)에서 SGMM(Spectral Galerkin Moment Method)을 이용하여 수치해석하였으며, Kalhor^[6]은 유전체층 위의 도체 띠에 대해 PMM(Point Matching Method)을 이용하여 산란 문제를 수치해석하였다.

접지 유전체층 위의 저항띠 및 유전체 평면위에 도체 띠 격자구조에 대한 문제를 FGMM을 이용하여 수치해석하였으며^{[7][8]}. 또한 접지평면 위에 저항띠 격자구조에 대해 저항띠에 유도되는 전류를 계산함에 있어 모서리 경계조건을 적용하여 정방행렬을 역변환할 때 행렬의 크기를 작게하여 산란문제를 수치해석하였다^[9].

최근에 2중 유전체층 사이의 완전도체 띠 격자구조에 대해 E-분극 전자파 산란(E-polarized electromagnetic scattering) 문제에 대해 PMM을 이용하여 수치해석하였다^[10]. 또한 2중 유전체층 사이의 완전도체 띠 격자구조에 대해 H-분극 전자파 산란 문제에 대해 PMM 및 FGMM을 이용하여 수치해석하였다^{[11][12]}.

본 논문에서는 E-분극 전자파 산란 문제의 경우, 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 완전도체 띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 FGMM을 이용하여 정규화된 반사 및 투과전력을 계산하고, 기존의 참고문헌 [10]에서 취급한 PMM을 이용한 수치계산 결과와 비교하여 본 논문에서 제안한 수치해석 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

II. 구조에 대한 수치해석

본 논문에서 취급한 산란 구조는 그림 1과 같다. E-분극 평면파가 가장자리에 나란하게 ϕ 의 각도로 비스듬히

입사하고, 회절격자는 $x-y$ 평면 상에 위치하고 2중 유전체층 사이에 도체 띠가 y 방향으로 무한하게 놓여 있으며, x 방향으로 주기적으로 배열되어 있고, 스트립 주기 s , 스트립 폭 w , 영역 1과 2의 비유전율 및 두께는 ϵ_{r1} , ϵ_{r2} [F/m] 및 t_1 , t_2 이며, 단위는 파장[λ]이다.

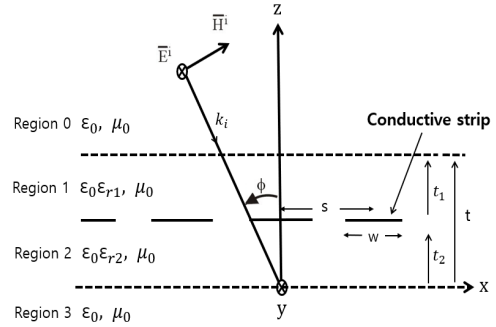


그림 1. 2중 유전체층을 갖는 E-분극 평면파의 구조
Fig. 1. Geometry of E-polarized plane wave with a double dielectric layer

그림 1과 같은 구조에 대하여 입사하는 전계 \overline{E}^i 는 다음과 같이 쓸 수 있다^[4].

$$\overline{E}^i = \hat{a}_y E_0 e^{-jk_0 x \sin \phi} e^{jk_0 z \cos \phi} \quad (1)$$

식 (1)에서 벡터 \hat{a}_y 는 y 방향의 단위벡터를 의미하며, k_0 는 매질의 전파상수, E_0 는 입사 전계의 진폭이다. 또한 영역 0에서 산란 전계 \overline{E}^s 는 평면파의 합으로 다음과 같이 표시할 수 있다^[4].

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

식 (2)에서 A_n 는 미지의 계수이며, γ_n 는 2가지 모드 인 전파모드와 감쇠모드로 표시할 수 있다^[4].

$$\gamma_n = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2}, & k_0^2 > \beta_n^2 \\ -j\sqrt{\beta_n^2 - k_0^2}, & k_0^2 < \beta_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\beta_n = \beta_0 + 2\pi n/s$ 이며, 영역 1과 영역 2에서 전계 \overline{E}_i 는 무한급수의 합으로 표현할 수 있다^[10].

$$\overline{E}_i = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n \cdot \quad (4)$$

$$(B_{ni} e^{-j\eta_n t} + C_{ni} e^{j\eta_n t}) e^{-j2n\pi x/s}$$

식 (4)에서 B_{ni} 와 C_{ni} 는 구해야 할 미지의 계수, i 는 유전체 영역 1과 2를 의미하며, η_{ni} 는 유전체 층에서의 전파상수로서 2가지 모드로 표시할 수 있다.

$$\eta_{ni} = \begin{cases} \sqrt{k_i^2 - \beta_n^2}, k_i^2 \geq \beta_n^2 \\ -j \sqrt{\beta_n^2 - k_i^2}, k_i^2 < \beta_n^2 \end{cases} \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

식 (5)에서 $k_i = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{ri}} = k_0 \sqrt{\epsilon_{ri}}$, ϵ_{ri} 는 유전체 영역 1과 2에서의 비유전율이며, 자유 공간상의 영역 3 ($z < 0$)에서 투과하는 전계 \overline{E}_3 는 무한급수의 합으로 표현하였다.

$$\overline{E}_3 = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n T_n e^{j\eta_n z} e^{-j2n\pi x/s} \quad (6)$$

식 (6)에서 T_n 은 투과계수이며, 지금까지 사용된 미지의 계수를 구하기 위해 경계조건을 적용한다. 또한 전자파에 대한 산란해석을 위해서는 전계와 자계가 공존하므로 자계에 대한 식을 유도해야 되는데 식 (1), (2), (4), (6)에 대한 전계에 관한 식들은 Maxwell 방정식인 $\nabla \times \overline{H}$ 에 의해서 계산하여야 한다. 그 이유는 각 유전체 층에 대해 경계조건을 적용하기 위해서는 전계와 자계에 대한 관련 식들이 모두 필요하기 때문이다.

수치해석 구조인 그림 1에 대한 경계조건을 각 층에 대해 적용되어야 하는데, 우선 $z=0$, $z=t_1$, $z=t_2$ 에서 전계와 자계는 연속이어야 하며, 영역 0과 영역 1의 경계면 $z=t$ 에서 전계 및 자계도 연속이어야 한다. 또한 $z=t_2$ 인 경계면에서 수치해석 방법인 FGMM을 적용하기 위해서는 기저함수(Basis functions)를 도입해야 한다. 이 때, 도체피에 유도되는 전류를 미지의 계수와 지수함수의 곱의 급수로 다음과 같이 놓았다^[4].

$$\overline{J} = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_{p=-N}^N f_p e^{j2p\pi x/h}, \quad -h \leq x \leq h \quad (7)$$

식 (7)에서 f_p 는 구해야 할 미지의 계수이다. 또한 도체피에 유도되는 전류는 경계면 $z=t_2$ 에서 자계의 차이

는 Maxwell 방정식인 $\nabla \times \overline{H}$ 에 의해서 계산할 수 있으며^[2], 본 논문에서 주어진 자계에 관한 식들을 정리한 후, 양변에 $e^{j2n\pi x/s}$ 를 곱하고, 한 주기 s 구간에서 양변을 적분하면 다음과 같이 반사계수(Reflection coefficient) A_n 을 구할 수 있다.

$$A_n = \frac{1}{s} \sum_{p=-M}^M f_p \left(\frac{G_{pn}}{P_{n4}} \right) + e^{k_0 t \cos \phi} \left\{ \left(\frac{P_{n5}}{P_{n4}} \right) \delta_n \right\} \quad (8)$$

식 (8)에서 사용된 계수들을 정리하면 다음과 같다.

$$P_{n1} = \frac{(\eta_{n2} - \gamma_n) e^{-j\eta_n t_2} - (\eta_{n2} - \gamma_n) e^{j\eta_n t_2}}{(\eta_{n2} + \gamma_n) e^{-j\eta_n t_2} + (\eta_{n2} + \gamma_n) e^{j\eta_n t_2}} \quad (9)$$

$$P_{n2} = \eta_{n2} P_{n1} - \eta_{n1} \quad (10)$$

$$P_{n3} = \eta_{n2} P_{n1} + \eta_{n1} \quad (11)$$

$$P_{n4} = \frac{1}{2} \left(\frac{\eta_{n1} - \gamma_n}{\eta_{n1}} \right) (P_{n2} - P_{n3} e^{-j2\eta_n t_1}) + P_{n3} e^{-j\eta_n t_1} \quad (12)$$

$$P_{n5} = \frac{1}{2} \left(\frac{\eta_{n1} - k_0 \cos \phi}{\eta_{n1}} \right) (P_{n2} - P_{n3} e^{-j2\eta_n t_1}) + P_{n3} e^{-j\eta_n t_1} \quad (13)$$

경계면 $z=t_2$ 인 경계면의 완전도체피에서 전계 전계는 사라져야만 하므로, 영역 1에서의 전계 관련 식을 정리한 후 양변에 가중함수(Weighting function)인 $e^{-j2p\pi x/h}$ 를 곱한 후, 양변에 대하여 도체피 구간에 대해서 적분을 취하면 다음과 같은 선형방정식(linear equation)을 얻을 수 있다.

$$\sum_{p=-M}^M f_p Z_{pq} = V_q \quad (14)$$

$$Z_{pq} = \frac{k_0 \eta_0}{s} \sum_{n=-N}^N \left(G_{pn} \frac{P_{n6}}{P_{n4}} \right) G_{qn}^* \quad (15)$$

$$V_q = e^{jk_0 t \cos \phi} \left[\sum_{n=-N}^N \left[\left(P_{n7} - \frac{P_{n5} P_{n6}}{P_{n4}} \right) \delta_n \right] G_{qn}^* \right] \quad (16)$$

식 (15), (16)에서 사용된 계수 들은 경계조건을 적용하여 얻어진 식으로 유도과정은 생략한다.

$$P_6 = \frac{1}{2} \left(\frac{\eta_{n1} - \gamma_n}{\eta_{n1}} \right) (1 - e^{-j2\eta_n t_1}) + e^{-j\eta_n t_1} \quad (17)$$

$$P_{n7} = \frac{1}{2} \left(\frac{\eta_{n1} - k_0 \cos \phi}{\eta_{n1}} \right) (1 - e^{-j2\eta_n t_1}) + e^{-j\eta_n t_1} \quad (18)$$

식 (15), (16)에서 사용된 “*”는 공액복소(Complex conjugate)를 의미하며, 식 (8), (15), (16)에서 사용된 적분방정식은 다음과 같다.

$$G_{pm} = \int_{-h}^h e^{j2\pi(p/w + n/s)x} dx \quad (19)$$

$$G_{qn}^* = \int_{-h}^h e^{-j2\pi(q/w + n/s)x} dx \quad (20)$$

각 영역에서 전자계의 경계 조건을 적용하면 투과계수 (Transmission coefficient) T_n 을 얻을 수 있으며, 유도과정은 지면 관계상 생략하기로 한다.

$$T_n = \frac{2\eta_{n2}(A_n p_{n6} + e^{jk_{z1} \cos \phi} \delta_n) p_{n7}}{(\eta_{n2} - \gamma_n)(e^{-j2\eta_{n2} t_2} + \frac{\eta_{n2} + \gamma_n}{\eta_{n2} - \gamma_n} e^{j\eta_{n2} t_2})} \quad (21)$$

III. 수치해석 결과 및 검토

식 (14)를 이용하여 정방형 메트릭스를 역변환하여 미지의 계수 f_p 를 구한 후, 식 (8)과 (21)을 이용하여 반사 전력 $|A_0|^2$ 및 투과전력 $|T_0|^2$ 를 계산할 수 있으며, 식 (7)을 이용하여 도체피에 유도되는 전류밀도를 계산할 수 있다. 또한 본 논문에서 사용된 행렬의 크기 $p = q = [-M : M]$, $n = [-N : N]$ 을 가지며, $M = 10$, $N = 100$ 으로 행렬의 크기를 한정하여 수치계산하였으며, 비유전율 및 도체피의 폭, 주기 및 유전체층의 두께의 단위는 파장[λ]으로 편의상 단위는 생략하기로 한다.

그림 2는 수직입사시, 격자상수가 $s = 1.6$, $w = 0.8$, $t_1 = 0.05$, $t_2 = 0.05$ 일 때 2중 유전체 층의 비유전율에 따른 도체피에 유도되는 전류밀도를 수치계산하였다. 이때 도체피에 유도되는 전류밀도는 좌우대칭이므로 수치계산의 타당성을 검증하였으며, 도체피를 따라 유도되는 전류밀도는 y -방향으로 진행하게 되며, 이때 모서리 양 끝(strip edges)에서는 급격히 상승한다. 이는 모서리 양 끝에서는 표면적이 0에 가까이 접근하기 때문이다. 또한 2중 유전체 층의 비 유전율의 값이 클수록 비 유전율이 작은 경우보다 도체피 위에서 전류밀도가 증가하였으며, 전류밀도가 증가하였다는 의미는 도체피에서 반사전력이 크다는 것을 의미한다.

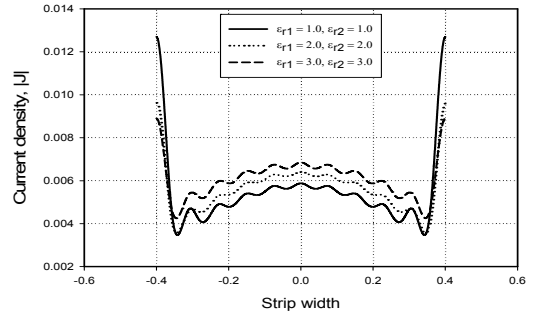


그림 2. 수직입사시 전류밀도의 크기
Fig. 2. Magnitude of current density for normal incidence.

그림 3과 4는 수직입사시, 격자상수 $w = 0.8$, $t_1 = 0.05$, $t_2 = 0.05$, $w/s = 0.2$ 일 때 비유전율에 대한 반사 및 투과전력을 계산하였다. 수치계산 결과, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ 인 경우를 제외하면, 2중 유전체 층의 비유전율의 값 ($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2}$)이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다. 또한 범례에서 표시한 “●”와 “▲”는 동일한 격자상수를 사용했을 때 참고문헌 [10]의 PMM을 이용한 수치계산 결과와 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 검증하였다^[10].

그림 5와 6은 입사각이 30도의 경우, 그림 3과 4는 수직입사시, 격자상수 $w = 0.8$, $t_1 = 0.05$, $t_2 = 0.05$, $w/s = 0.2$ 일 때 격자 주기 s 의 크기에 대해 반사 및 투과전력을 계산하였다. 그림 5의 반사전력은 그림 3과 마찬가지로 $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ 인 경우를 제외하면, 2중 유전체 층의 비유전율의 값($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2}$)이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다. 또한 반사각이 작은 경우는 입사각 이외의 다른 방향으로 산란되는데 이를 ‘Wood anomaly’라고 언급한 바 있다^[6].

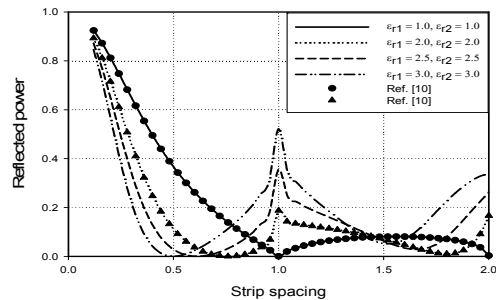


그림 3. 수직입사시 주기와 비유전율에 대한 반사전력
Fig. 3. Reflected power for strip spacing and relative permittivity at normal incidence

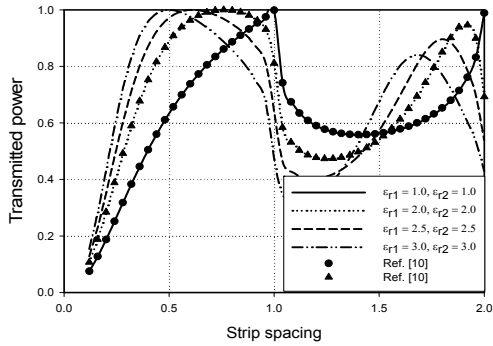


그림 4. 수직입사시 스트립 주기와 비유전율에 따른 대한 투과전력

Fig. 4. Transmitted power for strip spacing and relative permittivity at normal incidence

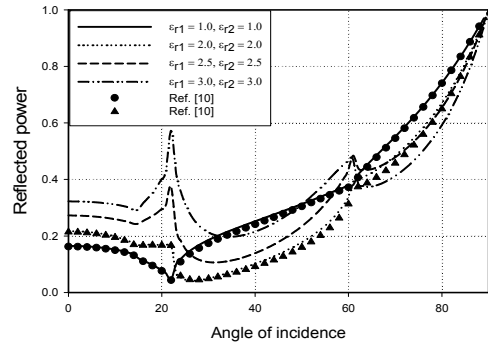


그림 7. 입사각과 비유전율에 따른 대한 반사전력

Fig. 7. Reflected power for incident angles and relative permittivity

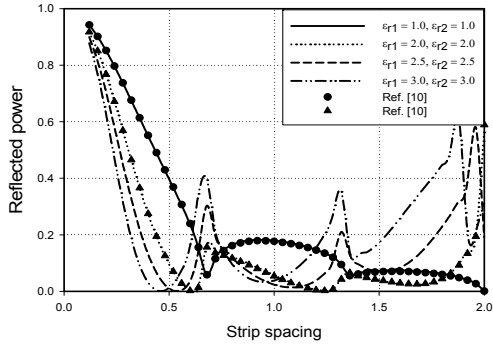


그림 5. 입사각 30도 및 비유전율에 따른 대한 반사전력
 Fig. 5. Reflected power for relative permittivity and incident angle $\psi = 30^\circ$,

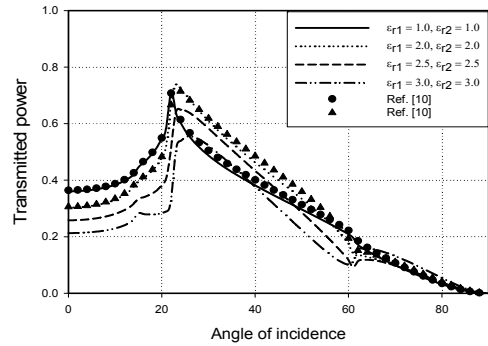


그림 8. 입사각과 비유전율에 따른 대한 투과전력

Fig. 8. Transmitted power for incident angles and relative permittivity

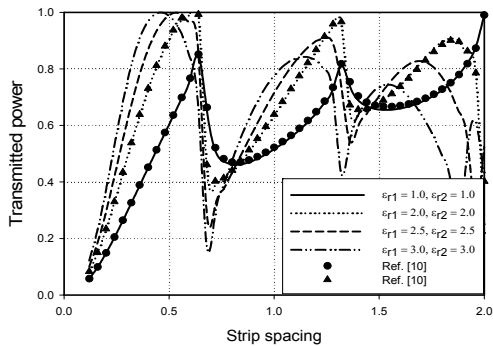


그림 6. 입사각 30도 및 비유전율에 따른 대한 투과전력
 Fig. 6. Transmitted power for relative permittivity and incident angle $\psi = 30^\circ$,

그림 7과 8은 격자상수 $t_1 = 0.05$, $t_2 = 0.05$, $s = 1.6$, $w = 0.6$ 일 때, 2중 유전체 층의 비유전율의 값($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2}$)을 변화시켰을 때 입사각에 대한 반사 및 투과전력을 계산하였다. 전반적으로 2중 유전체 층의 비유전율의 값이 증가하면 반사전력은 증가하였으며, 상대적으로 투과전력은 감소하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 E-분극 전자파 산란의 경우, 2중 유전체 층 사이에 매우 얇은 완전도체띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 FGMM을 이용하여 수치계산하고 기존의 PMM을 이용한 수치계산 결과와 비교하여 수치계산의

결과가 거의 일치하여 본 논문의 타당성을 입증하였다.

전반적으로 접지된 2중 유전체층 사이의 비유전율이 증가하면 반사전력은 증가하였고 상대적으로 투과전력은 감소한다. 또한 2중 유전체층 사이의 비유전율이 증가하면 도체피에 유도되는 전류밀도는 도체피 중앙에서 증가하였으며, 이는 반사전력이 증가한다는 것을 의미한다.

앞으로 본 논문을 기초로 하여 모서리 경계조건(edge boundary condition)을 적용하여 2중 유전체층 사이에 의한 전자파 산란 해석에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] C. Dragone, "New Grids for Improved Polarization Diplexing of Microwave in Reflector Antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-26, pp. 459-463, May 1978.
- [2] S. Silver, Microwave Antenna Theory and Design, M.I.T. Radiation Lab. Series vol. 12. McGraw-Hill, pp. 449-450.
- [3] J. D. Hanfling, G. Jerinne, and L. R. Lewis, "Twist Reflector Design Using E-type and H-Type mode," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-29, pp. 622-628, July 1981.
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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>
- [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, "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/10.5672/KAIS.2015.16.6.4158>
- [9] U. J. Yoon, "Solution of TE scattering by a Conductive strip grating over the grounded two dielectric layers with edge boundary condition," Journal of Advanced Navigation Technonogy, Vol. 17, No. 2, pp. 183-188, Apr. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.4.371>
- [10] U. J. Yoon, "A Study on TM Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 18, No. 2, pp. 73-79, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIINBC.2018.18.2.73>
- [11] 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/JIINBC.2017.17.2.83>
- [12] U. J. Yoon, "Analysis of TE Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 19, No. 2, pp. 47-52, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIINBC.2019.19.2.47>

저 자 소 개

윤 의 중(중신회원)



- 1993년 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1997년 6월 ~ 1997년 8월 : Bemidji State University in Minnesota (USA), 미국방문 연수
- 2008년 7월 ~ 2012년 2월 : 가천의과학대학교 학생처장
- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 의용생체공학과 교수
- 주관심분야 : 전자파 수치해석, Biosensor 설계, Embedded System 등