

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.1.29>
JIIBC 2022-1-5

접지된 2중 유전체층 사이의 저항띠 격자구조에 의한 H-polarized 전자파 산란에 관한 연구

A Study on H-polarized Electromagnetic Scattering by a Resistive Strip Grating Between a Grounded Double Dielectric Layer

윤의중*

Uei-Joong Yoon*

요약 본 논문에서는 접지된 2중 유전체층 사이의 저항띠 격자구조에 의한 H-polarized 산란 문제는 전자파 수치해석 방법으로 알려진 PMM(point matching method)을 이용하여 해석하였다. 경계조건들은 미지의 계수를 구하기 위하여 이용하였고, 산란 전자계는 Floquet 모드 함수의 급수로 전개하였고, 저항띠의 해석을 위해 저항경계조건을 적용하였다. 유전층의 비유전율과 정방행렬의 행수의 크기에 따른 반사전력의 수렴도의 %error를 비교하였으며, 정방행렬의 행수의 크기가 클수록 반사전력의 정확도는 증가하였다. 저항띠의 저항율이 작아지거나, 유전층의 두께가 작아지거나, 그리고 유전체 층의 비유전율이 증가하면, 반사전력은 증가하였다. 접지된 2중 유전체층을 가지는 본 논문의 제안된 구조에 대한 수치결과들은 기존 논문의 수치해석 결과들과 비교하여 잘 일치하였다.

Abstract In this paper, the H-polarized scattering problems by a resistive strip grating in a grounded double dielectric layer are analyzed by applying the PMM(point matching method) known as a numerical method of electromagnetic field. The boundary conditions are applied to obtain the unknown field coefficients, the scattered electromagnetic fields are expanded in a series of Floquet mode functions, and the resistive boundary condition is applied to analysis of the resistive strip. The %error of the convergence of the reflected power according to the relative permittivity of the dielectric layer and the size of the number of rows in the square matrix was compared, as the size of the number of rows in the square matrix increased, the accuracy of the reflected power increased. As the resistivity of the resistive strip decreased, the thickness of the dielectric layers decreased, and the relative permittivity of the dielectric layers increased, the reflected power increased. The numerical results for the presented structure of this paper having a grounded double dielectric layer are shown in good agreement compared to those of the existing papers.

Key Words : TE scattering, Resistive boundary condition, grounded double dielectric layer.

*충신회원, 가천대학교 의용생체공학과
접수일자 : 2021년 12월 9일,
접수일자 2021년 12월 9일, 수정완료 2022년 1월 8일
게재확정일자 2022년 2월 4일

Received: 9 December, 2021 / Revised: 8 January, 2022 /
Accepted: 4 February, 2022

*Corresponding Author: ujyoon@gachon.ac.kr
Dept. of Biomedical Engineering, Gachon University, Korea

I. 서 론

스트립 회절격자(strip grating)에 의한 산란문제는 광학, 필터, 레이더, 안테나 및 전자기학의 이론 및 응용 분야에서 중요시 되었고, 광학에서는 이러한 구조들은 전송 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^{[1]-[10]}. 격자구조에 도체띠(conductive strip)를 사용한 기본 문제로서 Richmond^[11]는 자유공간 상에서 스트립에 유도되는 미지의 유도되는 전류밀도를 FGMM(fourier galerkin moment method)을 이용하여 수치해석하였고, Mittra^[2]는 자유공간상에서 저항띠를 가진 경우는 파수영역에서 SGMM(spectral galerkin moment method)을 적용하여 수치해석하였으며, Kalhor^[3]는 도체띠 격자구조에 의한 산란 문제에 대해 반사를 유리하게 하기 위하여 유전체 접지층 위에 도체띠를 가지는 경우에 대해 PMM(point matching method)을 이용하여 수치 계산하였다. 그리고 주기적인 유전체층 문제에 대해 전자기파의 산란 문제에 대해 근사화 이론을 이용하여 해석하였고^[4], 주기적인 유전체 층을 사용한 안테나용 주파수 선택 반사기를 설계한 바 있다^[5].

수치해석을 취급하는 수치해석 모델에 따라서 즉, 접지층이 있는 경우와 없는 경우 등의 수치해석 모델이 다르게 되면 전자계의 경계조건이 달라지게되므로 얻어진 계수들도 다르며, 그에 따른 수치결과도 다르게 된다.

2중 유전체층 사이에 도체띠에 대한 TM 산란에 대하여 PMM을 이용하여 수치해석하였고^[6], 2중 유전체층 사이에 완전도체띠에 대한 TE 산란에 대하여 PMM 및 FGMM을 이용하여 수치해석하였다^{[7][8]}. 그리고 접지된 2중 유전체층(grounded double dielectric layer) 사이에 도체띠에 대한 TE 산란 문제에 대하여 PMM 및 FGMM을 이용하여 수치해석하였으며^{[9][10]}, 2중 유전체층 사이의 저항띠 격자구조에 대하여 PMM을 이용하여 수치해석한 바 있다^[11].

본 논문에서는 TE 산란 문제의 경우, 접지된 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 저항띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 PMM을 이용하여 정규화된 반사전력을 구하고, 기존 논문의 수치계산 결과와 비교하여 본 논문의 타당성을 입증하는 것이 본 논문의 목적이며, 2중 유전체층의 문제이므로 각 층에서의 비유전율과 두께는 동일한 경우에 대해서만 취급하여 수치계산하였다.

II. 문제 구조의 전자계 수식전개

1. 본 논문에서 취급한 수치해석 구조

문제의 구조는 그림 1과 같이 TE 평면파가 가장자리에 나란하게 ϕ 의 각도로 비스듬히 입사하고, 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠가 y 방향으로 무한하게 배열되어 있다. 완전도체띠의 격자는 $x-y$ 평면상에 위치하고 있으며, x 방향으로 주기적으로 배열되어 있다. 그림 1에서 스트립 주기(strip spacing) s , x 방향으로 주기적으로 배열되어 있고, 스트립 주기 s , 스트립 폭 w , 영역 1과 2의 비유전율은 ϵ_{r1} , ϵ_{r2} [F/m], 영역 1과 2의 유전층의 두께는 t_1 , t_2 [λ]이다.

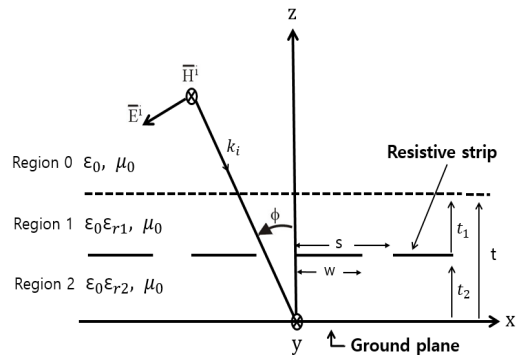


그림 1. 접지된 2중 유전체층을 갖는 저항띠 격자구조에 대해 비스듬히 입사하는 H-분극 평면파의 구조

Fig. 1. Geometry of oblique incident H-polarized plane wave for resistive strip grating with a grounded double dielectric layer

2. 기본적인 전자파 수식 소개^[10]

그림 1과 같은 구조에 대하여 입사파, 산란파에 관한 식들은 수치해석을 적용하기 위해서는 기본적으로 필요한 식으로 접지층과 각 유전체층에서의 전자계의 경계조건들을 적용하기 위해서 필요한 수식 들로써 간단히 소개하기로 한다. 영역 0에 입사하는 자계 \overline{H}^i 및 산란 자계 \overline{H}^s 는 다음과 같이 쓸 수 있다^[10].

$$\overline{H}^i = \hat{a}_y H_0 e^{-j\beta_0 x} e^{j\gamma_0 z} \quad (1)$$

$$\overline{H}^s = \hat{a}_y \sum_{n=-N}^N A_n e^{-j\beta_n x} e^{-j\gamma_n(z-t)} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 \hat{a}_y 는 y 방향의 단위벡터이며, 매질

의 전파상수(propagation constant) $k_0 = \omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$, μ_0 와 ϵ_0 는 자유공간의 투자율 및 유전율, $\beta_0 = k_0\sin\phi$, $\gamma_0 = k_0\cos\phi$, H_0 는 입사 자계의 진폭으로서 1로 정규화하였다. 또한 식 (2)에서 A_n 는 구해야 할 미지의 계수이며, $\beta_n = \beta_0 + 2\pi n/s$, γ_n 는 2가지 모드인 전파와 감쇠모드로 표시할 수 있다[10].

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

유전체층의 영역 1($t_2 \leq z \leq t$)과 영역 2($0 \leq z \leq t_2$)에서 자계 \overline{H}_i^t 는 다음과 같이 무한급수의 합으로 표현할 수 있다[9].

$$\overline{H}_i^t = \hat{a}_y \sum_{n=-N}^N [B_{ni} e^{-j\beta_n x} e^{-\gamma_n z} + C_{ni} e^{-j\beta_n x} e^{\gamma_n z}] \quad (4)$$

식 (4)에서 B_{ni} 와 C_{ni} 는 구해야 할 미지의 계수, i 는 영역 1과 2를 의미하며, η_{ni} 는 다음과 같이 2가지 모드로 구분하여 표시할 수 있다[10].

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

식 (5)에서 $k_i = \omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon_{ri}} = k_0\sqrt{\epsilon_{ri}}$, ϵ_{ri} 에서 i 는 영역 1과 2이며, 영역 1과 2의 비유전율[F/m]이다.

지금까지 사용된 미지의 계수를 구하기 위해 경계조건을 적용한다. 식 (1), (2), (4)에서의 수식들은 자계에 관한 식들을 표시하였으나, 전자계에 대한 산란해석을 위해서는 경계조건을 적용해야하므로 전계와 자계에 대한 관련 식들이 모두 필요하다. 따라서 자계를 알면 전계에 관한 식을 얻을 수 있는 Maxwell 방정식($\nabla \times \overline{H} = j\omega\overline{D}$, $\overline{D} = \epsilon\overline{E} = \epsilon_0\epsilon_r\overline{E}$)을 이용하여 얻는다. 또한 본 논문은 그림 1의 구조에서 보인 것처럼 저항피를 사용한 구조이므로 다음 절에서 취급한 저항 경계조건을 추가로 적용해야 하며, 그에 따른 필요한 계수들을 구해야만 한다.

3. 각 유전체층에서의 경계조건 적용^{[9][10][11]}

기존 논문 [11]에서는 TE 산란문제에 대하여 접지층(grounded palne)이 없는 경우에 대해 PMM을 이용하

여 수치해석하였으나, 본 논문은 접지층이 있는 경우에 대해 수치해석한다. 따라서 기존 논문 [11]에서는 영역 2와 3의 경계면 $z=0$ 에서 전계 및 자계가 연속이라는 경계조건을 사용하였으나, 본 논문에서는 경계면 $z=0$ 에서 접지평면이므로 전계가 사라져야한다는 경계조건을 적용하게 된다. 따라서 기존 논문 [11]과 본 논문은 서로 다른 경계조건이 가지므로 차별화된다고 할 수 있으며, 전자계의 경계조건이 다르므로, 수치해석 결과도 다르며, 앞으로 나올 각각의 계수들의 값들 또한 다르다.

본 논문은 기존 논문 [9]의 완전도체피에 대한 문제를 저항피에 관한 문제로 확장하여 전개하여야 하며, 또한 영역 0과 영역 1의 경계면 $z=t$ 에서 전계 및 자계 성분은 연속이어야 하고, 경계면 $z=t_2$ 에 존재하는 저항피에 대하여 저항 경계조건(resistive boundary condition)을 적용해야만 한다. 따라서 영역 1에서의 전계는 저항피의 균일 저항율 R (resistivity, Ω/square)^{[2][3]}과 저항피의 표면에 유도되는 전류밀도(induced current density)로 표현되는 전자계의 오옴의 법칙(ohm's law)이 성립하여야만 한다^[2].

$$\overline{E}_1^t = R \overline{J}_x, \quad 0 \leq x \leq w \quad (6)$$

식 (6)에서 좌변은 \overline{E}_1^t 는 영역 1에서의 전계, R 은 저항피의 균일저항율, \overline{J}_x 는 TE 산란의 경우에서 저항피의 표면에 유도되는 전류밀도(A/m)로서 스트립에서 암페르의 주회적분법칙(Ampere's law, $\nabla \times \overline{H} = \overline{J}$)이 성립하여야만 한다^{[2][3]}. 또한 영역 1과 2의 경계면 $z=t_2$ 에서 영역 1과 영역 2의 접선성분의 자계는 연속이어야 하며, 또한 자계성분도 연속이어야 하므로, 이들 관련 식들을 정리하면 저항피에서 저항경계조건을 만족하고, 저항피의 균일저항율 R 이 포함되어진 A_n 에 관한 식으로 표현할 수 있다^[2].

$$\sum_{n=-N}^N A_n e^{-j\beta_n x} (p_{n7} - p_{n5} R) = -e^{-j\beta_0 x} e^{j\gamma_0 t} \{\delta_n (p_{n6} R - p_{n8})\}, \quad 0 \leq x \leq w \quad (7)$$

경계면 $z=t_2$ 인 저항피 사이의 슬롯(slot)에서 전계와 자계가 연속이어야 하므로 슬롯에서 만족하는 A_n 에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{n=-N}^N A_n e^{-j\beta_n x} p_{n7} = -e^{-j\beta_0 x} e^{j\gamma_0 t} (\delta_n p_{n6}) \quad (8)$$

, $W \leq x \leq S$

식 (7)과 (8)은 한 주기 구간인 $0 \leq x \leq s$ 의 범위에서 만족하는 수식이며, δ_n 은 Kronecker delta 함수로서 $n=0$ 일 때만 1이고, $n \neq 0$ 인 경우는 0인 값을 가지는 함수이다.

식 (9)에서 (17)은 그림 1의 구조에서의 접지층 및 각 층에서의 전계 및 자계의 경계조건을 적용하여 얻어진 계수들이며, 수치해석 구조가 다르면 계수들도 다르게 얻어진다.

$$p_{n0} = 0.5(1 + \epsilon_{r1}\gamma_n/\eta_{n1})e^{j\eta_{n1}t_1} \quad (9)$$

$$p_{n1} = 0.5(1 - \epsilon_{r1}\gamma_n/\eta_{n1})e^{j\eta_{n1}t_1} \quad (10)$$

$$p_{n2} = j \left(\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}} \frac{\eta_{n1}}{\eta_{n2}} \right) \cot(\eta_{n2}t_2) \quad (11)$$

$$p_{n3} = p_{n2} - 1 \quad (12)$$

$$p_{n4} = p_{n2} + 1 \quad (13)$$

$$p_{n5} = p_{n0}(p_{n3} + p_{n4}e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - p_{n4}e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (14)$$

$$p_{n6} = p_{n1}(p_{n3} + p_{n4}e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - p_{n4}e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (15)$$

$$p_{n7} = p_{n0}(1 + e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (16)$$

$$p_{n8} = p_{n1}(1 + e^{-j2\eta_{n1}t_1}) - e^{-j\eta_{n1}t_1} \quad (17)$$

III. 수치계산 결과 및 검토

본 논문에서는 H-polarized 산란 문제의 경우, 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 PMM을 이용하여 반사전력을 계산하고, 기존 논문의 수치계산 결과와 비교하여 수치해석의 타당성을 검증하는 것이 본 논문의 목적이다.

식 (7)과 (8)을 이용하여 미지의 계수 A_n 을 구하기 위해서 $n = [-N: N]$, $N = 100$ 을 사용하였으며, 정방행렬의 역변환을 수행하여 정규화된 반사전력(normalized reflected power) $|A_0|^2$ 을 계산할 수 있다. 영역 1과 2의 비유전율 ϵ_{r1} 및 ϵ_{r2} 의 단위[F/m]와 도체띠의 폭(w), 주기(s) 및 영역 1과 2의 유전체층의 두께 t_1 및 t_2 의 단위는 파장[λ], 저항띠의 저항율의 단위인 $\Omega/square$ 는 편의상 단위는 생략하였다. 또한 본 논문의 2중 유전체층

구조에서 각 층의 비유전율과 유전체 층의 두께는 동일한 값을 가지는 경우에 대해서만 수치계산하였다.

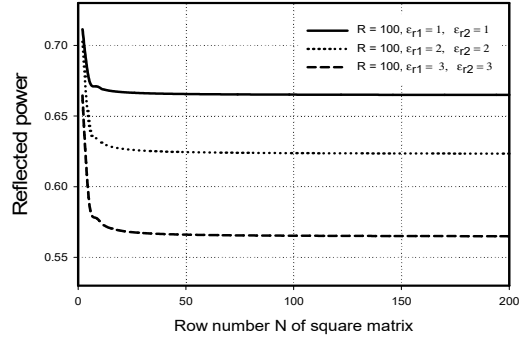


그림 2. 수직입사시 정방행렬의 행수 N과 비유전율에 따른 반사전력의 수렴곡선

Fig. 2. Convergence curve of reflected power for row number N of square matrix and relative permittivity in normal incidence.

표 1. 정방행렬의 행수 N과 비유전율에 따른 반사전력의 %error 비교

Table 1. Comparison of %error for row number N of square matrix and relative permittivity

	$\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$	$\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 2$	$\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 3$
$N = 100$	0.6651	0.6328	0.5653
$N = 200$	0.6649	0.6234	0.5650
% error	0.03	0.06	0.05

그림 2는 수직입사시, 저항율 $R=100$, 격자상수 $s = 1.2$, $w = 0.8$, 유전층의 두께 $t_1 = t_2 = 0.04$ 일 때, 비유전율이 $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2}$ 으로 동일한 경우에 대해 식 (7)과 (8)에서 사용된 정방행렬의 행수 N에 따른 반사전력의 수렴도를 보였다. $N=100$ 이면, $n=[-100:100]$ 이므로 행의 크기가 201개인 정방행렬, $N = 200$ 이면, $n=[-200:200]$ 이므로 행이 401개의 정방행렬을 의미하며, 수치해석 결과로는 비유전율의 값이 증가할수록 반사전력이 증가하였다. 표 1에서는 비유전율과 정방행렬의 행수 $N=100, 200$ 에 따른 반사전력의 %error 를 비교하여 표시하였으며, $N=100, 200$ 에 따른 %error는 0.06% 이하의 크기로, $N=100$ 정도에서 반사전력을 계산하여도 별다른 문제가 없을 것으로 사료된다.

그림 3은 수직입사시, 격자상수 $s = 1.2$, $t_1 = t_2 = 0.4$ 이고, 각 층의 비유전율은 동일한 값, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ 인 경우에 대해 스트립 폭과 저항띠의 저항율 R에 따른 정규

화된 반사전력을 계산한 것으로, 스트립 폭이 0.4에서 0.6 사이에서는 저항율이 크면 오히려 반사전력이 증가하였고, 스트립 폭이 0.4에서 0.6 이외의 경우는 반사전력이 감소하였다. 범례에 표시된 “●”는 접지된 2중 유전체층 문제에서 완전도체띠(conductive strip)인 경우에 대해 FGMM을 이용한 기존 논문 [10]의 수치계산 결과와 비교하여 거의 일치하여 수치해석의 타당성을 검증하였다.

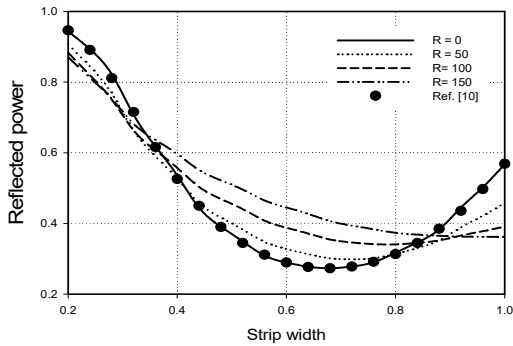


그림 3. 수직입사시 저항띠의 저항율에 따른 반사전력
 Fig. 3. Reflected power for resistivity of resistive strip at normal incidence

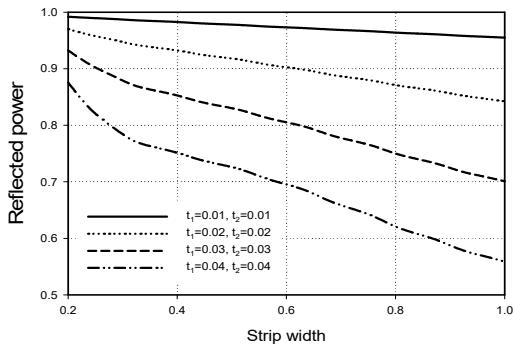


그림 4. 수직입사시 유전층의 두께에 대한 반사전력
 Fig. 4. Reflected power for thickness of dielectric layers at normal incidence

그림 4는 수직입사시, 저항율 $R=100$, 격자상수 $s=1.2$, 각 층의 비유전율은 동일한 값, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 2$ 인 경우에 대해 각 층의 비유전율의 두께를 동일한 값, $t_1 = t_2$ 으로 변화시켰을 때 스트립 폭에 따른 정규화된 반사전력을 계산한 것으로, 유전층의 두께 $t_1 = t_2$ 의 값이 작을수록 반사전력은 증가하였다.

그림 5는 입사각과 저항율에 따른 반사전력을 계산한

결과로서, 격자상수들은 $s=1.2$, $w=0.8$, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 3$, $t_1 = t_2 = 0.4$ 일 때, 각 저항율 R 에 따른 입사각에 대한 반사전력을 계산한 결과로서, 전반적으로 저항율이 증가하면 저항 손실에 따른 반사전력은 감소하였으며, 범례에 표시된 “●”는 완전도체띠인 경우에 대해 FGMM을 이용한 기존 논문 [10]의 수치계산 방법의 차이로 인하여 약간의 차이는 있지만 거의 일치하였다.

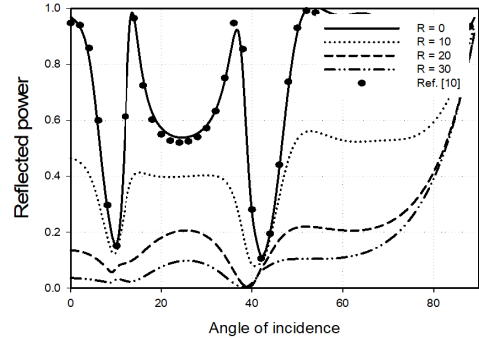


그림 5. 입사각과 저항율에 따른 반사전력
 Fig. 5. Reflected power for incident angles and resistivity of resistive strip

IV. 결 론

본 논문에서는 TE 산란 문제의 경우, 접지된 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 저항띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 PMM을 이용하여 정규화된 반사전력을 구하는 것이 본 논문의 목적이며, 기존 논문의 수치계산 결과와 비교하여 본 논문의 타당성을 검증하였다. 또한 2중 유전체층의 문제를 취급하므로 각 유전체층의 비유전율과 두께는 동일한 경우에 대해서만 취급하여 수치계산하였다.

전반적으로 정방행렬의 크기가 증가하면 반사전력의 정확도가 증가하였으며, 수직입사의 경우 저항띠의 저항율이 증가하면 저항 손실로 인하여 반사전력은 감소하였으며, 각층의 비유전율이 증가하거나 유전체 층의 두께가 작아지면 반사전력이 증가하였다.

앞으로 본 논문을 기반으로 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠에 관한 문제를 또 다른 수치해석 방법인 FGMM을 적용한 수치해석이 가능할 것으로 기대되어 지속적인 연구가 필요하다.

References

- [1] 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>
- [2] 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>
- [3] 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>
- [4] 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, Vol. 5, No. 5, pp. 385-388, 2004.
- [5] 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, Vol. 10, No. 1, pp. 33-38, 2010.
- [6] 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>
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] U. J. Yoon, "A Study on TE Scattering by a Conductive Strip Grating between Grounded Double Dielectric Layer," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 16, No. 4, pp. 153-158, Aug. 31, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.4.153>
- [10] U. J. Yoon, "Analysis of H-polarized Electromagnetic Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Grounded Double Dielectric Layer Using FGMM," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 20, No. 1, pp.83-88, Feb. 29, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.1.83>
- [11] U. J. Yoon, "A Study on TE Scattering by a Resistive Strip Grating Between a Double Dielectric Layer Using PMM," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 20, No. 4, pp.21-26, Aug. 31, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.4.21>

저자 소개

윤 의 중(중신회원)



- 1993년 8월 : 숭실대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1997년 6월 ~ 1997년 8월 : Bemidji State University in Minnesota(USA) 미국방문연수
- 2008년 7월 ~ 2012년 1월 : 가천 의과대학 학생처장
- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 의용생체공학과 교수
- 관심분야 : 전자파산란 수치해석, 생체모니터링 시스템, 머신러닝 및 딥러닝, Embedded system 개발 등