

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.3.77>

JIIBC 2023-3-11

## 접지된 2중 유전체층 사이의 저항띠 격자에 대해 FGMM과 PMM을 적용한 TM 산란 해

### Solution of TM Scattering Applying FGMM and PMM for Resistive Strip Grating Between a Grounded Double Dielectric Layer

윤의중\*

Uei-Joong Yoon\*

**요약** 본 논문에서는 접지된 2중 유전체층 사이의 저항띠 격자구조에 의한 TM(transverse magnetic) 전자파 산란 문제를 전자파 수치해석방법으로 알려진 FGMM(fourier galerkin moment method)과 PMM(point matching method)을 이용하여 해석하였다. 경계조건들은 미지의 계수를 구하기 위하여 이용하였으며, 저항띠의 해석을 위해 저항경계조건을 적용하였다. 전반적으로 저항율이 작으면 저항띠에 유도되는 전류밀도의 크기가 증가하였고, 반사전력도 증가하였다. 또한, 유전체층의 두께와 비유전율의 값이 증가하면 전반적으로 반사전력은 증가하였다. 본 논문의 제안된 구조에 대해 FGMM과 PMM의 수치해석 방법을 적용한 수치결과들은 매우 잘 일치하였다.

**Abstract** In this paper, TM(transverse magnetic) electromagnetic scattering problems for resistive strip grating between grounded double dielectric layers are analyzed by using the FGMM(fourier galerkin moment method) and PMM(point matching method) known as a numerical method of electromagnetic field. The boundary conditions are applied to obtain the unknown field coefficients, the resistive boundary condition is applied to analysis of resistive strip. Overall, when the ununiform resistivity decreased, the magnitude of the current density induced in the resistive strip increased, and the reflected power also increased. Also, as the thickness and relative permittivity of the double dielectric layers increased, the overall reflected power increased. The numerical results obtained by using the numerical methods of FGMM and PMM to the structure proposed in this paper agree very well.

**Key Words** : TM scattering, FGMM, PMM, resistive strip, grounded double dielectric layer.

\*정회원, 가천대학교 의공학과 교수 (교신 저자)  
접수일자 2023년 4월 7일, 수정완료 2023년 5월 8일  
게재확정일자 2023년 6월 9일

Received: 7 April, 2023 / Revised: 8 May, 2023 /

Accepted: 9 June, 2023

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

Dept. of Biomedical Engineering, Gachon University, Korea

## 1. 서 론

격자구조(strip grating)의 수치해석을 위한 방법으로 크게 3가지로 나누어지는데, 대표적인 방법으로 PMM(point matching method), FGMM(fourier galerkin moment method), SGMM(spectral galerkin moment method)의 3가지 방법을 적용해서 수치해석의 타당성을 검증하는 형태로 진행되며 여러 연구자들에 의해서 많은 관심을 가져왔다<sup>[1]-[10]</sup>.

대표적인 수치해석의 예를 들면, 격자구조에 도체띠(conductive strip)를 사용한 기본 문제로서 Richmond는 자유공간상에서 스트립에 유도되는 미지의 유도전류를 FGMM(fourier galerkin moment method)을 이용하여 수치해석하였고, Mittra는 파수영역에서 SGMM(spectral galerkin moment method)을 적용하여 수치해석하였으며, Kalhor는 반사를 유리하도록 유전체 접지층 위에 도체띠를 가지는 경우에 대해 PMM(point matching method)을 이용하여 수치 계산하였다<sup>[2-4]</sup>. 또한 주기적인 유전체층 문제에 대해 전자기파의 산란 문제에 대해 근사화 이론을 이용하였고, 주기적인 유전체 층을 사용한 안테나용 주파수 선택 반사기를 설계하였다<sup>[5, 6]</sup>.

2차원 모델에서 전자파 수치해석은 수치해석 구조에 따라 TE(transverse electric)와 TM(transverse magnetic) 산란에 대해 수치해석하게 되는데, 접지된 2개의 유전체 층 위의 도체띠 격자구조인 경우와 2중 유전체층 사이의 도체띠 격자구조에 대해 TM 산란 문제를 수치해석 방법인 FGMM을 이용하여 수치해석하였으며<sup>[7-8]</sup>, 접지된 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 도체띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 FGMM을 이용하여 TE 산란 문제에 대해 수치해석한 바 있으며<sup>[9]</sup>, 참고문헌[10]에서는 E-분극(TM) 산란 문제에 대해서 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠 격자구조를 가질 때 저항띠의 변하는 저항율이 2중 체비셰프 다항식(Chebyshev polynomials of the second kind,  $U(n)$ ) 형태의 값을 가지는 특별한 경우에 대해 수치해석한 것으로, 저항율이 0인 경우는 도체띠의 경우와 동일한 수치계산 결과를 가진다.

본 논문에서는 접지된 2중 유전체층 사이에 균일 저항율을 가지는 저항띠 격자구조에 대해 FGMM과 PMM의 2가지 수치해석 방법을 제안하고, 2가지 수치계산 결과를 비교하여 수치계산의 타당성을 입증하고자 한다.

## II. 문제의 구조에 대한 수치해석

### 1. 본 논문에서 취급한 저항띠 수치해석 구조

문제의 구조는 그림 1과 같이 TM 평면파가 가장자리에 나란하게  $\phi$ 의 각도로 비스듬히 입사하고, 반사층을 가진 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠가  $y$  방향으로 무한하게 배열되어 있다. 저항띠의 격자는  $x-y$  평면상에 위치하고 있으며,  $x$  방향으로 주기적으로 배열되어 있다. 그림 1에서 각 유전체 층 1과 2의 비유전율(relative permittivity)은  $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$  이고, 스트립 주기  $s$ , 스트립 폭  $w(=2h)$ , 영역 및 각 유전체 층 1과 2의 두께  $t_1$ ,  $t_2$ 이며, 단위는 파장[m]이다.

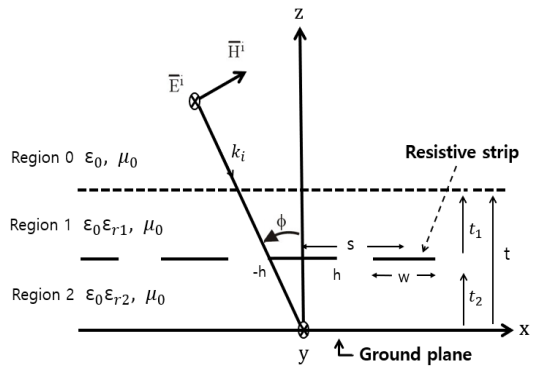


그림 1. 접지된 2중 유전체층을 갖는 저항띠 구조와 비스듬히 입사하는 TM 평면파

Fig. 1. Geometry of resistive strip with grounded double dielectric layers and oblique incident TM plane wave

### 2. FGMM의 수치계산을 위한 수식 전개<sup>[9]</sup>

앞으로 수식을 전개할 때 전계(electric field)에 대해서만 전개하고, 전자계에서는 전계와 자계에 관한 식들이 있어야 전자파 해석을 할 수 있으므로 자계에 관한 식이 필요하면 해당하는 전계와 관련된 식들에 대해 맥스웰 방정식을 이용하여 구하면 된다. 그림 1과 같은 구조에 입사하는 전계  $\vec{E}^i$  는 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

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  $\vec{E}^s$  는 평면파의 합으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\overline{E^s} = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n A_n e^{-j\gamma_n(z-t)} e^{-j2n\pi x/s} \quad (2)$$

식 (2)에서  $A_n$  는 미지의 계수이며,  $\gamma_n$  는 2가지 모드의 전파모드와 감쇠모드로 표시할 수 있다.

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

식 (3)에서  $\beta_n = \beta_0 + 2\pi n/s$ ,  $\beta_0 = k_0 \sin \phi$  이며, 영역 1과 영역 2에서 전체  $\overline{E}_i$  는 무한급수의 합으로 표현할 수 있다.

$$\overline{E}_i = \hat{a}_y e^{-jk_0 x \sin \phi} \sum_n (B_{ni} e^{-j\eta_{ni} t} + C_{ni} e^{j\eta_{ni} t}) e^{-j2n\pi x/s} \quad (4)$$

식 (4)에서  $B_{ni}$  와  $C_{ni}$  는 구해야 할 미지의 계수,  $i$  는 유전체 영역 1과 2를 의미하며,  $\eta_{ni}$  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  $k_i = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{ri}} = k_0 \sqrt{\epsilon_{ri}}$ ,  $\epsilon_{ri}$  는 유전체 영역 1과 2에서의 비유전율이며, 접지층을 가지는 수치해석 구조이므로 투과계수는 존재하지 않는다.

지금까지 사용된 미지의 계수를 구하기 위해 경계조건을 적용해야 되는데, 산란해석을 위해서는 전계와 자계가 필요하므로 전계에 관한 식 (1), (2), (4)에 대해 Maxwell 방정식을 이용하면 자계를 구할 수 있다.

수치해석을 위해서 그림 1의 구조에 대해 경계조건을 각 층에 대해 적용되어야 하는데, 우선  $z=0$ 인 접지층에서 전계는 사라져야하므로 식 (4)을 이용하여 해결하게 되며, 경계면  $z=t$ 에서 접선 성분의 전계 및 자계는 연속이어야 한다. 또한  $z=t_2$ 인 경계면의 저항띠에 대해 수치해석 방법인 FGMM을 적용하기 위해서 저항띠에 유도되는 전류를 미지의 계수와 계산이 간단한 지수함수의 곱의 급수로 다음과 같이 놓았다<sup>[2, 8]</sup>.

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

식 (7)에서  $f_p$  는 구해야 할 미지의 계수이다. 또한 저항띠에 유도되는 전류는 경계면  $z=t_2$ 에서 Maxwell 방정식을 만족하는 식들을 정리한 후, 양변에  $e^{j2n\pi x/s}$ 를 곱하고, 한 주기  $s$  구간에서 양변을 적분하면 반사계수 (Reflection coefficient)  $A_n$  을 구할 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$A_n = \frac{k_0 \eta_0}{s} \sum_{p=-M}^M f_p \left( \frac{G_{pn}}{P_{n5}} \right) - e^{k_0 \phi \cos \phi} \left\{ \left( \frac{P_{n6}}{P_{n5}} \right) \delta_n \right\} \quad (8)$$

식 (8)에서 사용된 계수들은 수치해석 구조에 따라 달라지는 계수들이며, 본 논문에서는 다음과 같은 값 들을 가진다.

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

$$p_{n1} = 0.5((1 - k_0 \cos \psi / \eta_{n1}) e^{j\eta_{n1} t}) \quad (10)$$

$$p_{n2} = j \cot(\eta_{n2} t_2) \quad (11)$$

$$p_{n3} = \eta_{n2} p_{n2} - \eta_{n1} \quad (12)$$

$$p_{n4} = \eta_{n2} p_{n2} + \eta_{n1} \quad (13)$$

$$p_{n5} = p_{n0} (p_{n3} - p_{n4} e^{-j2\eta_{n2} t_1}) + p_{n4} e^{-j\eta_{n2} t_1} \quad (14)$$

$$p_{n6} = p_{n1} (p_{n3} - p_{n4} e^{-j2\eta_{n2} t_1}) + p_{n4} e^{-j\eta_{n2} t_1} \quad (15)$$

### 3. 저항경계조건 적용<sup>[3][10]</sup>

경계면  $z=t_2$ 인 경계면에 균일 저항율을 갖는 저항띠에 대하여 다음과 같은 저항 경계조건(resistive boundary condition)을 만족해야 한다.

$$\overline{E}_1^t = R \overline{J}_y(x) \quad (16)$$

식 (16)에서  $R$  은 저항띠의 균일저항율( $\Omega/\text{square}$ )이며,  $\overline{E}_1^t$  는 영역 1에서의 전체 전계,  $\overline{J}_y(x)$  는  $y$ -방향 성분을 가지는 저항띠에 유도되는 전류밀도(A/m)로서 식 (16)과 경계면  $z=t_2$ 에서 전자계가 Maxwell 방정식을 만족하도록 관련 식들을 정리한 후 양변에  $e^{-jq\pi x/h}$ 를 곱한 후, 양변에 저항띠 구간에 대해 적분을 취하면 다음과 같은 선형방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{p=-M}^M f_p Z_{pq} = V_q \quad (17)$$

$$Z_{pq} = R G_{pq} - \frac{k_0 \eta_0}{s} \sum_{n=-N}^N \left( G_{pn} \frac{P_{n7}}{P_{n4}} \right) G_{qn}^* \quad (18)$$

$$V_q = e^{jk_0 t \cos \phi} \sum_{n=-N}^N \left\{ \left( P_{n8} - \frac{P_{n6} P_{n7}}{P_{n5}} \right) \delta_n \right\} G_{qn}^* \quad (19)$$

식 (18), (19)에서 사용된 “\*”는 공액복소(Complex conjugate)이며,  $G_{pn}$ ,  $G_{qn}^*$  및 사용된 계수 들은 다음과 같다.

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

$$G_{qn}^* = \int_{-h}^h e^{-j2\pi(q/w + n/s)x} dx \quad (21)$$

$$P_{n7} = e^{-j\eta_{at1}} + P_{n0} (1 - e^{-j2\eta_{at1}}) \quad (22)$$

$$P_{n8} = e^{-j\eta_{at1}} + P_{n1} (1 - e^{-j2\eta_{at1}}) \quad (23)$$

그리고 식 (18)의  $G_{pq}$  는 식(20)과 (21)의 행렬의 곱으로 얻어진 정방행렬(square matrix)이다.

#### 4. PMM의 수치계산을 위한 수식 전개<sup>[4, 7]</sup>

PMM 방법은 지면 관계상 유도과정은 생략하며, 각 층에서의 경계조건과 저항경계조건을 적용하면 다음과 같이 저항띠 구간에서 만족하는 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=-N}^N A_n \gamma_n e^{-j\beta_n x} \left( P_{n7} - \frac{R}{\omega \mu_0} P_{n5} \right) \\ = e^{-j\beta_n x} e^{j\gamma_n t} \left\{ \left( \frac{R}{\omega \mu_0} P_{n6} - P_{n8} \right) \delta_n \right\}, -h \leq x \leq h \end{aligned} \quad (24)$$

식 (24)에서  $R$ 은 균일저항율( $\Omega/square$ ),  $\gamma_0 = k_0 \cos \phi$ ,  $\beta_0 = k_0 \sin \phi$ 이고 슬롯(slot)에서 만족하는 반사계수  $A_n$ 에 관한 식을 얻을 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$\begin{aligned} \sum_{n=-N}^N A_n (\gamma_n P_{n5} - 1) e^{-j\beta_n x} \\ = -e^{-j\beta_n x} e^{j\gamma_n t} (\delta_n P_{n6}) \end{aligned} \quad (25)$$

식 (24), (25)는 한 주기 구간의 범위에서 만족하는 수식이며, 식 (24), (25)에 대해 Dirac delta 함수와의 내적(inner product)을 수행하고 정방행렬을 역변환하면  $n=0$ 인 반사전력  $|A_0|^2$ 을 계산할 수 있다.

### III. 수치해석 결과 및 검토

본 논문에서는 TM 산란 문제의 경우, 반사층을 가진 접지된 2중 유전체층 사이에 저항띠가 주기적으로 배열되어 있을 때 수치해석 방법인 FGMM 방법은 식 (7)의 기저함수에 지수함수를 사용함에 따라 짧은 시간에 수치 계산 결과를 얻을 수 있다는 장점을 가진다.

FGMM을 적용하여 얻어진 식 (17)을 이용하여 정방행 매트릭스를 역변환하여 미지의 계수  $f_p$ 를 구한 후, 식 (7)에 대입하여 저항띠에 유도되는 전류밀도의 크기 및 식 (8)을 이용하여 반사전력  $|A_0|^2$ 을 계산하고, 행렬의 크기  $p=q=[-M:M]$ ,  $n=[-N:N]$ 에서  $M=20$ ,  $N=100$ 으로 매트릭스의 크기를 한정하였다<sup>[8, 9]</sup>. PMM을 이용하여 유도한 식 (24), (25)을 이용하여 반사전력  $|A_0|^2$  계산할 수 있으며, 행렬의 크기  $n=[-N:N]$ 일 때  $N=100$ 으로 크기를 한정하였으며,  $N=200$ 을 적용하여 비교했을 때 0.05%의 %error를 가지므로 수치해석상 큰 차이는 없다고 할 것이다<sup>[4, 7]</sup>. 그리고 각 유전체층의 두께  $t_1$  및  $t_2$ , 저항띠의 폭( $w=2h$ ), 주기( $s$ )의 단위는 생략하기로 한다.

그림 2, 3, 4는 입사각에 따른 균일 저항율  $R=0, 50, 100 \Omega/square$  일 때, 저항띠에 유도되는 전류밀도의 크기를 나타내었으며,  $s=1.2$ ,  $w=1$ ,  $t_1=t_2=0.3$ ,  $\epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}=2$ 인 동일한 경우 만을 취급하였다.

그림 2는 수직입사시, 저항띠에 각 저항띠에 유도되는 전류밀도의 크기의 수치계산 결과가 좌우대칭으로 보아 수치계산의 타당성이 입증되었고, 도체띠 양끝에서는 전류밀도의 크기가 급격히 상승하고 있다. 그림 3은 입사각이 30도, 그림 4는 입사각이 60도인 경우로 입사각이 60도인 경우가 입사각이 30도인 경우보다 저항띠에 유도되는 전류밀도의 크기가 감소하여 비스듬히 입사하는 각도가 클수록 유도되는 전류밀도의 크기가 감소하고 있다는 것을 보여 준다.

그림 5는 수직입사시,  $s=1.2$ ,  $\epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}=2$ ,  $t_1=t_2=0.28$ 일 때, 저항율에 따른 반사전력을 계산한 것으로, 스트립 폭이 0.7 파장 이상에서 저항율이 증가하면 반사전력이 감소하였고, 범례에 표시된 “●”와 “▲”는 PMM의 수치계산 결과를 보여주는 것으로 본 논문의 FGMM의 계산결과와 거의 일치하여 수치계산의 타당성을 입증하였으며, 범례에 표시된 “○”는 참고문헌[4]에서 취급한 동일한 격자 상수( $\phi=0$ ,  $s=1.2$ ,  $\epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}=1$ ,  $t_1=t_2=0.4$ )일 때 도체띠( $R=0$ )에 대한 수치계산 결과를 보였다<sup>[4]</sup>.

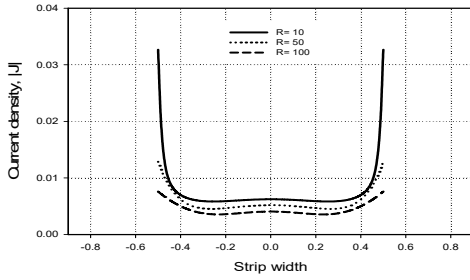


그림 2. 수직입사시 저항율에 대한 전류밀도 크기  
 Fig. 2. Magnitude of Current density for resistivity at normal incidence

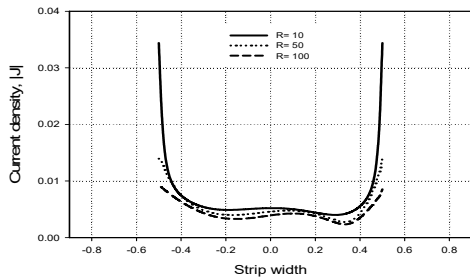


그림 3. 입사각 30도에서 저항율에 대한 전류밀도 크기  
 Fig. 3. Magnitude of Current density for resistivity at incident angle of 30 degrees

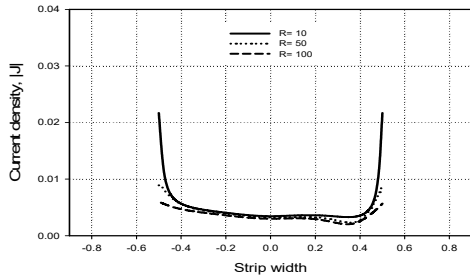


그림 4. 입사각 60도에서 저항율에 대한 전류밀도 크기  
 Fig. 4. Magnitude of Current density for resistivity at incident angle of 60 degrees

그림 6은  $\phi=0$ ,  $R=100 \Omega/\text{square}$ ,  $s=1.2$ ,  $t_1=t_2=0.28$  일 때,  $\epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}$  의 값이 증가할수록 반사전력은 증가하였으며, 그림 7은  $\phi=0$ ,  $R=100 \Omega/\text{square}$ ,  $s=1.2$ ,  $\epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}=2$  일 때,  $t_1=t_2$  가 증가할수록 전반적으로 반사전력은 증가하였다.

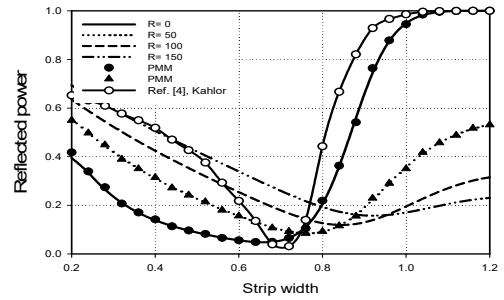


그림 5. 수직입사시 균일 저항율에 대한 반사전력  
 Fig. 5. Reflected power for uniform resistivity at normal incidence

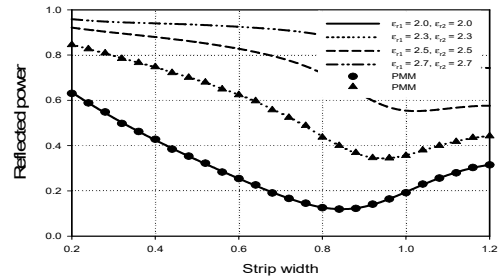


그림 6. 수직입사시 유전체층의 비유전율에 따른 반사전력  
 Fig. 6. Reflected power for relative permittivity of the dielectric layers at normal incidence

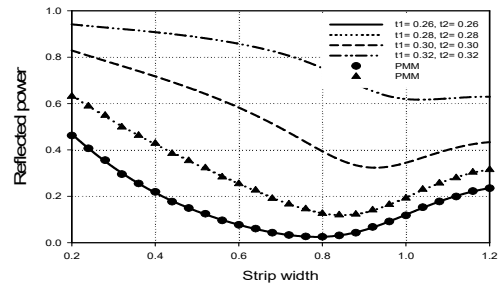


그림 7. 수직입사시 유전체층의 두께에 대한 반사전력  
 Fig. 7. Reflected power for thickness of dielectric layers at normal incidence

#### IV. 결 론

본 논문에서는 TM 산란의 경우, 반사층을 가진 접지된 2중 유전체층 사이에 매우 얇은 저항띠가 주기적으로 배열되어 구조에 대해 수치해석 방법인 FGMM과 PMM의 2가지 수치해석 방법을 제안하였다.

지면 관계상 유전체층의 비유전율과 두께는 동일한 값을 가지는 경우만 취급하였으며, 2가지 수치계산 결과를 비교했을 때 거의 일치하여 본 논문의 타당성을 검증하였다. 전반적으로 저항율이 증가하면 반사전력은 감소하였으며, 각 유전체층의 비유전율과 두께가 증가하면 반사전력은 증가하였다.

앞으로 다른 형태의 구조에 대하여 수치해석 방법인 PMM과 FGMM을 적용하여 수치해석할 수 있을 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(IIBC), Vol. 10, No. 1, pp. 33-38, 2010.
- [7] U. J. Yoon, "Solution of TM Scattering by a Conductive Strip Grating Over the Grounded two Dielectric layers with Edge Boundary Condition," Journal of Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 17, No. 4, pp. 429-434, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.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: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.2.47>
- [9] U. J. Yoon, "Analysis of H-polarized Electromagnetic Scattering by a Conductive Strip Grating Between a Grounded Double Dielectric Layer Using FGMM," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 20, No. 1, pp. 83-88, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.1.83>
- [10] Y. S. Tchoi and S. I. Yang "Analysis of E-polarized Plane Wave Scattering by a Tapered Resistive Strip Grating in a Grounded Double Dielectric Layer," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 18 , no. 6, pp. 656-663, June. 2007.

## 저자 소개

### 윤 의 증(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 의공학과 교수

### <관심분야>

전자파산란 수치해석, 생체모니터링 시스템, 인공지능(AI), 임베디드 시스템 개발 등