

유전체로 덮힌 임의 형태의 격자 구조의 산란 -TE 편파

⁰이 철훈, 조 응희, 조 영기

* 경북대학교 전자전기공학부

Tel. & Fax. : 053-950-5536

E-mail : ykcho@ee.kyungpook.ac.kr

Scattering of arbitrarily shaped gratings with dielectric cover

- TE polarization

⁰C. H. Lee, U. H. Cho, Y. K. Cho

* School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University

Tel. & Fax. : 053-950-5536

E-mail : ykcho@ee.kyungpook.ac.kr

Abstract

The Scattering of arbitrarily shaped gratings covered with dielectric slab is considered. The total field in each region is expressed in terms of incident field and scattered field by induced currents on the surface of the grating. Some numerical results is presented and compared with previous ones in cases of several gratings.

I. 서 론

주기적인 격자구조는 여러 가지 응용의 목적을 위하여 특정한 구조에 대한 엄밀한 해석이나 임의 형태의 격자에 대한 산란 해석 등이 많이 연구되어져 왔다 [1-4]. 그러나 도체 격자인 경우 유전체 덮개의 영향을 고려한 연구는 미비한 상황이다[5].

본 논문에서는 유전체가 덮힌 임의 형태의 도체 격자에서 TE 편파된 입사파에 의한 산란 해석을 다루고자 한다. 각 영역에서의 전장은 입사파와 도체 격자 표면의 유기 전류에 의한 산란장의 합으로 표시되며, 유기 전류에 의한 산란장은 유전체 슬랩 밑에 위치한 선전류에 의한 주기그린함수의 적분형태로 주어진다. 그리고 도체표면을 따라 경계조건을 부과하여 전개적분방정식을 구하고 모멘트 방법을 사용하여 도체 표면

의 유기전류를 미지수로 하는 선형행렬방정식을 구하였다. 전술한 방법으로 삼각 격자구조(Echelette grating)와 사각 격자구조(Rectangular Groove grating) 및 comb 격자구조에 대하여 수치해석하여 기존의 결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

II. 본 론

본 논문에서 다루고자 할 구조와 좌표계를 그림. 1에 도시하였다. 격자의 주기를 p , 유전체 슬랩의 높이와 비유전율을 각각 h , ϵ_{r2} 이라 하고, 격자 영역내에서의 비유전율을 ϵ_{r1} 이라 하였다.

y 축과 이루는 입사각을 θ 라 하였을 때, 입사전장은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_z^{inc}(x, y) = e^{-j\alpha_0 x + j\beta_0 y} \quad (1)$$

여기에서 $\alpha_0 = k_0 \sin \theta_i$, $\beta_0 = k_0 \cos \theta_i$ 로 주어진다.

도체 격자 표면에 유기전류를 위치시키고 도체 전체를 도체 격자내의 비유전율과 같은 유전체로 채우면, 전체전장은 입사파와 유기전류에 의한 산란장의 합으로 주어진다. 따라서 $y \leq 0$ 인 영역을 영역 (1), $0 \leq y \leq h$ 인 영역을 영역 (2), 그리고 $h \leq y$ 인 영역을 영역 (3)이라 하면 입사파에 의한 각 영역에서의 전장은 다음과

같이 주어진다.

$$E_z^{(3)}(x, y) = e^{-ja_x x + j\beta_{n2} y} + A e^{-ja_x x - j\beta_{n2} y} \quad (2)$$

$$E_z^{(2)}(x, y) = e^{-ja_x x} (B e^{-j\beta_{n2} y} + C e^{j\beta_{n2} y}) \quad (3)$$

$$E_z^{(1)}(x, y) = D e^{-ja_x x + j\beta_{m1} y} \quad (4)$$

여기에서의 $\beta_{m1} = \sqrt{k_o^2 \epsilon_{r1} - \alpha_n^2}$, $\beta_{m2} = \sqrt{k_o^2 \epsilon_{r2} - \alpha_n^2}$, $\beta_{n2} = \sqrt{k_o^2 - \alpha_n^2}$ 이고, $\alpha_n = \alpha_o + 2n\pi/p$ 이며 각각의 상수는 다음과 같이 주어진다.

$$A = \frac{A'}{\beta_{n2} TE_e(0) + \beta_{r01} TE_o(0)} e^{2j\beta_{n2} h}$$

$$A' = (\beta_o - \beta_{r01}) \beta_{n2} \cos \beta_{n2} h + j(\beta_o \beta_{r01} - \beta_{r02}^2) \sin \beta_{n2} h$$

$$D = \frac{2\beta_o \beta_{r02}}{\beta_{n2} TE_e(0) + \beta_{r01} TE_o(0)} e^{j\beta_{n2} h}$$

$$C = \frac{1}{2} (1 + \beta_{r01} / \beta_{n2}) D$$

$$B = \frac{1}{2} (1 - \beta_{r01} / \beta_{n2}) D$$

$$TE_o(n) = \beta_{r02} \cos \beta_{r02} h + j\beta_{n2} \sin \beta_{r02} h$$

$$TE_e = \beta_n \cos \beta_{r02} h + j\beta_{r02} \sin \beta_{r02} h$$

비유전율이 영역 (1)에 위치한 주기적인 z방향의 선전류에 의한 전장은 다음과 같은 주기그린함수로 주어진다.

$$\phi^{(3)}(x, y; x', y') = A_n e^{-j\beta_n(y-h)} \quad (5)$$

$$\phi^{(2)}(x, y; x', y') = B_n e^{-j\beta_{n2}(y-h)} + C_n e^{j\beta_{n2}(y-h)} \quad (6)$$

$$\phi^{(1)}(x, y; x', y') = D_n e^{-j\beta_{m1} y} + E_n e^{j\beta_{m1} y}, \quad y \geq y' \quad (7)$$

$$\phi^{(1)}(x, y; x', y') = F_n e^{j\beta_{m1} y}, \quad y \leq y' \quad (8)$$

$$G_{zs}^{(i)}(x, y; x', y') = -\frac{jk_o \eta_o}{p} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \phi^{(i)}(x, y; x', y') \quad (9)$$

여기에서의 각 상수들은 다음과 같이 주어진다.

$$A_n = \frac{-j\beta_{r02} e^{j\beta_{m1} y'}}{\beta_{m1} TE_o(n) + \beta_{r02} TE_e(n)}$$

$$B_n = \frac{1}{2} \frac{-j(\beta_n + \beta_{r02}) e^{j\beta_{m1} y'}}{\beta_{m1} TE_o(n) + \beta_{r02} TE_e(n)}$$

$$C_n = \frac{1}{2} \frac{-j(\beta_{r02} - \beta_n) e^{j\beta_{m1} y'}}{\beta_{m1} TE_o(n) + \beta_{r02} TE_e(n)}$$

$$D_n = \frac{-j e^{j\beta_{m1} y'}}{2\beta_{m1}}$$

$$E_n = \frac{-j}{2\beta_{m1}} \frac{\beta_{m1} TE_o(n) - \beta_{r02} TE_e(n)}{\beta_{m1} TE_o(n) + \beta_{r02} TE_e(n)} e^{j\beta_{m1} y'}$$

$$F_n = D_n e^{-j\beta_{m1} y'} + E_n$$

따라서 유기전류에 의한 전장은 도체격자표면을 따라 적분함으로써 구할 수 있으며 도체표면에서 접선성분의 전장이 영이 된다는 경계조건을 부과하면 다음과 같은 연계적분방정식을 얻을 수 있다.

$$E_z^{(1)}(x, y) + \int_{\Gamma} G_{zs}^{(1)}(x, y; x', y') J_z(x', y') d\ell' = 0 \quad (10)$$

여기에서 Γ 는 도체격자표면을 따르는 적분경로를 의미하고 J_z 는 도체격자표면에서의 유기전류를 말한다.

적분방정식을 풀기 위하여 유기전류를 펄스기저함수로 가정하고 Galerkin 방법을 사용하여 테스트하면 다음과 같은 선형행렬방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{m=1}^M q_m Z_{km} = V_k \quad (11)$$

여기에서 q_m 은 유기전류의 크기이며, Z 행렬과 V 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$V_k = - \int_{\Gamma} E_z^{(1)}(x, y) d\ell \quad (12)$$

$$Z_{km} = \int_{\Gamma_1} \int_{\Gamma_m} G_{zs}^{(1)}(x, y; x', y') J_z(x', y') d\ell' d\ell \quad (13)$$

III. 수치해석 및 결과

본 논문에서는 유전체로 덮힌 임의 형태의 도체 격자에 TE 편파된 평면파가 입사할 때의 산란에 관하여 해석하였다.

그림. 2는 주기가 $1.2\pi/k_o$ 이고, 격자의 높이가 주기의 0.9배이며 $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$ 인 comb에 대하여 입사각도의 변화에 대한 상대전력을 도사한 것이다. 본 논문에서 제시한 해석 방법에 의한 결과를 산란행렬 방법을 이용한 기존의 결과와 비교하여 본 이론의 타당성을 검증하였다. 기존의 결과와 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림. 3은 본 논문에서 제시한 방법으로 유전체가 덮힌 사각격자(rectangular groove)의 격자의 주기의 변

화에 대한 상대전력을 수치해석한 결과이다. 격자의 파라미터는, 유전체 슬랩의 두께가 파장의 0.3배이고, 입사각도가 30° 이며 $\epsilon_{r1}=2.5$, $\epsilon_{r2}=1$ 이고, 격자의 높이와 개구는 각각 주기의 0.2배, 0.6배이다.

그림. 4는 삼각격자(triangular grating)의 경우이다. 격자의 파라미터는, 주기가 한 파장이고 유전체 슬랩의 두께가 파장의 0.2배이고, $\epsilon_{r1}=2.5$, $\epsilon_{r2}=3.5$ 이며, 두가지의 삼각격자에 대해 입사각도의 변화에 대한 상대전력을 구하였다. 삼각격자의 구조는 x축과 좌측변이 이루는 각 θ_1 과 x축과 우측변이 이루는 각 θ_2 에 의해 결정된다.

참고 문헌

[1] P. M. Van Den Berg, "Diffraction theory of a reflection grating," *Appl. Sci. Res.*, vol. 24, pp. 261-293, July, 1971

[2] D. Y. Tseng, "Guiding and Scattering of Electromagnetic fields by corrugated structure," *Ph. D. dissertation Polytechnic Institute of Brooklyn*, June 1967

[3] Y. K. Cho, U. H. Cho, and J. H. Ko, "TM-polarized electromagnetic scattering from a periodic strip array on a grounded dielectric," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 41-45, Jan. 1996

[4] S. D. Gedney and R. Mittra, "Analysis of the Electromagnetic Scattering by thick Grating Using a combined FEM/MM Solution," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, no. 11, pp. 1605-1614, Nov. 1991

[5] 이 철훈, 이 명순, 조 영기, "유전체로 덮힌 사각 Groove와 Comb격자의 해석" *마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 21, no. 2, pp. 385-388, 9월 1998

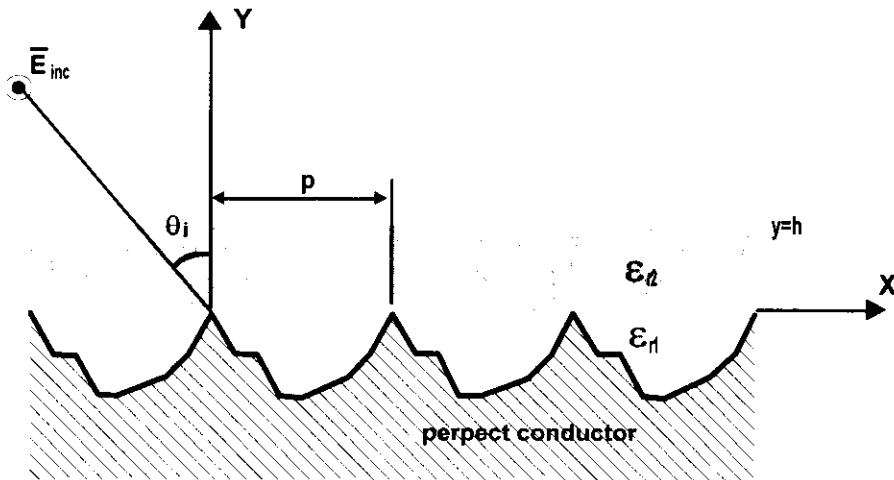


그림. 1 유전체로 덮힌 임의 형태의 주기적인 도체 격자의 좌표계

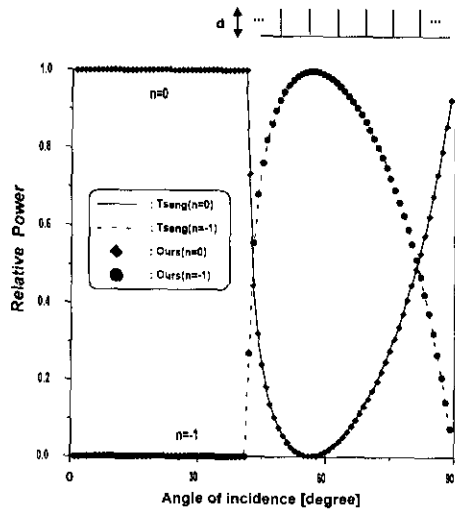


그림. 2 comb격자에서 입사각도의 변화에 대한 상대전력 ($p = 1.2\pi/k_0$, $d = 0.9p$, $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 1$)

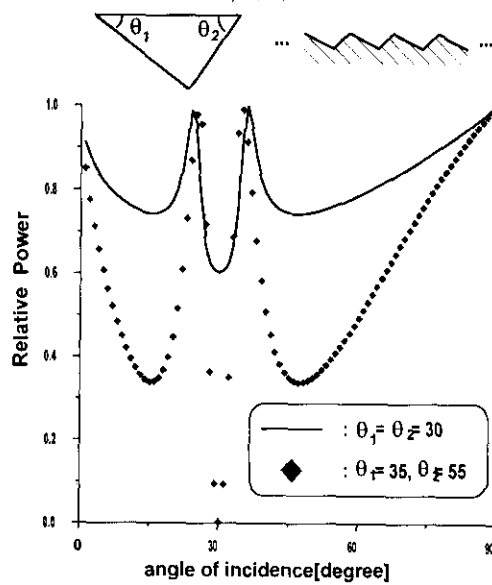


그림. 4 삼각격자에서 입사각도의 변화에 대한 상대전력 ($h = 0.2\lambda$, $\epsilon_{r1} = 2.5$, $\epsilon_{r2} = 3.5$, $p = \lambda$)

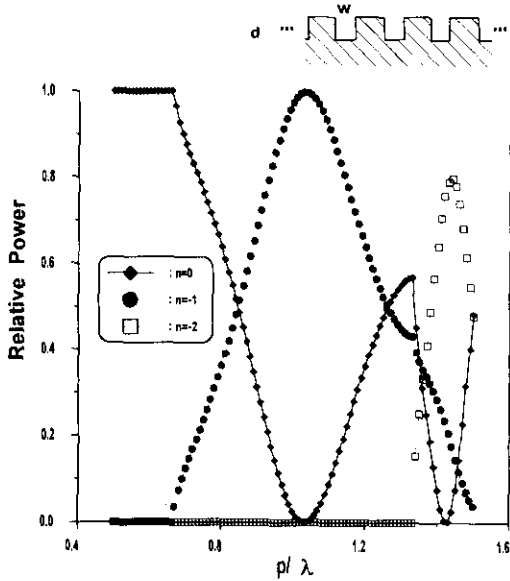


그림. 3 사각격자에서 주기의 변화에 따른 상대전력 ($h = 0.3\lambda$, $\theta_i = 30^\circ$ 이며 $\epsilon_{r1} = 2.5$, $\epsilon_{r2} = 1$, $d = 0.2p$, $w = 0.6p$)