

유한한 유전체 격자구조의 주파수 선택특성 분석을 위한 새로운 해석 방법

김민년*, 채규수*, 임중수*
 *백석대학교 정보통신학부
 e-mail: myki@bu.ac.kr

The New Method of Mode Analysis for frequency-selectivity of finite Periodic Dielectric Structure

Kim Min Nyun*, Gyoo-Soo Chae*, Joong-Soo Lim*
 *Division of Information & Communication Eng.,
 Baekseok University

요 약

본 논문은 유한한 유전체 격자구조의 정확한 주파수 선택 특성을 해석하고자 새로운 방법을 제시하였다. 기존의 오차, 근사화를 갖고 있는 해석방법과는 달리 유한한 구조에서 근사화가 전혀 없는 방법을 제시하였다. 유한한 격자구조의 유전체는 내부에 존재하는 필드 분포가 한정되어 있으며 구조 파라미터등에 따라 유한한 모드만이 생길 수 있어 입사되는 필드에 따른 생성 모드가 한정되어 있다. 본 논문은 이러한 방법을 이용하여 유전체 격자구조의 주파수 선택특성에 활용에 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

주파수 선택특성을 갖는 유전체 격자구조의 해석은 여러 가지가 있는 것으로 알려져 있다 [1]. 종래에 격자구조 해석은 무한한 구조를 가정하여 Floquet-Bloch 해석법, Coupled-Mode 해석법, Rigorous-coupled 해석법 등이 쓰이고 있었으며 이들의 방법은 각기 근사화나 혹은 오차를 포함하고 있다 [2][3]. 본 논문에서는 경계조건을 이용한 근사화 없는 방법을 이용하였다. 수평경계 조건방법은 유한 유전체 격자구조 내부에 수직으로 존재하는 유전체 경계에서 가능한 모드들을 경계조건을 이용하여 모두 구한 후 입사되는 필드와 수평경계조건 이용하여 구하는 방법이다.

유한한 유전체는 구조 파라미터의 특성으로 인하여 유한개의 수평방향 필드모드만이 존재하기 때문에 입사하는 필드의 파위는 모두 이들 모드들로 전달된다고 볼 수 있다. 이렇게 형성된 격자구조 내부의 필드

는 상단과 하단으로 방출하게 된다고 볼 수 있다.

2. 본 론

2.1 유전체 내부의 필드 분포

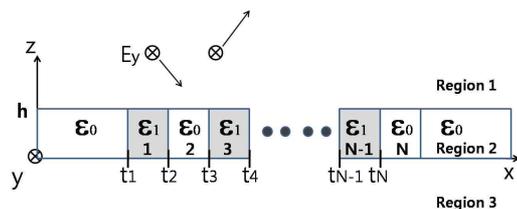


그림 1. 격자구조의 입사파와 반사파

그림 1은 N개의 격자가 일정한 주기성을 가진 유전체의 변화에 따라 형성되어 있는 경우이다.

입사되는 TE 모드의 전자기파를 가정하여 유한한 길이를 갖는 유전체 격자구조에서 내부에 형성되는 모드를 구하고자한다. 그림 1에서 입사되는 전자기파

는 격자구조 내부에 필드를 형성한다.

격자구조 내부에는 경계조건을 만족하는 필드분포를 형성한다. 각 경계에서 존재하는 필드 분포를 구하기 위해서는 우선 아래의 맥스웰 방정식을 풀어야한다.

$$\nabla^2 E(x,y,z) - k^2 E(x,y,z) = 0$$

여기서, E는 전계밀도이며 k는 전파상수이다. 이때 각 영역에서 필드는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$E(x,z) = E_{inc} e^{-j(k_z z - k_x x)} + R E_{inc} e^{j(k_z z + k_x x)}, \quad z \geq h \quad (1)$$

$$E(x,z) = E_{y_0} e^{-j(k_z z - k_{x_0}(x-t_1))}, \quad x \leq t_1, 0 \leq z < h \quad (2)$$

$$E(x,z) = A_n \cos(k_{x_n}(x-t_{n-1})) + B_n \sin(k_{x_n}(x-t_{n-1})) e^{-jk_z z}, \quad n = 1 \dots N, \quad t_1 < x \leq t_N, 0 \leq z < h \quad (3)$$

$$E(x,z) = E_{y_0} e^{-j(k_z z - k_{x_0}(x-t_N))}, \quad x \geq t_N, 0 \leq z < h \quad (4)$$

$$E(x,z) = E_{y_0} e^{j(k_z z + k_{x_0} x)}, \quad z \leq 0 \quad (5)$$

여기서 $k_{x_n} = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r_n}}$, $k_{x_0} = \omega \sqrt{\mu \epsilon_0}$, R은 반사율, ϵ_{r_n} 은 n 번째 유전율

위에 정의된 식(1) ~ 식(5)를 사용하여 경계조건을 h, t_1, t_2, \dots, t_N 에서 적용하여 계산하여야 한다. 좀 더 간편한 계산을 위해서는 격자부분의 필드 분포를 먼저 계산한다.

위에서 식(2) ~ 식(4)는 격자구조 내부에 존재하는 필드 분포를 가정한 것이다.

격자구조에 분포하는 필드 분포를 계산하기 위해 이 부분을 무한히 긴 다층 격자로 가정하여 그림 2의 구조로 해석한다.

그림 2의 다층 격자구조는 x축 방향으로 필드 분포를 각 경계의 경계조건을 이용하여 구할 수 있다. 수직면 경계인 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_N$ 에서의 연속조건을 사용하여 수평면으로 분포하는 필드를 구함으로써 존재할 수 있는 모드를 구했다.

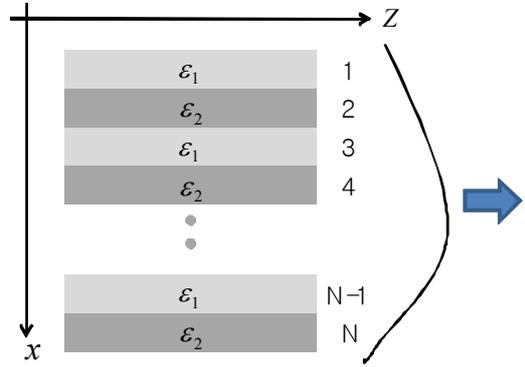


그림 2. 다층 격자구조

$$\begin{aligned} E_{y_0} e^{-jk_{x_0} t_1} &= A_1 \cos(k_{t_1} t_1) + B_1 \sin(k_{t_1} t_1) \\ -jk_{x_0} E_{y_0} e^{-jk_{x_0} t_1} &= -k_{t_1} A_1 \sin(k_{t_1} t_1) + k_{t_1} B_1 \cos(k_{t_1} t_1) \\ A_n \cos(k_{t_n} t_n) + B_n \sin(k_{t_n} t_n) &= \\ A_{n+1} \cos(k_{t_{n+1}} t_{n+1}) + B_{n+1} \sin(k_{t_{n+1}} t_{n+1}) &= \\ -k_{t_n} A_n \sin(k_{t_n} t_n) + k_{t_n} B_n \cos(k_{t_n} t_n) &= \\ -k_{t_{n+1}} A_{n+1} \sin(k_{t_{n+1}} t_{n+1}) + k_{t_{n+1}} B_{n+1} \cos(k_{t_{n+1}} t_{n+1}) &= \end{aligned} \quad n = 1 \dots N-1$$

$$\begin{aligned} A_N \cos(k_{t_N} t_N) + B_N \sin(k_{t_N} t_N) &= E_{y_0} e^{-jk_{x_0} t_N} \\ -k_{t_N} A_N \sin(k_{t_N} t_N) + k_{t_N} B_N \cos(k_{t_N} t_N) &= -jk_{x_0} E_{y_0} e^{-jk_{x_0} t_N} \end{aligned} \quad (6)$$

그림 3, 4는 식 (6)을 이용하여 격자층에서 각단의 필드의 크기 계수를 계산한 것이다. 각각 격자가 6개와 10개인 경우에 존재하는 모드들의 필드 분포를 나타낸 것이다.

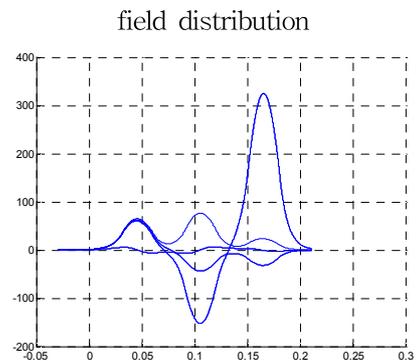


그림 3. 격자층에서 필드분포(N=6)

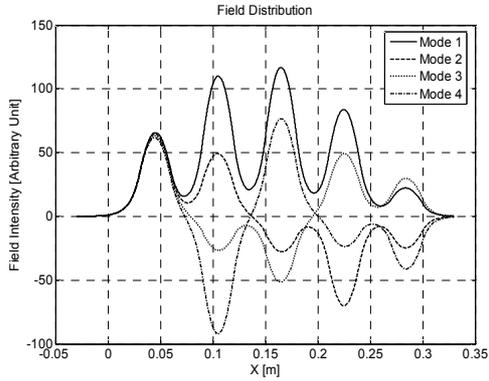


그림 4. 격자층에서의 필드 분포(N=10)

3. 결론

본 논문에서는 유전체 격자구조에서 입사되는 전자기파로 인해 생기는 모드들의 필드 분포를 근사화 없이 계산하였다. 유전체 구조의 유한한 길이로 인해 실제로 격자구조 내부에 존재하는 모드는 유한개가 존재하게 된다.

향후에 다양한 구조의 해석으로 발전시켜 주파수 선택 특성 연구에 도움이 되고자 한다.

참고문헌

- [1] Bertoni, H. L., et. al "Frequency-selective reflection and transmission by periodic dielectric layer," *IEEE Trans.*, vol. 37, no. 1, Jan. 1989.
- [2] M. G. Moharam and T. K. Gaylord, "Rigorous coupled-wave analysis of planar-grating diffraction," *J. Opt. Soc. Am.* 71, 811-818 1981
- [3] J. A. Kong "Electromagnetic-Wave Theory " McGraw-Hill