

유한한 유전체 격자구조에서 유효유전율에 관한 연구

김민년 채규수 임중수
백석대학교
myki@bu.ac.kr

A Study on Effective index of Finite Dielectric Periodic Structure

Kim, Min-nyun Chae, Gyoo-soo Lim, Joong-soo
University of Baekseok

요 약

본 논문에서는 유한한 유전체 격자구조에 수직으로 입사되는 전자파가 갖는 유효 굴절율을 구하고자 한다. 유전체 격자구조를 다층구조로 모델링하여 모드에 따른 전파상수를 계산하면 주어진 주파수에 따른 유효 굴절율을 계산할 수 있다. 다층구조에서 유효 굴절율을 계산을 응용하면 유전체 모양이나 구조에 따른 유효굴절율을 계산할 수 있으며 주파수 선택특성이나 도파관등에 진행모드 계산에 도움이 될 것으로 사료된다.

1. 서론

유전체 격자구조는 주파수 선택 특성 등을 이용하기 위하여 사용되고 있다[1][2].

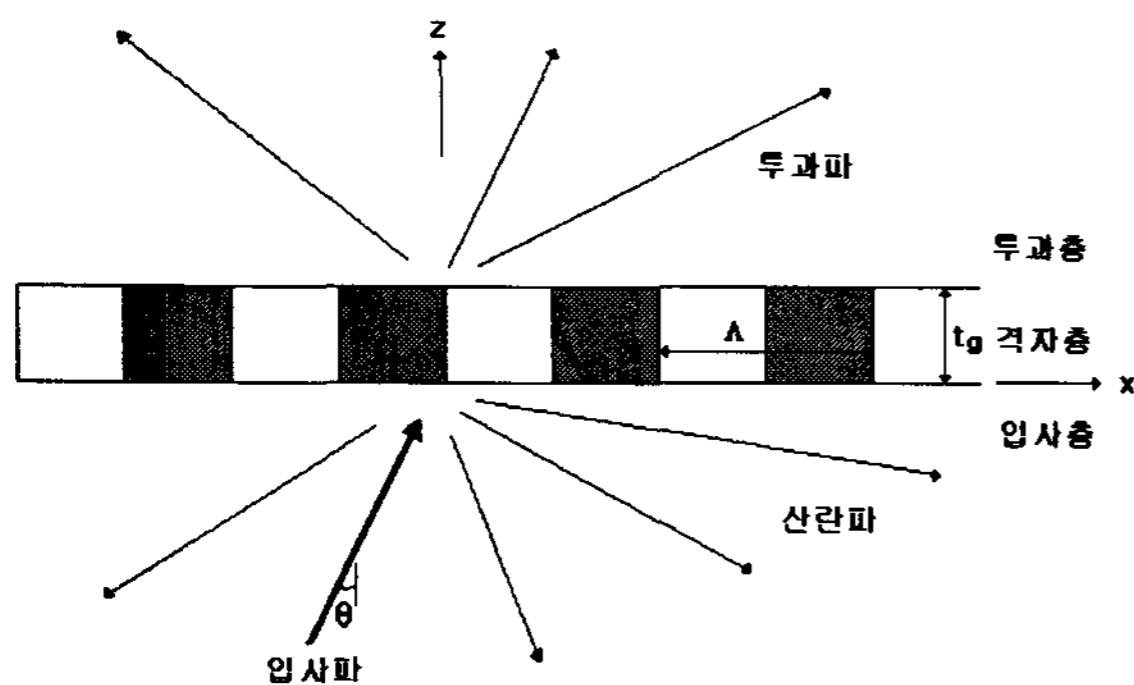


그림 1. 단일 격자 구조

위 그림 1에서 격자구조는 유전율 ϵ_1 과 ϵ_2 가 교대로 나타내는 구조를 나타내고 있다. 이때 TE모드를 갖는 입사파를 가정하면 입사파는 격자층에서 투과 또는 반사하게 된다. 투과파 또는 반사파는 격자층 내의 주기적으로 변하는 유전율에 따라 형성되는 데

이때 격자층은 일정한 유효유전율을 갖는 층으로 가정할 수 있으며 동시에 형성되는 필드 분포와 z-방향의 전파 상수를 구할 수 있다. 이때 유효유전율은 일반적으로 격자 층의 유전율의 평균값으로 가정하여 계산하게 된다[3]. 그러나 이러한 계산은 격자구조가 주파수 상관관계에 오차를 유발하게 된다. 즉, 입사파의 주파수에 따라 격자층의 유효유전율의 변화와 실제 제작된 유한한 구조가 갖는 오차를 고려할 수 없게 된다.

본 논문에서는 정확한 유효 유전율을 계산하기 위해서 격자층 내에 x-방향으로 존재하는 필드 모드를 계산하여 이를 이용해 z-방향의 전파상수를 유도하였다. 격자층의 x-방향의 분포는 다층구조로 볼 수 있으며 각 경계에서 \vec{E}_n, \vec{H}_t 의 경계조건을 만족하는 모드를 찾을 수 있다[4]. 이러한 모드는 반드시 z-방향에 유일한 전파상수를 갖는다. 여기서 구해진 전파상수는 전자파가 격자 층 내에서 갖는 것으로 유효유전율을 얻을 수 있다.

2. 본 론

아래 그림2는 유전체가 계층구조를 이루고 있는 경우를 나타내고 있다. 그림 1의 격자구조의 수직방향으로 볼 수 있으며 z-방향의 전파상수를 얻기 위해서는 x-방향으로 존재하는 E_y 필드의 분포를 경계조건을 이용하여 구할 수 있다.

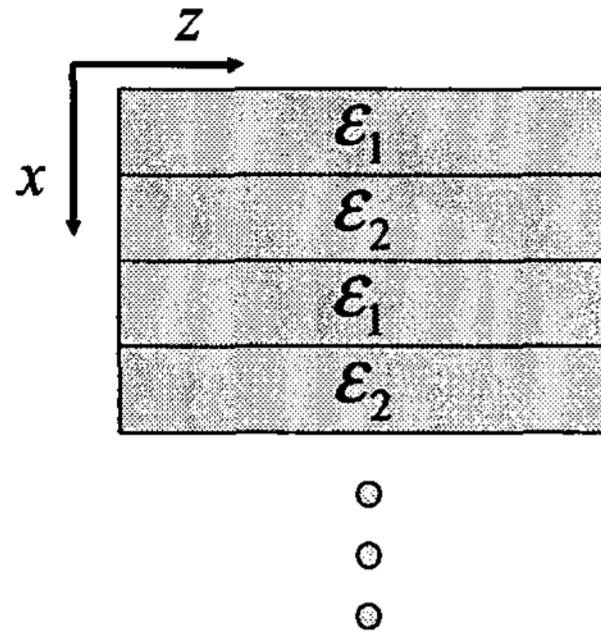


그림 2. 계층구조

계층을 2개만을 가정하여 각 영역에 존재하는 필드는 아래와 같이 수식을 가정할 수 있다.

$E(x) = E_0(z)\exp(-jk_x x)$ 상단공기층, 하단 공기층

$E(x) = A_1\cos(k_x x) + B_1\sin(k_x x)$ 첫번째 유전체

$E(x) = A_2\cos(k_x x) + B_2\sin(k_x x)$ 두번째 유전체[4]

각 계층간의 경계조건을 만족하는 계수와 전파상수를 구하면 전파상수간의 관계를 이용하여 z-방향의 전파상수 k_z 를 구할 수 있다.

$$k_z^2 = k^2\epsilon_{0,1,2} - k_x^2$$

아래그림은 2층 유전체 구조의 모드위치를 찾는 스펙트럼이다. 그림 3의 $k_x h$ 에서 k_x 는 x-방향의 전파상수이고 h는 첫 번째 층의 두께이다. 값이 가장 작아져 0근처로 가는 위치에서 경계조건을 만족하는 모드가 형성된다.

ϵ_1 은 1.44^2 이고 ϵ_2 는 2.56^2 이며 두께는 한 층이 2cm이며 전체 4 cm로 사용하였다. 사용된 주파수는 1.5GHz로 이때 k_z 는 약 62.345의 값을 갖으며 유효 굴절율은 약 1.9845로 나타났다.

그림 5,6은 주파수를 3 GHz로 달리 모의실험 한 결과로 이때 유효굴절율은 약 2.31에 해당하는 값을 얻을 수 있었다.

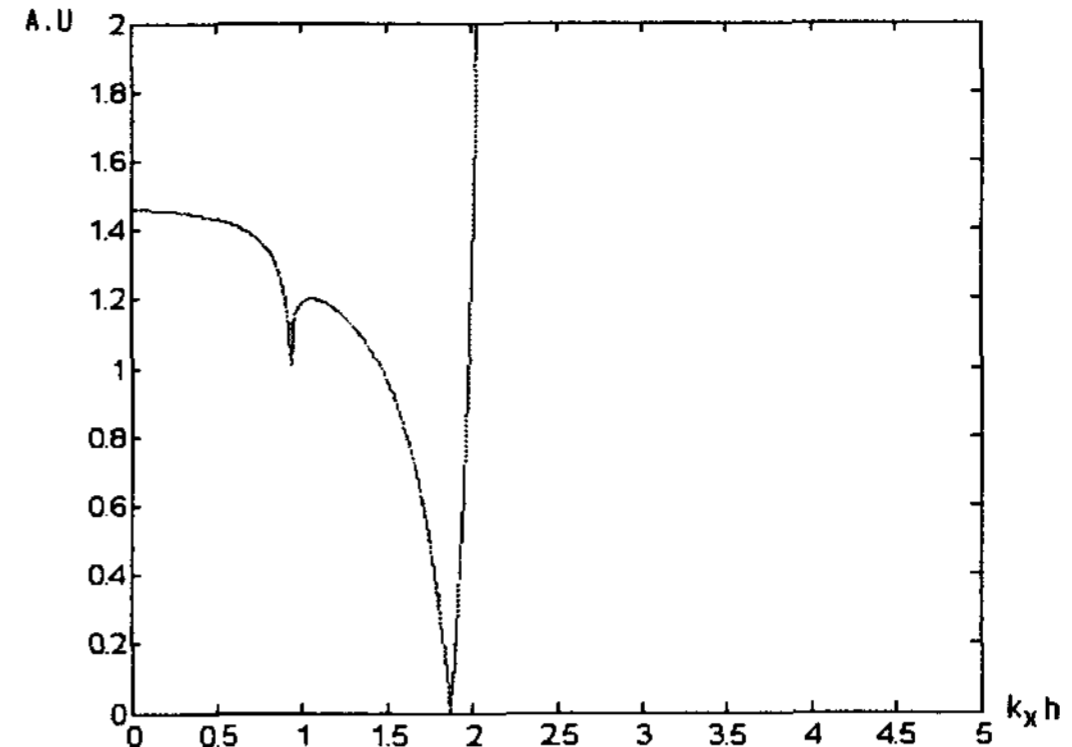


그림 3. 2층 유전체 구조의 모드(f=1.5GHz)

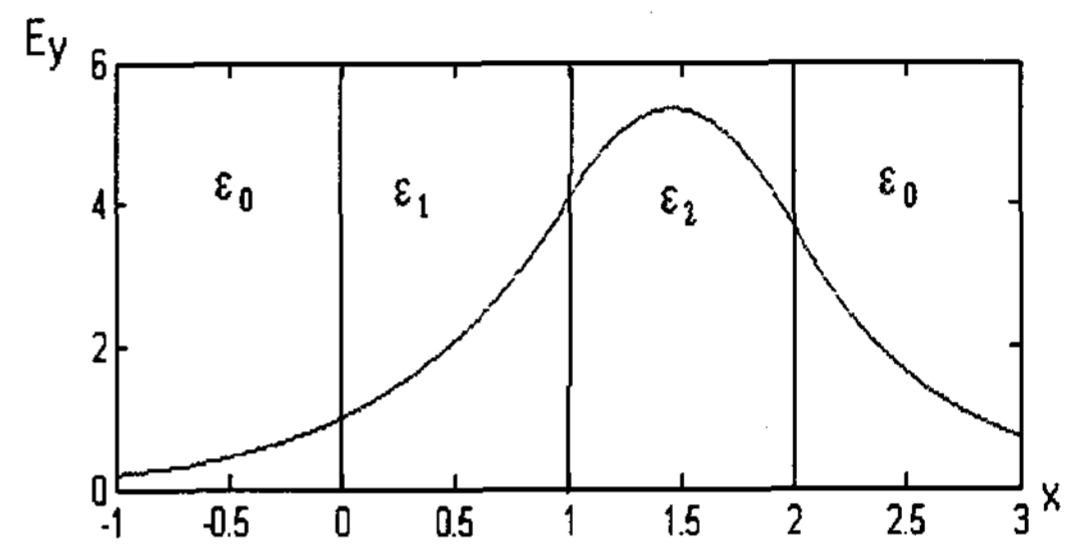


그림 4. 2층 구조에 형성된 필드분포(f=1.5GHz)

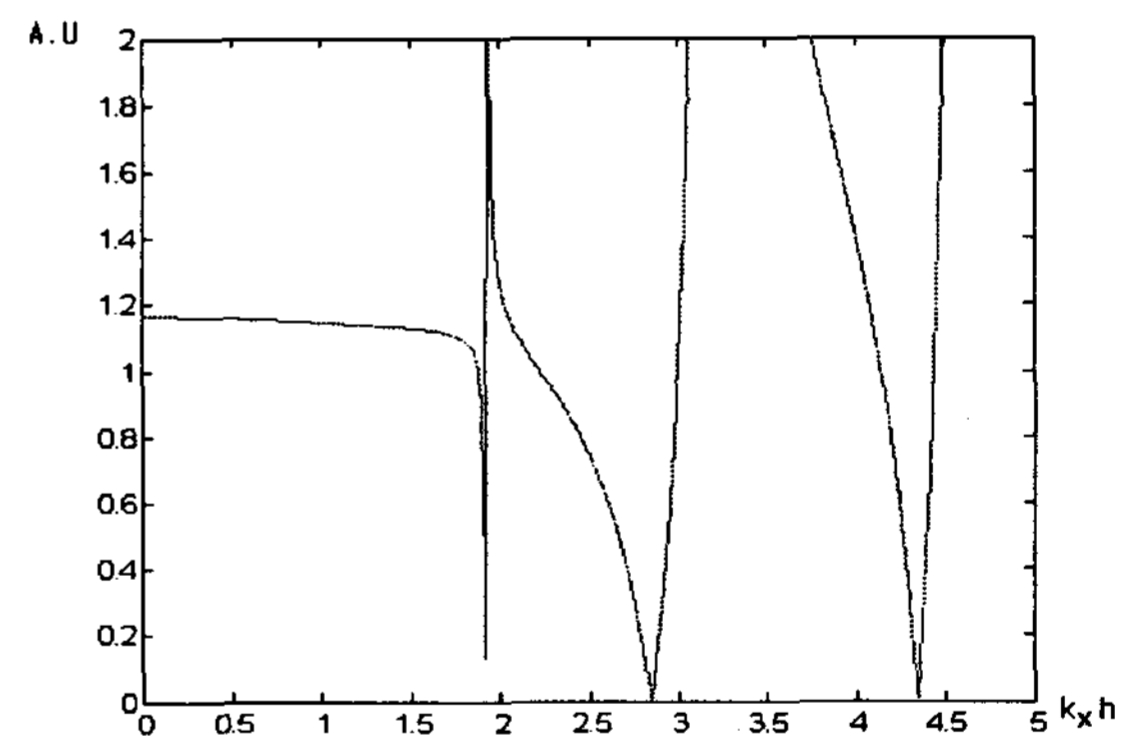


그림 5. 2층 구조에 형성된 필드분포(f=3GHz)

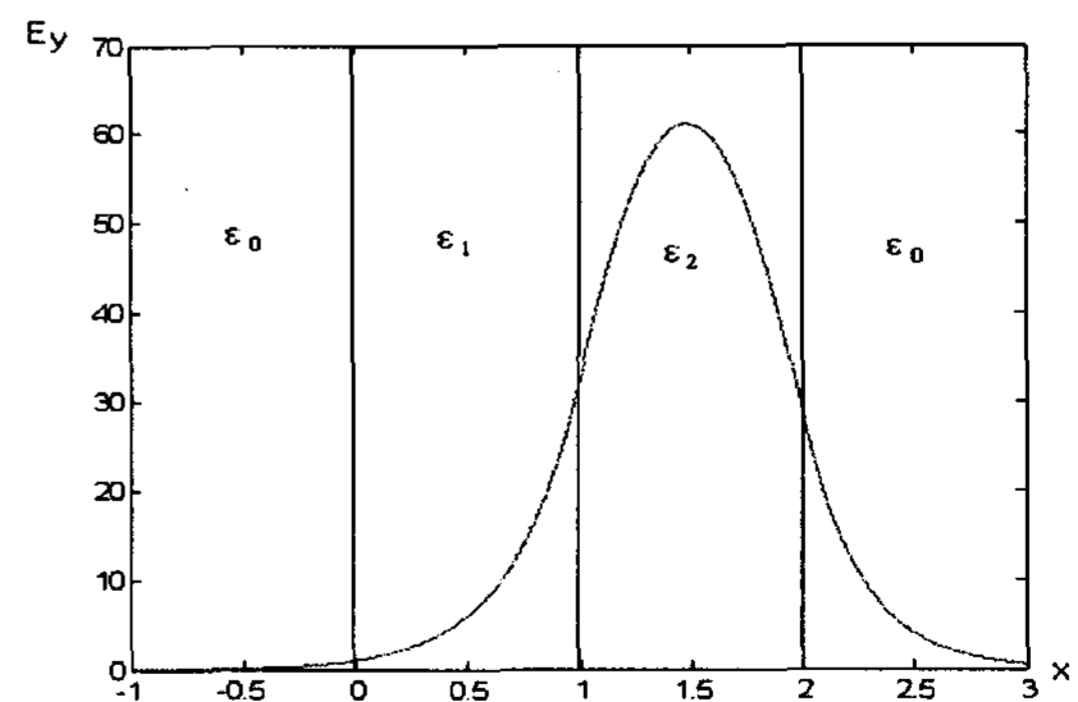


그림 6. 2층 구조에 형성된 필드분포(f=3GHz)

3. 결 론

지금까지 결과를 보면 격자구조는 그림1의 z-방향으로 입사되는 전자기파에 대하여 종전에 생각해오던 바와 같이 유전율의 평균값으로 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 유효굴절율을 구하는 토대되는 것은 전자기파가 z-방향에서 입사하더라도 그것이 $E_y(x)$ 필드를 갖고 있다면 기본 모드가 각단에서 경계조건을 만족하는 필드분포를 형성하기 때문이다. 이 연구는 현재 지속적으로 하고 있으며 4층이상의 구조에서도 같은 결과를 얻었다.

향후 마이크로 스트립이나 불규칙한 구조에서도 적용할 수 있도록 연구 중이며 실험을 통하여 증명할 계획이다.

참고문헌

- [1] H.L. Bertoni et dal, "Frequency-selective reflection and transmission by a periodic dielectric layer," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 37, pp.78-83, jan.1989
- [2] W.P. Pinello et dal, " Finite Element Modeling of Electromagnetic Wave Interactions with Periodic Dielectric Structures," *IEEE Trans. And Tech.*, vol. 42, No. 12, pp2294-2301, Dec.1994
- [3] R. E. Collin, "Reflection and transmission at a slotted dielectric interface," *Can. J. Pys.*, vol. 34 pp 398-411, 1956.
- [4] J. A. Kong, " Electromagnetic Wave Theory" Wiley 1986