

論文96-33A-10-11

# 접지된 유전체층 위의 스트립격자의 Off-Bragg blazing

## (Off-Bragg blazing of strip grating over a grounded dielectric slab)

李鍾益\*, 趙雄熙\*, 尹利虎\*, 洪在杓\*\*, 朴鎮澤\*\*\*,  
趙榮基\*, 孫鉉\*

(J. I. Lee, U. H. Cho, L. H. Yun, J. P. Hong, J. T. Park, Y. K. Cho,  
and H. Son)

### 요 약

접지된 유전체층 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 구조에서의 전자기 산란 문제를 TE 및 TM 편파에 대하여 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서 해석하였다. 모드 전개 방법, 플로켓 정리 및 모멘트 방법등을 이용하였다. 수치적 결과는 주기구조 파라미터에 따른 복소전파상수( $kd-\beta d$ 도), 복사패턴 및 스펙트럴 모드별 상대 산란전력 등으로 나타났다. 특히 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수와 반사격자관점에서 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing현상과의 연관성을 조사하였다.

### Abstract

A numerical method for scattering of electromagnetic waves from a periodic strip grating over a grounded dielectric slab is considered for TE and TM polarization cases from the viewpoints of both reflection grating problem and leaky wave antenna problem. The analysis is based on a mode expansion method, Floquet's theorem, and the method of moments. Numerical results involving some combinations of geometric parameters are presented in terms of complex propagation constant ( $kd-\beta d$  diagram), radiation pattern, and relative scattered powers of spectral modes. In particular, the relationship between complex propagation constant from the viewpoint of leaky wave antenna problem and Off-Bragg and Bragg blazing phenomena from the viewpoint of reflection grating problem is investigated.

### I. 서 론

접지된 유전체층 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있

\* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 正會員, 慶北産業大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Sanup Univ.)

\*\*\* 正會員, 昌信專門大學 電子通信科

(Chang-Shin College)

※ 본 논문은 1995년 학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음. (과제번호: 01E-0024)

接受日字: 1996年7月9日, 수정완료일: 1996年9月9日

는 구조에 대해 많은 연구<sup>1-8)</sup>가 수행되고 있는데 반사격자(reflection grating) 관점과 누설파안테나(leaky wave antenna) 관점에서 두 가지의 서로 다른 문제로서 해석되어 왔다. 반사격자 관점에서 보면 지금까지 일반적으로 사용되고 있는 구형격자 구조(corrugation)에 대하여는 상당히 정확한 해석이 되어 있으나 제작, 설치 및 비용 면에서 많은 단점이 있어 이러한 단점이 없고 전자기적 특성도 다양한 접지된 유전체층 위에 주기적으로 배열된 스트립격자 구조와의 특성비교 및 대체에 대한 연구가 수행중<sup>1-3)</sup>이며, 본 연구에서 다루어지는 구조는 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing을 이용한 (de)multiplexer, twist

reflector antenna, frequency scanner 등의 다양한 용도로 활용이 가능하다. 누설파안테나 관점에서 보면 스트립폭, 주기, 유전율 및 유전체의 높이 등의 변화에 따라 다양한 복사패턴을 얻을 수 있고, 특히 주파수의 변화에 따라 빔주사(frequency scanning) 특성을 갖고 있다<sup>[4-7]</sup>. 그러나 기존의 연구결과들은 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서 서로 다른 문제로서 해석되어 왔으나 두 가지 관점의 연관성에 대한 연구결과가 최근에 발표되었다<sup>[1,2]</sup>. 본 논문에서 다루어지는 구조가 두 가지 관점에서 서로 다르게 해석되고 있는 이유는 다음과 같다. 누설파안테나 관점에서 보면 누설 모드가 하나인 영역에서만 전술한 안테나 특성이 얻어지고, 반사격자 관점에서 보면 주기구조가 갖는 주기에 의해 전파되는 공간조화모드의 수가 결정되며 전파 모드가 2개인 영역에서 적합한 산란특성(Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing)을 유전체의 높이를 적절히 조절하여 얻을 수 있으므로 서로 연관성이 없는 별개의 문제로 해석되어 왔다.

본 논문에서는 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수 (Complex propagation constants)를 이용하여 구한  $kd-\beta d$  및  $kd-ad$ 도(Brillouin diagram)로부터 누설모드가 2개인 영역에서 반사격자관점에서의 물리현상인 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing 현상을 확인하였으며, 본 연구에서 제시한 방법은 임의의 주기구조에 대해 적용이 가능하며 (de)multiplexer, twist reflector antenna 및 Frequency scannable antenna 설계시 활용이 가능하다.

## II. 본 론

반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서 TE 및 TM 편파로 분리하여 수식을 유도하였는데, 각각의 경우에 대해 스트립은 완전도체이고 두께는 무시할 만큼 얇으며 전자장은 도파관 외부의 반무한 영역과 도파관 내부영역으로 분리하여 기술하였으며 시간조화함수는  $e^{j\omega t}$ 로 생략하였다.

### 1. TE 편파

#### 1) 반사격자관점

접지된 유전체층 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 구조에 TE 편파가 입사되는 경우를 그림 1에 도시하였다. 도파관의 내부는 손실이 없는 유전체로 채워져 있고 유전율은  $\epsilon_0\epsilon_r$ , 투자율은  $\mu_0$ 이다. 도파관의 높이

는  $h$ 이고 주기는  $d$ 이며 스트립의 폭은  $a$ 이고 스트립은  $x$ 축과 평행하게 놓여 있다.

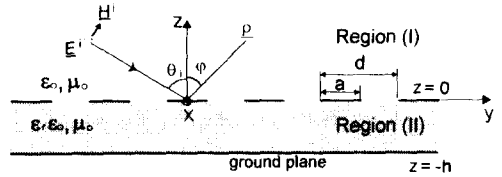


그림 1. 접지된 유전체슬랩 위의 주기적인 스트립격자에 TE 편파된 평면파가 임의의 각으로 입사되는 구조

Fig. 1. Geometry of TE polarized plane wave with oblique incidence on the strip grating over a grounded dielectric slab.

입사파는

$$E^i = x_0 E_0 e^{-j\beta y} e^{j\gamma_0 z} \quad (1)$$

$$H^i = -y_0 \frac{\gamma_0}{\omega \mu_0} E_0 e^{-j\beta y} e^{j\gamma_0 z} - z_0 \frac{\beta_0}{\omega \mu_0} E_0 e^{-j\beta y} e^{j\gamma_0 z} \quad (2)$$

와 같이 표현되고, 여기에서  $\beta_0 = k_0 \sin \theta_i$ ,  $\gamma_0 = k_0 \cos \theta_i$ ,  $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ 이다.

각 영역에서 스트립상의 유기전류(induced current)에 의한 산란전자장은 공간조화함수(space harmonics)의 선형적인 합으로 표현될 수 있고, 두 영역에서 자체의 불연속으로 인하여 스트립상에 유기되는 전류는 Chebyshev 다항식의 급수와 가장자리조건(edge condition)을 만족하는 함수의 곱의 합 형태로 표현<sup>[1,2]</sup>될 수 있다. 슬롯, 스트립 및 접지면에서의 접선성분 전자계의 경계조건을 부과하고 Galerkin 방법으로 testing<sup>[1,2]</sup>하면

$$\sum_{r=0}^{\infty} f_r Z_{i\ell} = E_i, \quad i=0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

로 표현되는 행렬방정식을 얻을 수 있고, 여기에서  $f_r$ 은 미지계수이고

$$Z_{i\ell} = -\frac{2k_0 \eta_0}{(1+R)\pi da} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{H^*_r \eta_n H_{in}}{j\gamma_{n2} \cot \gamma_{n2} h - \gamma_{n1}}$$

$$E_i = \begin{cases} E_0, & i=0 \\ 0, & i \neq 0 \end{cases}$$

$$R = \frac{j\cos\theta \sin(\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} k_0 h) - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} \cos(\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} k_0 h)}{j\cos\theta \sin(\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} k_0 h) + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} \cos(\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta} k_0 h)}$$

$$\beta_n = \beta_0 + 2n\pi/d, \quad \gamma_{n1} = \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2}, \quad \gamma_{n2} = \sqrt{\epsilon_r k_0^2 - \beta_n^2}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$$

이며,  $H_{\ell n}$ 에 대한 표현식은 참고문헌<sup>[1,2]</sup>에 상세히 언급되어 있다.

2) 누설파안테나 관점<sup>[6,7]</sup>

반사격자 관점에서 유도한 수식을 누설파안테나 관점의 수식으로 변환하기 위해서 입사전계항을 제거하고 ( $E_0=0$ )  $y$ 방향 전파상수  $\beta_0$ 를 복소전파상수 ( $\beta - ja$ )로 대치하여 정리하면 식 (3)은 다음 식과 같이 된다.

$$\sum_{\ell=0}^{\infty} f_{\ell} z_{i\ell} = 0 \tag{4}$$

여기에서

$$z_{i\ell} = \frac{2k_0 \eta_0}{\pi d a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{H_{\ell n}^* H_{in}}{j\gamma_{n2} \cot \gamma_{n2} h - \gamma_{n1}}$$

이고,

$$\gamma_{n1} = \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2}, \gamma_{n2} = \sqrt{\epsilon_n k_0^2 - \beta_n^2}, \beta_n = \beta + \frac{2n\pi}{d} - ja \text{이다.}$$

반무한영역에서 원거리 전계의 복사패턴은 식 (4)의 해로부터 계산된 슬롯에서의 전계에 등가원리를 적용하여 다음 식과 같이 근사화되며

$$E_x^{\ell} \approx \cos \varphi \left( k_0 + \frac{1}{2\rho} \right) \sqrt{\frac{2}{\pi k_0 \rho j}} e^{-jk_0 \rho} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{-j\frac{k_{yn} d}{2}} \frac{\sin(k_{yn} b/2)}{k_{yn}} \frac{1 - e^{-jk_{yn} N d}}{1 - e^{-jk_{yn} d}} \tag{5}$$

여기에서  $\rho = \sqrt{z^2 + y^2}$ ,  $k_{yn} = \beta_n - k_0 \sin \varphi$ ,  $b = d - a$ 이며  $N$ 은 총주기의 수로서 감쇠상수  $\alpha$ 를 고려하여 충분히 크게 하여야 한다.

2. TM 편파<sup>[11]</sup>

1) 반사격자관점

TM 편파가 입사되는 경우를 그림 2에 도시하였으며 슬롯폭을  $a$ 로 바꾸고 나머지는 TE 경우와 동일하게 하였다. 입사파는

$$\underline{H}^i = x_0 H_0 e^{-j\beta_0 y} e^{j\gamma_0 z}, \tag{6}$$

$$\underline{E}^i = \frac{y_0}{\omega \epsilon_0} \gamma_0 H_0 e^{-j\beta_0 y} e^{j\gamma_0 z} + z_0 \frac{\beta_0}{\omega \epsilon_0} H_0 e^{-j\beta_0 y} e^{j\gamma_0 z}, \tag{7}$$

이고 전술된 TE편파의 경우에서의 동일한 과정을 거치면

$$\sum_{\ell=0}^{\infty} f_{\ell} Y_{i\ell} = I_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots \tag{8}$$

로 표현되는 행렬방정식을 얻을 수 있고, 여기에서

$$Y_{i\ell} = -\frac{k_0 \epsilon_r}{\eta_0 d} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( \frac{\cot \gamma_{n2} h}{j\gamma_{n2}} + \frac{1}{\epsilon_r} \frac{1}{\gamma_{n1}} \right) H_{\ell n}^* H_{in},$$

$$I_i = \begin{cases} H_0 \pi a, & i = 0 \\ 0, & i \neq 0 \end{cases}$$

이다.

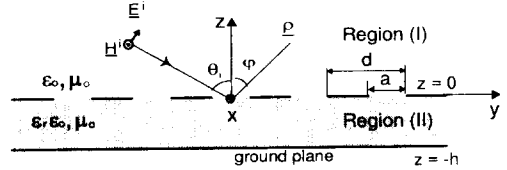


그림 2. 접지된 유전체슬랩 위의 주기적인 스트립격자에 TM 편파된 평면파가 임의의 각으로 입사되는 구조

Fig. 2. Geometry of TM polarized plane wave with oblique incidence on the strip grating over a grounded dielectric slab.

2) 누설파안테나 관점

반사격자 관점에서 구한 수식을 누설파안테나 관점에서의 수식으로 변환하기 위해서는 입사전계를 제거 ( $H_0=0$ )하고  $y$ 방향 전파상수  $\beta_0$ 를 복소전파상수 ( $\beta - ja$ )로 대치하여 정리하면 식 (8)은

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} f_{\ell} Y_{i\ell} = 0, \quad i = 0, 1, 2, \dots \tag{9}$$

로 표현되는 행렬방정식이 되며, 여기에서

$$Y_{i\ell} = -\frac{k_0 \epsilon_r}{\eta_0 d} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( \frac{\cot \gamma_{n2} h}{j\gamma_{n2}} + \frac{1}{\epsilon_r} \frac{1}{\gamma_{n1}} \right) H_{\ell n}^* H_{in}$$

이다.

반무한평면에서의 원거리 자계의 복사패턴은 식 (9)의 해로부터 계산된 슬롯에서의 전계에 등가원리를 적용하여 다음 식과 같이 근사화되며

$$H_x^{(\ell)} \approx \sqrt{\frac{2j}{\pi k_0 \rho}} e^{-jk_0 \rho} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \gamma_{n1} \frac{\sin(k_{yn} \frac{a}{2})}{k_{yn}} \cdot \frac{1 - e^{-jk_{yn} N d}}{1 - e^{-jk_{yn} d}} \tag{10}$$

여기에서  $N$ 은 총 슬릿수로서 감쇠상수  $\alpha$ 를 고려하여 충분히 크게 하여야 한다.

III. 수치해석결과

접지된 유전체층 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있

는 구조에 대해 TE 및 TM 편파의 경우로 나누어 각 영역에서 전자계를 공간조화함수의 선형적인 합으로 표현한 후 각 영역에서 전자계의 연속조건과 경계조건을 부과하여 선형행렬방정식을 유도하였고 수치해석방법을 이용하여 주기구조의 파라미터(유전체 두께, 스트립폭, 주기 등)의 변화에 따른 누설파안테나 관점에서의 복소전파상수 및 반사격자 관점에서의 산란특성을 조사하였다.

그림 3(a)는 반사격자 관점에서 전파모드에 대한 산란각의 정의이며 그림 3(b)는 누설파안테나 관점에서 정의되는 누설모드별 복사각이다. 반사격자 관점에서  $n=-1$ 인 모드의 산란각은  $\theta_{-1} = \sin^{-1}((k_0 \sin \theta_i - \frac{2\pi}{d})/k_0)$ 이며 누설파안테나 관점에서  $n'=-1$ 인 누설모드의 복사각은  $\theta'_{-1} = \sin^{-1}((\beta - \frac{2\pi}{d})/k_0)$ 이다. 또한 반사격자 관점에서  $n=0$  (specular mode)와  $n=-1$ 인 모드의 산란각 간에는  $\sin \theta_0 - \sin \theta_{-1} = \lambda/d$ 의 관계가 있고, 누설파안테나 관점에서  $n'=0$  와  $n'=-1$ 인 누설모드의 복사각 간에는  $\sin \theta_0 - \sin \theta'_{-1} = \lambda/d$ 의 관계가 있다. 도파방향을 반대방향으로 선택할 수 있으므로 산란각과 복사각간의 연관성을 조사하기 위하여는 복사각이 양의 값을 갖도록 선택하여야 한다.

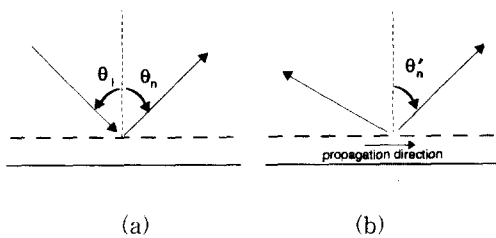


그림 3. 반사격자 관점에서의 산란각과 누설파안테나 관점에서의 복사각

Fig. 3. Scattered angle from the viewpoint of reflection grating problem and radiated angle from the viewpoint of leaky wave antenna problem.

반사격자 관점에서 나타나는 물리현상인 blazing은 입사파전력이 반사파( $n=0$  또는 specular mode)의 전력으로 변환되지 않고 고차모드(spectral mode 또는 space harmonics)로 변환되는 현상을 의미하며 Bragg-blazing은 입사각과 고차모드의 산란각이 동일한 경우(그림 4(a))이며 Off-Bragg blazing현상은 입사각과 고차모드의 산란각이 상이한 경우(그림 4(b))이다. 본 논문에서는 반사격자관점에서 전파모드가 2개인

영역에 대하여만 조사하였으므로 고차모드는  $n=-1$ 인 모드이다.

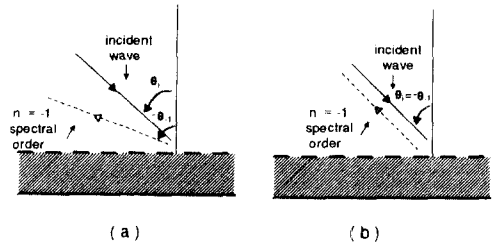


그림 4. Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing 현상  
Fig. 4. Physical situation which occurs Off-Bragg blazing and Bragg blazing.

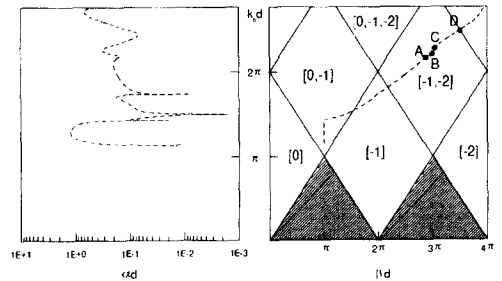


그림 5. 주기적인 스트립격자가 접지된 유전체슬랩 윗면에 위치한 경우에 대한  $kd-\beta d$  및  $kd-ad$  도표 (TE 경우)

Fig. 5.  $kd-\beta d$  and  $kd-ad$  diagrams for the periodic strip array over the grounded dielectric slab(TE case). ( $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

그림 5는 TE 편파인 경우에 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수에 주기를 곱하여 나타낸  $kd-\beta d$  및  $kd-ad$ 도표이며 이 때 주기구조의 파라미터는 각각  $\epsilon_r=2.57$ ,  $a/d=0.434$  및  $h/d=0.467$ 이다. 표면파(surface wave)구조로 사용하고자 할 경우에는 빗금친 삼각형 내부(slow wave region)에 근이 존재하여야 하며 누설파안테나구조로 사용하고자 하면 삼각형 외부(forbidden region)에 근이 존재하여야 한다. 그림에서 괄호 안의 숫자는 누설파안테나구조에서 근의 위치에 따라 누설되는 모드를 나타내며  $[-1,-2]$ 인 경우를 예로 들면  $n'=-1$ 과  $n'=-2$ 인 모드가 누설되는 것을 의미한다.  $\beta d < \pi$ 인 영역(즉  $k_0 \sqrt{\epsilon_r} h < \pi$ )에서는  $TE_{10}$  모드가 차단(cutoff)되므로 복소전파상수가 의미가 없으며,  $\beta d = \pi$ 에서 불연속적인 대역이 존재

하는데 이 대역에서는 도파관 내부에서  $n'=0$ 인 모드와  $n'=-1$ 인 모드간에 결합되는 영역(coupling region)으로 슬롯이 없는 도파관에서 금지대역(stopband)과 유사<sup>14)</sup>하다. 본 논문에서는 누설파안테나 관점에서 누설모드가  $[-1, 2]$ 인 영역에서 반사격자관점에서의 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing현상을 확인하였다.

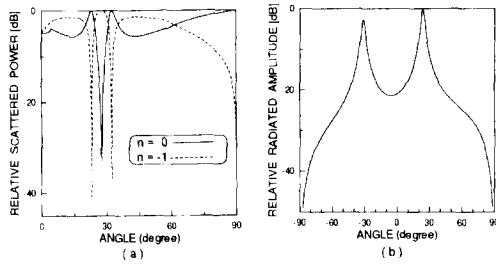


그림 6. 전파모드별 산란과 전력과 복사패턴(Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=29.85\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ .)

(a)  $n=0$  및  $n=-1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
(b) 누설파 안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 6. Relative scattered power and radiation pattern(Bragg blazing). (Freq.=10.84GHz,  $d=29.85\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
(b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

그림 6은 주파수가 10.84GHz, 주기  $d=29.85\text{mm}$ ,  $\epsilon_r=2.57$ ,  $a/d=0.434$  및  $h/d=0.467$ 인 경우(그림 5의 A점)에 대해 반사격자관점에서의 산란특성과 누설파안테나 관점에서의 복사패턴으로서 그림 6(a)는 반사격자관점에서 확인된 Bragg blazing인데 Bragg각은  $\theta_B = \sin^{-1} \lambda/2d = 27.62^\circ$ 이며 평면파가  $\theta_i = 27.62^\circ$ 로 입사할 경우 산란각은  $\theta_{-1} = -27.62^\circ$ 가 되고 입사된 경로로 되돌아 가게 되며 그림 6(b)는 누설파안테나 관점에서의 복사패턴으로  $n'=-1$ 인 누설모드의 복사각도는  $\theta'_{-1} = 23.66^\circ$ 이며  $n'=-2$ 인 모드의 복사각도는  $\theta'_{-2} = -31.74^\circ$ 로 두 누설모드의 복사각도 사이에서 Bragg blazing이 일어난다.

그림 7은 주기를 제외한 나머지 파라미터들은 그림 6과 동일하고 주기  $d=30.6\text{mm}$ 인 경우(그림 5의 B점)이며 그림 7(a)의 산란특성은 Off-Bragg blazing 현상으로서 평면파가  $\theta_i = 16.75^\circ$ 로 입사할 경우

$\theta_{-1} = -38^\circ$ 로 산란되며, 역으로  $\theta_i = 38^\circ$ 일 경우는  $\theta_{-1} = -16.75^\circ$ 가 된다. 그림 7(b)의 복사패턴은  $\beta d = 3\pi$ 인 경우로서 두 누설모드의 복사각도의 크기는 같고 서로 반대방향으로 누설되며  $n'=-1$ 인 누설모드의 복사각도는  $\theta'_{-1} = 26.88^\circ$ 이고  $n'=-2$ 인 누설모드의 복사각도는  $\theta'_{-2} = -26.88^\circ$ 로 두 blazing 각도 사이에 누설모드의 복사각이 있다. 그림 8은 주파수는 동일하고 주기  $d=31.35\text{mm}$ 인 경우(그림 5의 C점)에 대한 반사격자관점에서의 산란특성과 누설파안테나 관점에서의 복사패턴으로서 그림 8(a)에서는 Off-Bragg blazing현상의 두 blazing각이 각각  $16.3^\circ$ 와  $37.72^\circ$ 이며, 그림 8(b)의 복사패턴에서 두 개의 누설각은  $n'=1$ 인 누설모드의 복사각도  $\theta'_{-1} = 27.9^\circ$ 와  $n'=-2$ 인 누설모드의 복사각도  $\theta'_{-2} = -24.51^\circ$ 로 두 blazing 각 사이에 두 누설모드의 복사각이 있다. 그림 9는 주기  $d=34.4\text{mm}$ 인 경우(그림 5의 D점)에 대한 것으로서 그림 9(a)는 Off-Bragg blazing현상을 보여 주며 두 blazing각이 각각  $11.75^\circ$ 와  $36.93^\circ$ 이고, 그림 9(b)는 복사패턴인데 두 개의 누설각은  $n'=-1$ 인 누설모드의 복사각도  $\theta'_{-1} = 37.29^\circ$ 와  $n'=-2$ 인 누설모드의 복사각도  $\theta'_{-2} = -11.46^\circ$ 로 두 누설모드의 복사각도 사이에 두 blazing각이 있다.

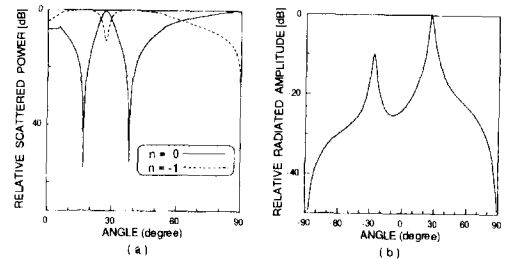


그림 7. 전파모드별 산란파전력과 복사패턴(Off-Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=30.6\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a)  $n=0$  및  $n=-1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
(b) 누설파 안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 7. Relative scattered power and radiation pattern(Off-Bragg blazing). (Freq.=10.84GHz,  $d=30.6\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
(b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

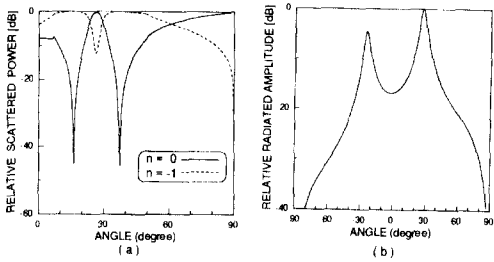


그림 8. 전파모드별 산란파전력과 복사패턴(Off-Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=31.35\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a)  $n=0$  및  $n=1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
(b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 8. Relative scattered power and radiation pattern(Off-Bragg blazing). (Freq.=10.84 GHz,  $d=31.35\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
(b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

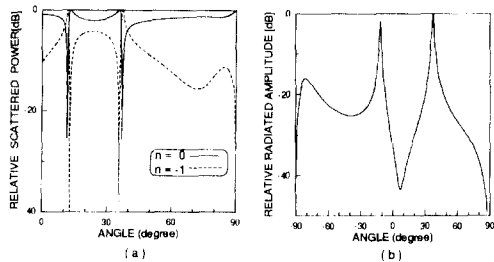


그림 9. 전파모드별 산란파 전력과 복사패턴(Off-Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=34.4\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a)  $n=0$  및  $n=-1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
(b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 9. Relative scattered power and radiation pattern(Off-Bragg blazing). (Freq.=10.84 GHz,  $d=34.4\text{mm}$ ,  $a=0.434d$ ,  $h=0.467d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )

(a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
(b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

이상의 경우들을 종합해 보면 TE 편파의 경우에 누설파안테나 관점에서 누설모드가  $[-1, -2]$  인 영역에서 관찰되는 blazing현상은 그림 10과 같이 정리할 수 있으며 주기구조의 파라미터를 변화하면 그림 10 (c) 와 (d)의 특별한 경우인  $\theta_1 = -\theta_{-2}$ ,  $-\theta_{-1} = \theta_{-1}$  인 경우, 즉 누설모드의 누설각과 Off-Bragg각이 일치되

는 경우도 확인할 수 있다.

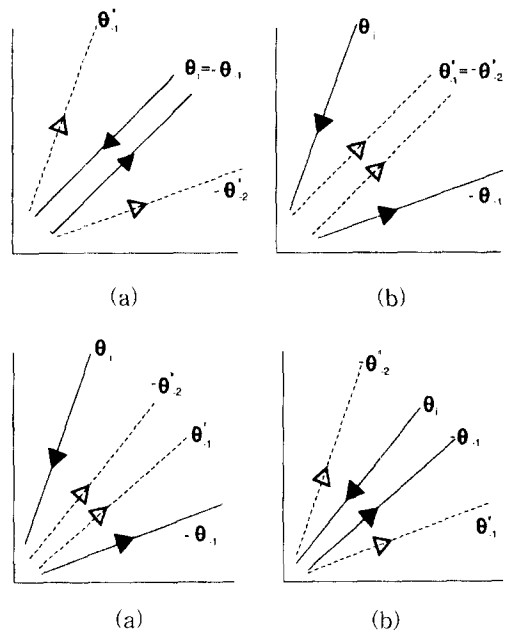


그림 10.  $[-1, 2]$  모드가 누설될 경우의 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing

Fig. 10. Off-Bragg blazing and Bragg blazing in the case of  $n'=-1$  and  $n'=-2$  modes are radiated from the viewpoint of leaky wave antenna problem.

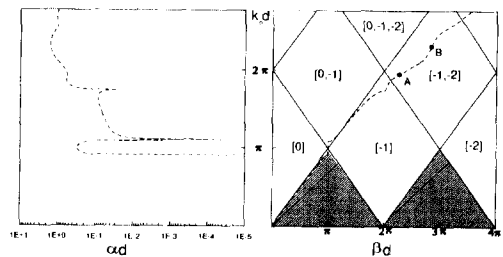


그림 11. 주기적인 스트립격자가 접지된 유전체슬랩 윗면에 위치한 경우에 대한  $kd-\beta d$  및  $kd-ad$  도표(TM 경우)

Fig. 11.  $kd-\beta d$  and  $kd-ad$  diagrams for the periodic strip array over the grounded dielectric slab(TM case). ( $a=0.5d$ ,  $h=0.1d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ .)

그림 11은 TM 편파의 경우에 대해 주기구조 파라미터가 각각  $\epsilon_r=2.57$ ,  $a/d=0.5$  및  $h/d=0.1$ 일 때 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수인테 TE 편파의 경우와 마찬가지로  $\beta d = \pi$ 에서 결합영역(coupling region)이 존재한다.

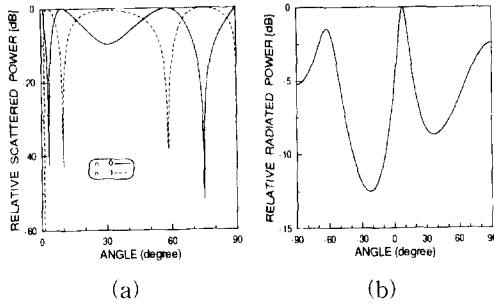


그림 12. 전파모드별 산란과 전력과 복사패턴 (Off-Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=27\text{mm}$ ,  $a=0.5d$ ,  $h=0.1d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )  
 (a)  $n=0$  및  $n=-1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
 (b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 12. Relative scattered power and radiation pattern(Off-Bragg blazing). (Freq.=10.84 GHz,  $d=27\text{mm}$ ,  $a=0.5d$ ,  $h=0.1d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )  
 (a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
 (b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

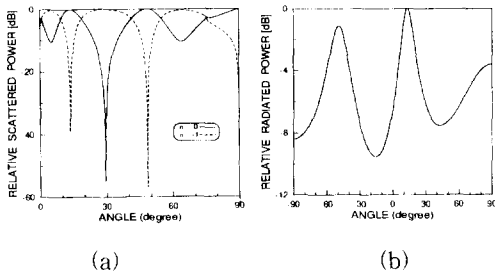


그림 13. 전파모드별 산란과 전력과 복사패턴(Bragg blazing) (Freq.=10.84GHz,  $d=28.1\text{mm}$ ,  $a=0.5d$ ,  $h=0.1d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )  
 (a)  $n=0$  및  $n=-1$  모드의 입력에 대한 상대전력  
 (b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 13. Relative scattered power and radiation pattern(Bragg blazing). (Freq.=10.84GHz,  $d=28.1\text{mm}$ ,  $a=0.5d$ ,  $h=0.1d$ ,  $\epsilon_r=2.57$ )  
 (a) Relative scattered power  $P_0$  and  $P_{-1}$ .  
 (b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave.

이 경우에 대해서도 누설모드가  $[-1, -2]$  일 때 Bragg blazing과 Off-Bragg blazing 현상을 확인할 수 있는데 그림 12는 주파수는 10.84GHz, 주기  $d=27\text{mm}$ ,  $\epsilon_r=2.57$ ,  $a/d=0.5$  및  $h/d=0.1$  (그림 11의 A점)인 경우에 대해 구한 산란특성과 복사패턴으로서 그림 12(a)는 Off-Bragg blazing현상을 보여 주며 blazing각은 각각  $3.4^\circ$  와  $74.8^\circ$  이며, 그림 12(b)

의 복사패턴에서  $n' = -1$  모드의 누설각은  $\theta_{-1} = 9.97^\circ$  이고  $n' = -2$  모드의 누설각은  $\theta_{-2} = -62.28^\circ$  인데 이는 그림 10 (C)의 경우에 해당된다.

그림 13은 주기  $d = 28.1\text{mm}$ (그림 11의 B점)인 경우에 대한 것으로서 그림 13(a)는 Bragg-blazing현상을 보여 주며 blazing각은  $29.5^\circ$  이다. 그림 13(b)는 복사패턴으로서  $n' = -1$  모드의 누설각은  $\theta_{-1} = 13.29^\circ$  이고  $n' = -2$  모드의 누설각은  $\theta_{-2} = -49^\circ$ 이며 이는 그림 10 (a)의 경우에 해당된다. TM 편파의 경우에도 주기구조의 파라미터들을 변화하며 blazing 현상을 관찰하면 그림 10에 도시된 4가지 경우의 부류에 포함됨을 확인할 수 있다.

#### IV. 결론

접지된 유전체층 위에 주기적인 스트립이 놓여 있는 경우에 대해 TE 및 TM 편파로 분리하여 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서 각각 해석하였으며 본 연구에서 제시한 방법은 임의의 주기구조에 대해 적용할 수 있다. 도파관 외부의 반무한 영역과 도파관 내부 영역의 전자장을 공간조화함수의 선형적 합으로 표현하고 이러한 표현식들에 접지면, 스트립 및 슬롯에서의 경계조건과 전자계의 연속조건을 부과하여 유된 행렬 방정식을 이용하여 반사격자 관점에서의 산란특성 (Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing)과 누설파안테나 관점에서의 복소전파상수 및 복사패턴을 계산하였다.

TE 및 TM 편파에 대해 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수값으로부터  $[-1, -2]$  모드가 누설되는 영역에서 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing현상을 관찰하였으며 복사패턴으로부터 구한 누설각과 반사격자관점에서 구한 산란특성에서의 Off-Bragg blazing 및 Bragg blazing각과의 관계를 비교 설명하였다. TM 편파의 경우에는 접지된 스트립격자구조와 구형격자구조간에 유사한 산란특성을 갖지만, TE 편파의 경우에서 본 연구 구조에서는 Off-Bragg blazing 현상이 확인되었으나 구형격자구조에서는 Off-Bragg blazing현상이 학계에 보고된 바 없다<sup>[9]</sup>. 따라서, 구형격자구조보다 접지된 유전체층 위에 주기적인 스트립이 놓여 있는 구조가 다양한 산란특성이 있는 것을

확인하였고 Off-Bragg blazing 현상을 이용하여 (de)multiplexer를 제작할 경우 기존의 Bragg blazing 현상을 이용하는 것보다 우수한 특성과 다양한 용도로 활용될 수 있을 것으로 사료되며, twist reflector antenna, frequency scanner 등에도 활용이 가능하다. 누설파안테나 관점에서 보면 격자구조의 파라미터 (주기, 스트립폭, 유전체높이, 유전율 등)를 적절히 조절하면 좁은 빔폭과 넓은 각도의 빔주사(frequency scanning) 특성을 갖는 안테나를 설계할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 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 Opt. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 41-45, Jan. 1996.
- [2] Y. K. Cho, U. H. Cho, and J. H. Ko, "On the blazing of the periodic strip grating on a grounded dielectric : TE polarization case," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 23, pp. 2035-2037, Nov. 1995.
- [3] K. A. Jose and K. G. Nair, "Reflector-Backed perfectly blazed strip gratings simulated corrugated reflector effects," *Electron. Lett.*, vol. 23, no. 2, pp. 86-87, Jan. 1987.
- [4] J. Jacobson, "Analytical, numerical, and experimental investigation of guided waves on a periodically strip-loaded dielectric slab," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-18, pp. 379-388, May 1970.
- [5] J. A. Encinar, "Mode-matching and point-matching techniques applied to the analysis of metal-strip-loaded dielectric antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-38, pp. 1405-1412, Sept. 1990.
- [6] 조 응희, 고 지환, 홍 재표, 조 영기, "평행평판 도 파관의 윗면에 주기적인 슬롯이 있는 구조에 대한 누설파안테나 관점에서의 해석," 대한 전자공학회 추계종합학술대회 논문집 제 18권 제 2호 pp. 297-300, 1995년
- [7] 조 응희, 고 지환, 홍 재표, 조 영기, "주기적인 스트립격자가 접지된 유전체슬랩 윗면에 놓여 있는 구조에 대한 해석 ; TE case," 한국전자파학회 종합학술대회 논문집 pp. 113-115, Nov. 1995년
- [8] H. A. Kalhor, "Electromagnetic scattering by a dielectric slab loaded with a periodic array of strips over a ground plane," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-36, no. 1, pp. 147-151, Jan. 1988.
- [9] W. Chen, D. G. Michelson, and E. V. Jull, "Off-Bragg TM blazing of rectangular groove gratings," *International Symposium on Electromagnetic Theory, St. Petersburg, Russia*, pp. 311-313, May 1995.

### 저 자 소 개

李 鍾 益(正會員) 第 32卷 A編 第 1號 參照  
현재 경북대학교 전자공학과 박사  
과정 재학중

尹 利 虎(正會員) 第 32卷 A編 第 1號 參照  
현재 경북대학교 전자공학과 박사  
과정 재학중

朴 鎮 澤(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照  
현재 창신전문대학 조교수

孫 鉉(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照  
현재 경북대학교 전자공학과 교수

趙 雄 熙(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照  
현재 경북대학교 전자공학과 박사  
과정 재학중

洪 在 杓(正會員) 第 32卷 A編 第 12號 參照  
현재 경북산업대학교 전자공학과  
부교수

趙 榮 基(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照  
현재 경북대학교 전자공학과 부교수