

접지된 유전체 슬랩 위에 위치한 주기적인 스트립 격자구조에서의 전자기적 산란공진: TM편파 경우의 Bragg Blazing 현상

Electromagnetic Scattering Resonances on a Periodic Strip Grating on a Grounded Dielectric Slab: Bragg Blazing Phenomena of TM Polarization Case

조웅희* · 홍재표** · 김종규*** · 조영기***

Ung-Hee Cho*, Jae-Pyo Hong**, Jong-Gyu Kim*** · Young-Ki Cho***

요 약

접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조에 대한 전자파 산란특성을 TM편파의 경우에 대하여 반사격자(reflection grating) 관점과 누설파안테나(leaky wave antenna) 관점에서 조사하였다. 수치해석 결과로 Bragg blazing 현상을 두 가지 형태(공진형과 비공진형)로 구분하였으며 그 특성(복소전파상수, 산란 특성, 전류밀도분포)에 대하여 논의하였다. 특히, 본 연구구조의 TE 및 TM편파 경우에서 확인한 Bragg blazing 현상에 관하여 상세히 기술하였다.

Abstract

The electromagnetic scattering characteristics by a periodic strip grating on a grounded dielectric slab for TM polarization case are examined from the viewpoints of both the reflection grating and the leaky wave antenna problems. Numerical results for two kinds of Bragg blazing (resonance type and non-resonance type) phenomena are given and some discussions on the properties (complex propagation constants, scattering characteristics, and distributions of strip current density) are presented. The comparison of the Bragg blazing phenomena between TM and TE polarization cases are also given in detail.

I. 서 론

주기적인 격자구조에 대하여 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서 많은 연구가 진행되고 있다. 반사격자 관점에서 보면 격자구조의 모양(echelette, rectangular groove, comb, sinusoidal, 본 논문의 연

구구조 등), 주기 및 입사각의 입사각에 따라 다양한 산란특성을 갖고 있으며, 산란특성을 이용하여 주파수 분할 다중화기(frequency division multiplexer), 편파기(polarizer), 빔 주사기(frequency scanner) 등의 용도로 활용^{[1],[2]}되고 있다. 누설파안테나 관점에서 보면 도파구조가 형성되는 경우에 주기구조 파

*경동정보대학 컴퓨터정보계열(Division of Computer & Information Telecommunication, Kyungdong College of Techno-Information)
**경일대학교 전자정보공학과(Department of Electronic Information, Kyungil Univ.)
***경북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.)
· 논문 번호 : 20000607-067
· 수정완료일자 : 2000년 9월 7일

라미터의 변화에 의해 다양한 복사패턴과 운용주파수의 변화에 따른 빔 주사특성을 갖고 있어 초고주파 및 밀리미터파 대역용의 누설파안테나로 활용^[3]되고 있으며, 또한 도파특성을 응용하여 빔 결합기(coupler), 여파기(band rejection filter)등으로 활용^{[4],[5]}할 수 있다. 전술한 반사격자 관점과 누설파안테나 관점의 연관성에 관한 연구로는 본 논문의 연구구조와는 다른 형태의 격자구조인 정현형으로 변조된 임피던스 표면모델(sinusoidally modulated reactance surface model)^[6]과 comb형태의 격자구조^[7]에 대한 연구결과가 있으나, 정현형으로 변조된 임피던스 표면모델의 경우에 있어서는 구현 가능성이 없고, comb형태의 격자구조의 해석결과는 그 타당성이 극히 제한된다는 문제점이 있다. 본 논문의 연구구조와 유사한 격자구조(유전체슬랩의 비유전율이 자유공간과 같은 경우)에 대한 연구결과^[8]도 보고된 바 있으나 등가회로망(equivalent network)이론을 이용하여 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수는 비교적 타당한 결과를 주지만, 반사격자 관점에서의 해석결과는 오류(가역성이 성립되지 않고 비공진형의 Bragg blazing현상이 전혀 고려되지 않음)를 지니고 있다. 최근에 본 논문의 연구구조에 대하여 반사격자 관점에서 TE 및 TM편파된 평면파가 입사되는 경우에서의 blazing 현상을 관찰한 이론^{[9],[10]} 및 실험결과^{[11],[12]}가 보고되었으며, TE편파의 경우에 대한 반사격자 관점과 누설파안테나 관점과의 연관성에 대한 연구결과^[13]가 보고된 바 있다. 본 논문에서는 TE편파의 경우^[13]에 이어서 TM편

파의 경우에서 확인된 Bragg blazing 현상에 관하여 누설파안테나 관점과 반사격자 관점의 연관성에 관하여 상세히 기술하고, 본 연구구조에서 TE 및 TM편파의 경우에서 확인된 Bragg blazing 현상과 전반사현상에 대한 특징을 요약하고, Bragg blazing 현상의 보다 일반적인 경우인 off-Bragg blazing 현상에 관하여는 본 논문의 후속 논문에서 다루고자 한다.

II. 본 론

접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조를 그림 1에 도시하였다. 스트립은 완전 도체이고 두께는 무시할 만큼 얇으며 유전체슬랩은 손실이 없으며 유전율은 $\epsilon_0\epsilon_r$, 투자율은 μ_0 이다. 유전체슬랩의 두께는 h 이고 주기는 d 이며 스트립의 폭은 a 이고 스트립은 x 축과 평행하게 놓여 있다.

본 논문의 연구구조에 대한 수치해석은 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에 대하여 각 경계면에서의 경계조건과 스트립에서 접선성분 자계의 불연속 조건으로부터 스트립에 유기되는 표면전기전류밀도(surface electric current density)를 미지수로 하는 선형행렬방정식을 유도하는 수치해석방법^[14]을 이용하였으며, 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에서의 표기상 혼동을 피하기 위하여 표 1에 사용되는 약어를 수록하였다.

반사격자 관점에서 확인된 Bragg blazing 현상은 누설파안테나 관점과 밀접한 관련이 있는 공진형

표 1. 약어목록

Table 1. Nomenclatures.

비 고		반사격자 관점	누설파안테나 관점
n차 모드의 위상정수	y축 방향 위상정수	$\beta_n = \beta_0 + \frac{2n\pi}{d}$ ($\beta_0 = k_0 \sin \theta_i$)	$\beta'_{m,n} = \beta'_{m,0} + \frac{2n'\pi}{d}$ (β'_0)
	z축 방향 위상정수 (영역 II)	$\gamma_n = \sqrt{(k_1^2 - \beta_n^2)}$ ($\gamma_0 = \sqrt{k_1^2 - \beta_0^2}$)	$\gamma'_{m,n} = \text{Re}\sqrt{(k_1^2 - (\beta'_{m,n} - ja)^2)}$ (γ'_0)
n차 공간조화모드		n	n'

주) 누설파안테나 관점에서 mn중 m은 도파모드의 차수이고 n은 n'차의 공간조화 모드를 의미하며, ()안은 최저차 도파모드의 기본파수이다.

접지된 유전체 슬랩 위에 위치한 주기적인 스트립 격자구조에서의 전자기적 산란공진: TM편파 경우의 Bragg Blazing 현상

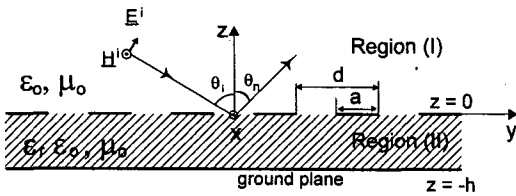


그림 1. 해석구조와 좌표계

Fig. 1. Geometry and coordinate systems.

Bragg blazing 현상과 누설파안테나 관점과 무관한 비공진형 Bragg blazing 현상으로 구분할 수 있으며, 누설파안테나 관점의 고속파구조(fast wave structure)와 지파구조(slow wave structure)에서 공진형 Bragg blazing 현상은 독특한 특성을 갖게 된다. 본 논문에서는 먼저 TM편파의 경우에 대한 고속파구조와 지파구조에서 확인된 Bragg blazing 현상에 대하여 논의하고, TE 및 TM편파의 경우에서 공통적으로 확인한 Bragg blazing 현상과 전반사현상 등을 기술하고자 한다.

2-1 고속파구조(fast wave structure)에서의 Bragg blazing 현상

접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조의 파라미터들($d=1.1831\lambda$, $a=0.5d$, $\epsilon_r=1.03$)과 TM편파된 평면파의 입사각도는 Bragg각인 $\theta_i=25^\circ$ ($\sin^{-1}(\lambda/2d)$)로 고정하고 유전체슬랩의 두께 h 를 가변하면서 조사한 반사파전력의 변화를 그림 2에 나타내었다. 격자방정식(grating equation)에 의해 조사된 입사파의 입사각에서 전파되는 모드가 반사파모드(specular reflection mode)와 -1차 회절파모드뿐이므로, 반사파전력을 제외한 나머지전력은 모두 -1차 회절파전력으로 변환된다. 그림에서 유전체슬랩의 두께 변화에 따라 6곳(A~F)에서 입사파전력의 전부가 -1차 회절파모드의 전력으로 변환되는 Bragg blazing 현상을 확인할 수 있으며, 유전체슬랩의 두께변화에 따라 반사파전력의 변화가 비교적 둔감한 비공진형(그림 2의 A, C, E점)과 두께변화에 따라 반사파전력의 변화가 민감하게 변화되는 공진형(그림 2의 B, D, F점)이 반복되고 있음을 알 수 있다. 또한 공진형의

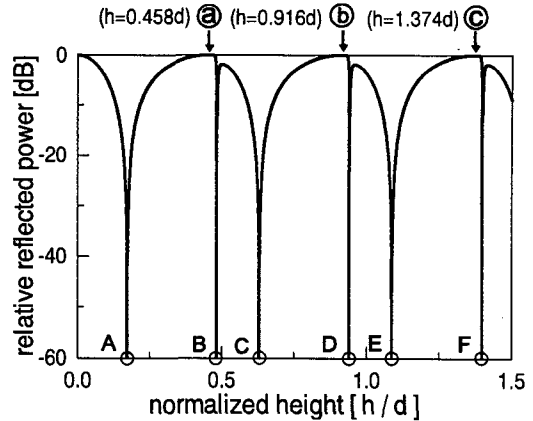


그림 2. 유전체슬랩 두께변화에 따른 반사파전력

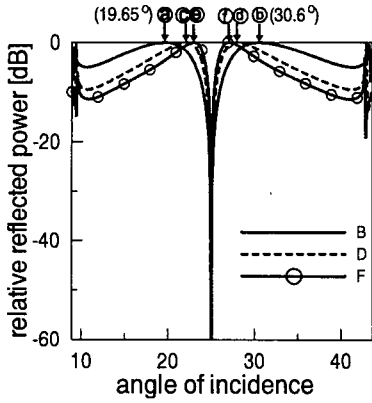
($d=1.1831\lambda$, $a=0.5d$, $\epsilon_r=1.03$, $\theta_i=25^\circ$)

Fig. 2. Relative reflected power against normalized dielectric slab height.

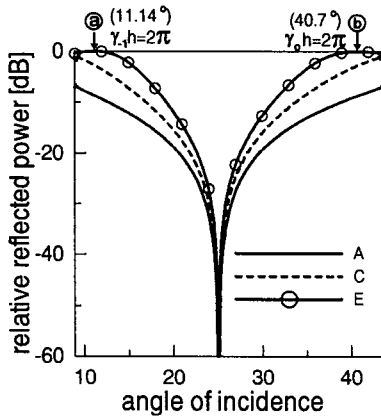
($d=1.1831\lambda$, $a=0.5d$, $\epsilon_r=1.03$, $\theta_i=25^\circ$)

Bragg blazing 현상이 발생하는 두께보다 조금 작은 곳(TE편파의 경우에서 확인된 전반사가 되는 높이와 동일함^{[13])에서 전반사되는 3점(㉠, ㉡, ㉢)을 확인할 수 있다.}

Bragg blazing 현상이 확인된 격자구조에 대하여 입사파의 입사각도 변화에 따른 반사특성을 조사하여 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 공진형(그림 2의 B, D, F점)에 해당되고, 그림 3(b)는 비공진형(그림 2의 A, C, E점)에 해당되는데 각각의 반사특성이 유사하다. 공진형의 경우를 보면 세 경우 모두 입사파전력이 -1차 회절파모드의 전력으로 변환되는 효율이 높은 영역의 입사각도 범위가 매우 좁고, 전반사가 되는 점이 Bragg 각 주변에서 짝을 이루고 있다. 공진형 Bragg blazing 현상이 확인되는 격자구조에 대하여 z축 방향의 위상정수(γ_0)와 유전체슬랩의 두께 h 의 곱을 구해 보면 $\gamma_0 h$ 값이 $n\pi$ 에 매우 근접하게 된다. 접지된 유전체 슬랩에 대한 반사특성을 보면, $\gamma_0 h = n\pi$ 가 될 때 자계의 반사계수가 1이 되고(이 경우에는 유전체 슬랩이 없이 $z=0$ 인 면에 슬롯이 없는 도체판이 있는 효과와 동일함), 이 경우에는 유전체 슬랩 위에 도체 스트립의 유무에 관계없이 항상 전반사가 된다. 그림 2에서 확인된 3점($\gamma_0 h = \pi, 2\pi, 3\pi$)의 전반사현상과 그림 3(a)의



(a)



(b)

그림 3. 입사각 변화에 따른 반사특성

- (a) 공진형(그림 2의 B, D, F점)
- (b) 비공진형(그림 2의 A, C, E점)

Fig. 3. Relative reflected power against angle of incidence.

- (a) Resonance type(point B, D, F in Fig. 2)
- (b) Non-resonance type(pint A, C, E in Fig. 2)

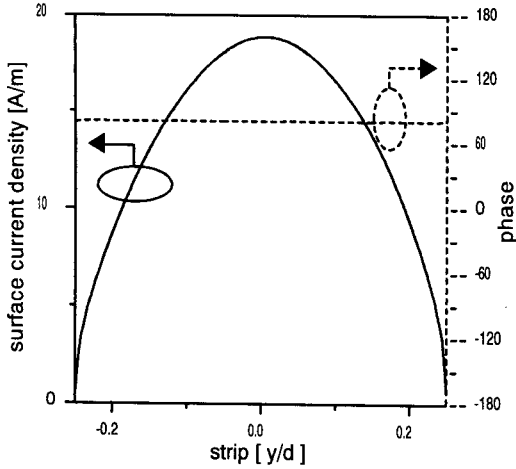
⑥점($\gamma_0 h = \pi$)에서 확인된 전반사현상은 모두 여기에 속하는 경우이다. 그림 3(a)의 ③점 경우는 격자 방정식에 의해 ⑥점의 짝이 되는 입사각이 되고 -1 차모드의 위상정수는 $\gamma_{-1} h = \pi$ 가 되며 전반사가 된다. 비공진형의 경우는 -1 차 회절파모드의 전력으로 변환되는 효율이 높은 영역의 입사각도 범위가 공진형에 비하여 매우 넓고 전반사가 되는 점이 Bragg각 주변에는 없다^[13].

Bragg blazing 현상이 확인된 격자구조에 대하여 스트립에 유기되는 전류밀도분포(본 논문에서는 입사파와 접지된 유전체슬랩에 의한 반사파를 제외한 두 영역에서의 접선성분 산란자계의 불연속에 의해 도체 스트립에 유기되는 전류밀도임)를 조사하여 보면 공진형(그림 2의 B, D, F점)과 비공진형(그림 2의 A, C, E점)의 특성이 각각 유사하여, 본 논문에서는 비공진형의 A점과 공진형의 B점에 해당되는 경우에 대한 전류밀도의 크기와 위상의 변화만을 그림 4에 나타내었다. 공진형에 해당되는 그림 4(a)의 경우를 보면 비공진형에 비하여 유기되는 전류밀도가 매우 크고 전류밀도분포와 위상이 스트립의 중심에 대칭이 되는데 비해, 비공진형에 해당되는 그림 4(b)의 경우는 전류밀도의 크기가 작고 스트립의 중심에 대해 대칭이 되지 않는 전류밀도분포와 위상을 갖게 된다.

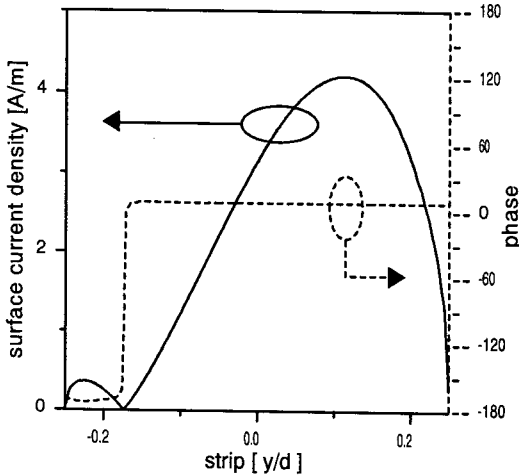
그림 5의 (a), (b)는 각각 그림 3(a)의 ②, ⑥점에 해당(전반사)되는 경우에 도체 스트립에 유기되는 전류밀도분포로 그림 5(a)의 경우에는 도체스트립에 유기되는 전류밀도가 어느 정도 큰 값을 갖는데 비해, 그림 5(b)의 경우에는 도체 스트립에 유기되는 전류밀도가 무시할 수 있을 정도로 매우 작다. 전반사가 되는 경우에 대해 공간조화모드의 계수를 구해 보면 그림 5(a)의 경우($\gamma_{-1} h = \pi$)에는 -1 차 전파모드의 계수만이 영이 되고 나머지 공간조화모드들은 계수 값을 갖지만, 그림 5(b)의 경우($\gamma_0 h = \pi$)에는 모든 공간조화모드의 계수가 영이 된다.

동일한 격자구조에 대하여 누설파안테나 관점에서 구한 복소전파상수를 그림 6에 나타내었는데, 유전체층의 두께변화에 따라 TM_0 , TM_1 , TM_2 및 TM_3 모드까지의 복소전파상수를 구하였으며, 조사된 영역에서 TM_0 의 경우(지파구조)를 제외하고 나면 각 모드의 기본모드($\beta_{m,0}$, $m \neq 0$)가 모두 복사되므로 누설파안테나 관점에서 모두 고속파구조이다. 또한 각 모드별로 유전체층의 두께가 두꺼워짐에 따라 기본모드의 복사각($\sin^{-1}(\beta_{m,0}/k_0)$)이 전(forward)방향 broadside 쪽에서 endfire 쪽으로 변화함을 알 수 있다. 그림에서 B~F점은 그림 2에서 Bragg blazing 현상이 확인된 격자두께이다. B, D, F

접지된 유전체 슬랩 위에 위치한 주기적인 스트립 격자구조에서의 전자기적 산란공진: TM편파 경우의 Bragg Blazing 현상



(a)



(b)

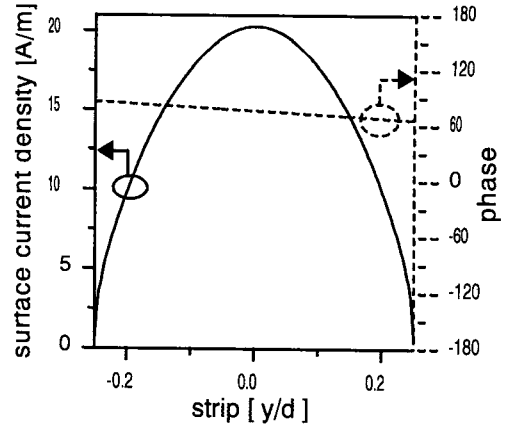
그림 4. 스트립상의 전류밀도분포

- (a) 공진형(그림 2의 B점)
- (b) 비공진형(그림 2의 A점)

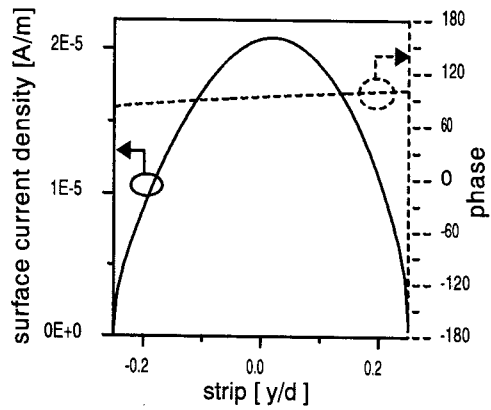
Fig. 4. Distribution of strip current density.

- (a) Resonance type (point B in Fig. 2)
- (b) Non-resonance type (point A in Fig. 2)

점은 $\beta_{m,0}d = \pi$ 인 경우로 누설파안테나 관점에서 기본모드 복사각도가 Bragg각과 동일한 25° 이고 -1차의 누설모드의 복사각도는 -25° 이며 감쇠정수는 주변의 감쇠정수에 비해 작은 값(sharp dip)이 됨을 알 수 있다(TM₀모드의 감쇠정수 ad 는 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 범위에서 변화되며 반사격자관점과 연관성



(a)



(b)

그림 5. 스트립상의 전류밀도분포

- (a) 그림 3(a)의 ㉠ 경우
- (b) 그림 3(a)의 ㉡ 경우

Fig. 5. Distribution of strip current density.

- (a) Point ㉠ in Fig. 3(a)
- (b) Point ㉡ in Fig. 3(a)

이 없으므로 생략하였음).

그림 6에서 $\beta_{m,0}d = 5.13$ 보다 크게 되면 누설파 안테나 관점에서 -2차의 공간조화모드가 복사하게 되는 Rayleigh파장이다. 그림 6의 G점은 $\beta_{m,0}d = 2\pi$ 가 되는 점인데 누설파안테나 관점에서 기본모드의 복사각도가 57.7° 이고, -1차 모드의 복사각도는 broadside가 되고, -2차 복사모드의 복사각도가 -57.7° 가 되는데, 이 경우에 있어서 -1차 모드의 계수 크기가 영이 되어 broadside로는 복사되지 않는

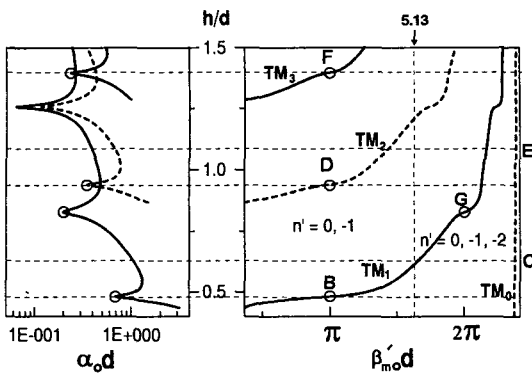
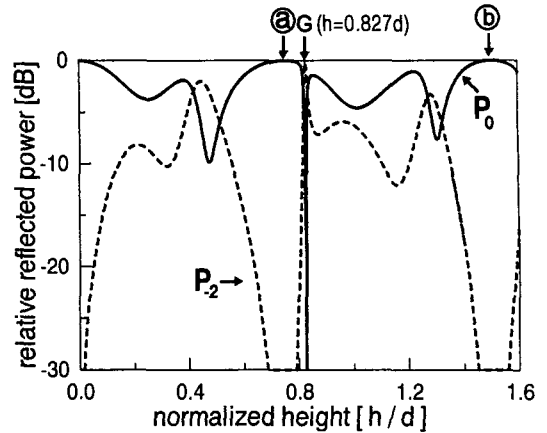


그림 6. 접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조의 분산도표 ($d=1.1831 \lambda$, $a=0.5d$, $\epsilon_r=1.03$)
 Fig. 6. Dispersion diagrams for periodic strip grating on a grounded dielectric slab. ($d=1.1831 \lambda$, $a=0.5d$, $\epsilon_r=1.03$)

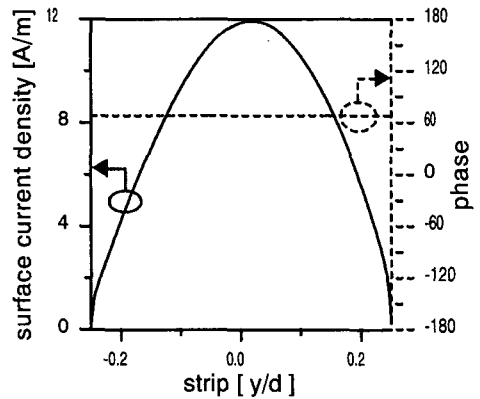
다. 반사격자 관점에서 입사파의 입사각도를 57.7° ($\beta_0 d = 2\pi$)로 하고 유전체슬랩의 두께를 가변하면서 반사파전력과 -2차 회절파모드의 전력변화를 그림 7(a)에 나타내었다. 반사파전력이 급격히 작아지고 입사파전력이 -2차 회절파모드의 전력으로 급격히 변환되는 G점은 그림 6의 G점에 해당된다. 그림 7(a)에서 ㉑, ㉒점은 전반사($\gamma_0 h = \pi, 2\pi$)가 되는 점이다. $\beta_0 d = \pi$ 인 경우에는 격자구조 파라미터(주기에 대한 스트립 폭의 비가 적절한 경우)에 따라 비공진형 Bragg blazing 현상이 확인되는데 비하여, $\beta_0 d = 2\pi$ 인 경우에는 격자구조 파라미터를 변화하여도 비공진형 Bragg blazing 현상은 확인되지 않고 공진형 Bragg 현상만 확인된다. 그림 7(b)에는 Bragg 현상이 확인된 그림 7(a)의 G점 경우에서 스트립에 유기되는 전류밀도분포와 위상인데 스트립의 중심에 대하여 전류밀도분포와 위상이 대칭적이다.

2-2 지파구조(slow wave structure)에서의 Bragg blazing 현상

격자구조의 주기가 $d=1.1831 \lambda$ 이고, 스트립의 폭은 $a=0.65d$, 유전체의 비유전율은 $\epsilon_r=2.57$ 이고 TM 편파된 평면파의 입사각도는 $\theta_i=25^\circ$ 으로 고정하



(a)



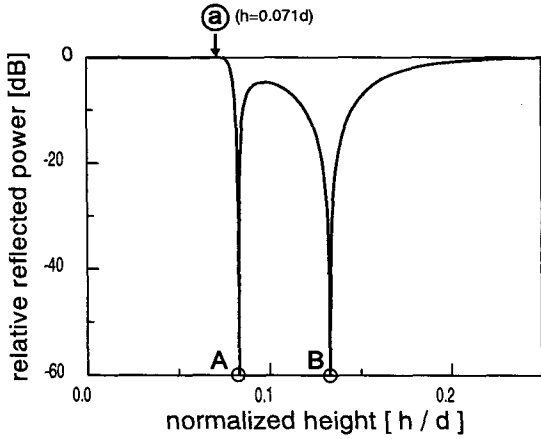
(b)

그림 7. 회절파전력과 전류밀도분포
 (a) 유전체슬랩 두께변화에 따른 회절파전력
 (b) 스트립상의 전류밀도분포 (그림 7(a)의 G점)

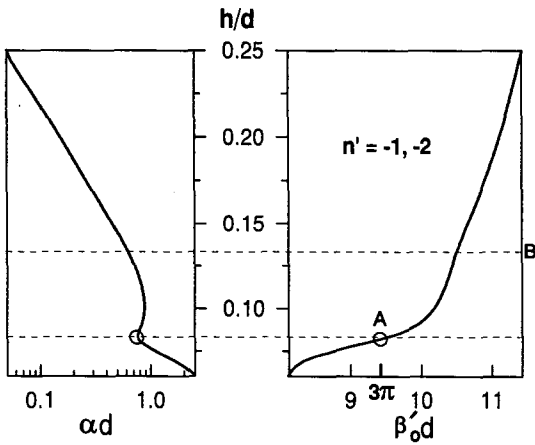
Fig. 7. Relative scattered powers and distribution of strip current density.

- (a) Relative scattered powers normalized dielectric slab height.
- (b) Distribution of strip current density.

고 유전체슬랩의 두께 h 를 가변하면서 반사특성의 변화를 그림 8(a)에 나타내었다. 그림 8(a)에서 Bragg blazing 현상이 발생되는 A점의 경우는 공진형이고, B점은 비공진형이며, A점의 두께보다 조금 작은 곳에서 전반사되는 ㉑점을 확인할 수 있다. 그림 8(b)는 동일한 격자구조에 대한 누설파안테나 관점의 복소전파상수인데, 조사한 영역에서는 유전체슬



(a)



(b)

그림 8. 반사파전력과 분산도표($d=1.1831\lambda$, $a=0.65d$, $\epsilon_r=2.57$, $\theta_i=25^\circ$).

- (a) 유전체슬랩 두께변화에 따른 반사파전력
- (b) 접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조의 분산도표

Fig. 8. Relative reflected power and dispersion diagram($d=1.1831\lambda$, $a=0.65d$, $\epsilon_r=2.57$, $\theta_i=25^\circ$).

- (a) Relative reflected power against normalized dielectric slab height.
- (b) Dispersion diagrams for periodic strip grating on a grounded dielectric slab.

랩의 두께가 작아서 최저차 모드인 TM_0 모드만이 도파가능하고 기본모드가 복사되지 않으므로 지파구

조이다. 고속파구조와 지파구조에서의 공진형 Bragg blazing 현상시에 입사파의 위상정수(β_0)와 누설파안테나 관점에서의 복사모드(입사파의 입사각도에 해당되는 복사모드) 위상정수($\beta_{m,n}$)간의 관계를 살펴보면, 먼저 고속파구조에서는 반사격자 관점에서 입사파의 위상정수(β_0)가 누설파안테나 관점에서 기본복사모드의 위상정수($\beta_{m,0}=\beta_0$)에 해당되지만, 지파구조의 누설파영역에서는 입사파의 위상정수가 누설파안테나 관점에서 보면 고차모드의 위상정수($\beta_{m,0}d=3\pi$ 인 경우에는 -1 차와 -2 차 모드가 복사되며, 반사격자 관점에서 입사파의 위상정수가 -1 차 공간조화모드의 위상정수에 해당($\beta_{m,-1}(\beta_{m,0}-2\pi/d)=\beta_0$)됨)에 해당된다.

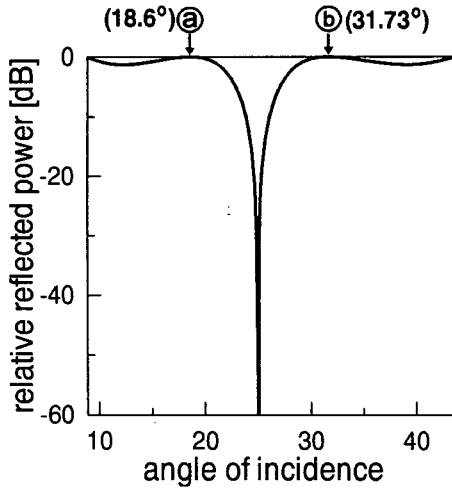
지파구조에서 Bragg blazing 현상이 확인된 격자구조에 대하여 입사파의 입사각도를 변화하면서 조사한 반사특성을 그림 9에 나타내었는데, 두 경우 모두에서 전반사가 되는 점을 확인할 수 있다. 고속파구조의 공진형 Bragg blazing 현상시 확인한 Bragg 각 주변에서의 전반사조건($\gamma_0h=\pi$)을 만족하는 경우가 지파구조의 공진형 Bragg blazing 현상시 Bragg 각 주변에는 있을 수 없으므로, 지파구조에서 확인되는 전반사현상은 고속파구조에서의 전반사조건과는 다른 형태이다.

그림 10에는 지파구조에서 확인된 공진형과 비공진형의 Bragg blazing 현상시 스트립에 유기되는 전류밀도의 크기와 위상의 변화를 나타내었는데 공진형에 해당되는 (a)의 경우를 보면 고속파구조에서와 유사하게 유기되는 전류밀도의 크기가 매우 크고 스트립의 중심에 대해 대칭적인 전류밀도분포와 위상을 갖게 되는데 비해, 비공진형에 해당되는 (b)의 경우는 전류밀도가 작고 전류밀도분포와 위상이 스트립의 중심에 대칭이 되지 않는다.

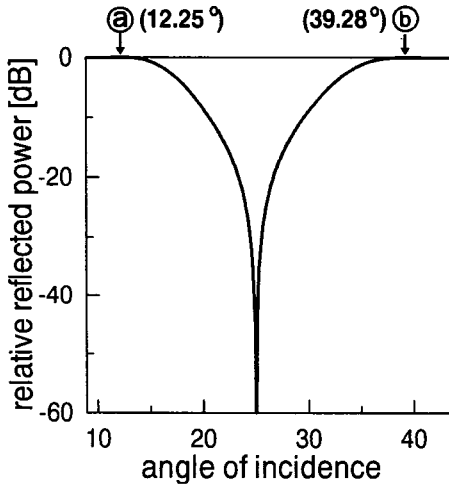
그림 11의 (a), (b)는 각각 그림 10(a)의 (a), (b)에 해당(전반사)되는 경우에서 구한 도체 스트립에 유기되는 전류밀도분포와 위상이다. 전반사가 되는 경우에 대해 공간조화모드의 계수를 구해보면 두 경우 모두 -1 차 전파모드의 계수만이 영이 된다.

2-3 Bragg blazing 현상

Bragg blazing 현상은 반사격자 관점에서 전파모



(a)



(b)

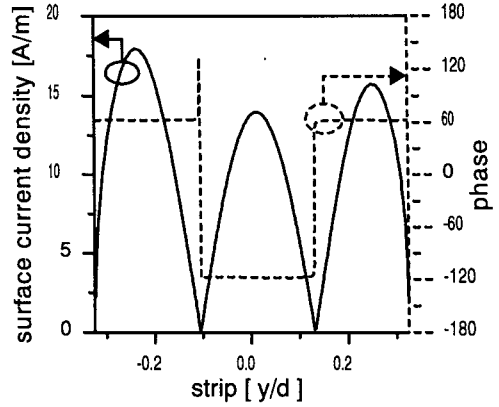
그림 9. 입사각 변화에 따른 반사특성

- (a) 공진형(그림 8의 A점)
- (b) 비공진형(그림 8의 B점)

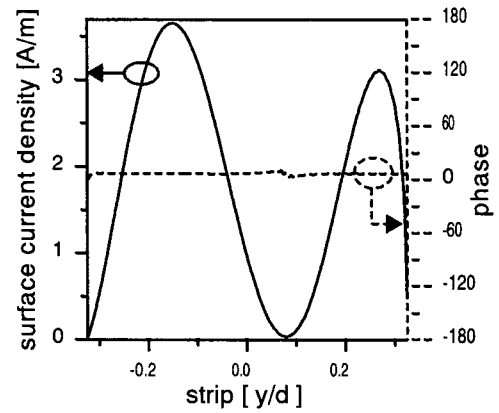
Fig. 9. Relative reflected power against angle of incidence.

- (a) Resonance type(point A in Fig. 8)
- (b) Non-resonance type(pint B in Fig. 8)

드(propagating mode)가 3개 이하인 경우에 있어서 입사파전력이 반사파가 아닌 하나의 고차모드 회절파전력으로 모두 변환되고 회절파가 입사파의 입사경로로 되돌아가게 되는 경우이다. Bragg blazing 현상을 산란특성에 따라 구분하여 보면 누설파안테나



(a)



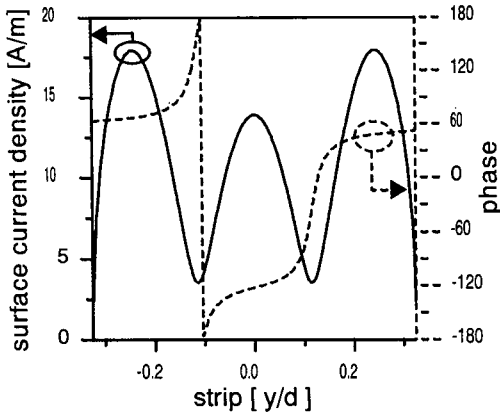
(b)

그림 10. 스트립상의 전류밀도분포

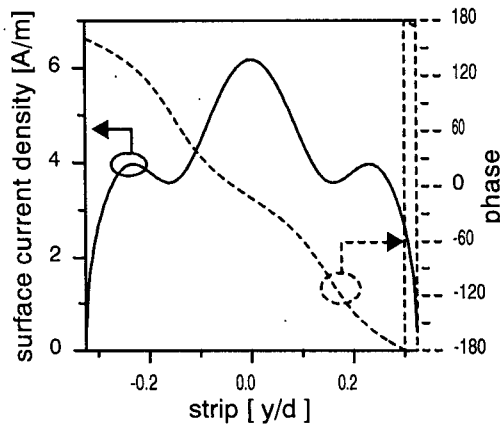
- (a) 공진형(그림 8의 A점)
 - (b) 비공진형(그림 8의 B점)
- Fig. 10. Distribution of strip current density.
- (a) Resonance type (point A in Fig. 8)
 - (b) Non-resonance type (pint B in Fig. 8)

관점에서 누설모드의 위상정수와 관련이 있는 공진형(resonance type)과 누설모드의 위상정수와 무관한 비공진형(non-resonance type)의 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 비공진형의 Bragg blazing 현상은 전파모드가 2개인 경우에는 확인되었으나 전파모드가 3개인 경우에는 확인되지 않았다. 각각의 경우에 대한 특징과 공간조화모드의 계수관계는 다음과 같다.

고속파구조에서의 공진형 Bragg blazing 현상에 대한 특징을 요약하면,



(a)



(b)

그림 11. 스트립상의 전류밀도분포

(a) 그림 9(a)의 ㉓ 경우

(b) 그림 9(a)의 ㉔ 경우

Fig. 11. Distribution of strip current density.

(a) Point ㉓ in Fig. 9(a)

(b) Point ㉔ in Fig. 9(a)

첫째, 스트립폭과 슬롯폭의 비가 적절하고 누설파안테나 관점에서의 위상정수가 $\beta_{m,0}d = \pi$ 이면서 복사모드가 2개인 경우와 $\beta_{m,0}d = 2\pi$ 이면서 복사모드가 3개인 경우에는 Bragg blazing 현상이 확인되고, 반사격자 관점에서의 입사파의 위상정수 (β_0)와 누설파안테나 관점에서의 기본모드의 위상정수 ($\beta_{m,0}$)가 동일하며,

둘째, 스트립에 유기되는 전류밀도가 매우 높으

며 전류밀도와 위상이 스트립 축의 중심에 대칭적으로 분포되며,

셋째, 전반사가 확인되는 각 ($\gamma_0 h = n\pi$)이 Bragg 각에 인접해 있으며,

마지막으로, 공진형 Bragg blazing 현상이 일어나는 조건에서 유전체슬랩의 두께 또는 입사각의 작은 변화에도 입사파 전력이 고차모드 회절파전력으로 변환되는 효율과 공간조화모드 계수의 크기 및 위상이 매우 급격히 변화된다.

지파구조에서의 공진형 Bragg blazing 현상에 대한 특징을 요약하면,

첫째, 주기에 대한 스트립 폭의 비가 적절하고 누설파안테나 관점에서의 위상정수가 $\beta_{m,0}d = (2N + 1)\pi$ 이면서 복사모드가 두 개이거나, $\beta_{m,0}d = 2N\pi$ 이면서 복사모드가 세 개인 경우에는 Bragg blazing 현상이 확인되며, 반사격자 관점에서 입사파의 위상정수 (β_0)와 누설파안테나 관점에서의 $-N$ 차 복사모드의 위상정수 ($\beta_{m,-N}$)가 동일하며,

둘째, 스트립에 유기되는 표면전류 밀도가 매우 높으며 스트립 축의 중심에 대칭적으로 분포되며,

셋째, 고속파구조에서 확인되는 전반사조건 ($\gamma_0 h = n\pi$)과는 무관한 지점에서 전반사현상이 확인되며,

마지막으로, 공진형 Bragg blazing 현상이 일어나는 조건에서 유전체슬랩의 두께 또는 입사각의 변화에 따른 입사파 전력이 고차모드 회절파전력으로 변환되는 효율이 고속파구조에 비해 비교적 둔감하게 변화된다.

비공진형의 Bragg blazing 현상의 경우

첫째, 주기에 대한 스트립 폭의 비가 적절하고 반사격자 관점에서의 입사파의 위상정수가 Bragg 조건 ($\beta_0 d = \pi$)이면서 전파모드가 2개인 격자구조파라미터에서 확인되며,

둘째, 스트립에 유기되는 표면전류 밀도가 공진형에 비해 매우 작으며 스트립 축의 중심에 대칭적인 분포가 되지 않으며,

마지막으로, Bragg blazng 현상이 일어나는 조건에서 유전체슬랩의 두께 또는 입사파의 입사각도변화에 따른 입사파전력이 고차모드 회절파전력으로 변환되는 효율의 변화가 공진형에 비해 매우 둔감하다.

Bragg blazng 현상시의 공간조화모드 계수의 관계

Bragg blazng 현상시의 공간조화모드의 계수간의 관계도 공진형과 비공진형간에는 비교할 만한 차이점이 있다. 공진형 Bragg blazng 현상시에는 반사격자 관점과 누설파안테나 관점간에 동일한 모드 계수관계가 되며, 공간조화모드의 계수관계는 누설파안테나 관점에서의 위상정수가 $\beta_0 d = (2N+1)\pi$ 인 경우(누설파안테나 관점에서의 복사모드와 반사격자 관점에서의 전파모드가 짝수개 임)와 $\beta_0 d = 2N\pi$ 인 경우(누설파안테나 관점에서의 복사모드와 반사격자 관점에서의 전파모드가 홀수개 임)간에는 차이점이 있다. 비공진형 Bragg blazng 현상시에는 반사격자 관점에서 공간조화모드간에 짝을 이루지만, 누설파안테나 관점과는 그러한 상관관계가 없다.

· 공진형 Bragg blazng 형태

- 누설파안테나 관점에서 위상정수가 $\beta_{m,0} d = (2N+1)\pi$ 인 경우의 공간조화모드 계수관계

누설파안테나 관점	반사격자 관점
$ A_{-N} = A_{-N-1} $	$\Gamma + a_0 = 0$
\vdots	$ a_0 = a_{-1} $
$ A_0 = A_{-2N-1} $	$ a_{+1} = a_{-2} $
\vdots	\vdots
$ A_{+n} = A_{-2N-n-1} $	$ a_{+n} = a_{-n-1} $
\vdots	\vdots

여기에서 Γ 는 본 논문의 연구구조에서 도체스트립이 제거된 상태인 접지된 유전체슬랩의 자계에 대한 반사계수이며, A_{+n} 은 누설파안테나 관점에서 $+n$ 번째의 공간조화모드를 의미하고 a_{+n} 은 반사격자 관점에서의 $+n$ 번째의 공간조화모드이다.

누설파안테나 관점에서 위상정수가 $\beta_{m,0} d = (2N+1)\pi$ 인 경우에 복사모드(그림 12에서 괄호안에는 지파구조일 때의 복사모드임)와 반사격자 관

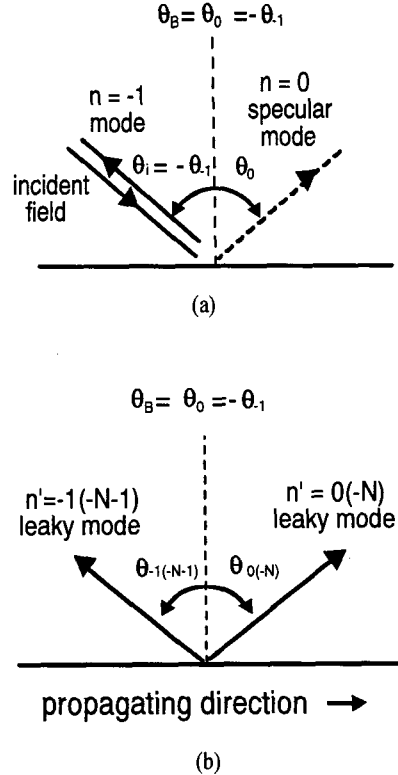


그림 12. 공진형 Bragg blazng 현상($\beta_{m,0} d = (2N+1)\pi$)

(a) 반사격자 관점 (b) 누설파안테나 관점
Fig. 12. Resonance type Bragg blazng phenomenon($\beta_{m,0} d = (2N+1)\pi$).

- (a) Reflection grating
- (b) Leaky wave antenna

점에서 입사파의 위상정수가 $\beta_0 d = \pi$ (공진형 Bragg blazng)일 때 전파모드를 그림 12에 나타내었다. 누설파안테나 관점에서의 $-N$ 번째 공간조화모드(복사모드)의 위상정수($\beta_{m,-N}$)와 반사격자 관점에서 Bragg 각으로 입사되는 입사파의 위상정수(β_0)가 동일하므로 두 관점간의 공간조화모드의 계수관계는 동일함을 알 수 있다. 비공진형의 Bragg blazng 현상시에도 모드계수관계는 공진형과 동일하게 짝을 이루게 되지만 누설파안테나 관점에서의 모드계수와는 무관하다.

- 누설파안테나 관점에서 위상정수가 $\beta_{m,0} d = 2N\pi$ 인 경우의 공간조화모드 계수관계

누설파안테나 관점 $A_{-N} = 0$ $ A_{-N+1} = A_{-N-1} $ \vdots $ A_0 = A_{-2N} $ \vdots $ A_{+n} = A_{-2N-n} $ \vdots	반사격자 관점 $a_{-1} = 0$ $\Gamma + a_0 = 0$ $ a_0 = a_{-2} $ $ a_{+1} = a_{-3} $ \vdots $ a_{+n} = a_{-n-2} $ \vdots
---	---

누설파안테나 관점에서 위상정수가 $\beta_{m,0}d = 2N\pi$ 인 경우에 복사모드(괄호안에는 지파구조일 때

의 복사모드임)와 반사격자 관점에서 입사파의 위상정수가 $\beta_0d = 2\pi$ (공진형 Bragg blazing)일 때 전파모드를 그림 13에 나타내었다. 이 경우에는 격자면에 수직방향(broadside)의 모드의 위상정수는 $\beta_{m,-N} = \beta_{-1} = 0$ 이 되고, 모드계수가 누설파안테나 관점과 반사격자 관점에서 모두 영이 된다.

2.4 반사격자관점에서의 전반사현상

전파모드가 두 개인 영역에서 전반사현상은 다음의 3가지 경우로 요약할 수 있다.

첫째, 입사파에 대한 위상정수 $\gamma_0h = n\pi$ 가 되는 경우

이 경우에는 스트립격자의 파라미터(주기 및 스트립 폭)에 무관하며, 격자가 없는 접지된 유전체슬랩의 전계에 대한 반사계수가 -1(자계에 대한 반사계수는 1)이 되고 스트립에 유기되는 전류가 없으므로 모든 공간조화모드의 계수가 영이 된다.

둘째, 격자방정식에 의해 첫 번째 경우의 짝이 되는 각도로 입사될 때 -1차 회절파모드의 위상정수가 $\gamma_{-1}h = n\pi$ 가 되는 경우

이 경우에는 스트립격자의 주기에 의해 결정되며 스트립 폭에는 무관하며, 스트립에 유기된 전류는 -1차 회절파모드의 계수는 영이 되지만 나머지 공간조화모드들은 계수의 값을 갖게 된다(전파모드가 세 개이상인 경우에는 전반사가 되지 않는다).

마지막으로, 위의 두 가지 경우에 속하지 않는 경우

이 경우에는 주기에 대한 스트립 폭의 비와 관련이 있으며, 두 번째 경우와 같이 스트립에 유기된 전류에 의한 -1차 회절파모드의 계수는 영이 되지만 나머지 공간조화모드들은 계수값을 갖게 된다.

III. 결 론

TM편파의 경우에 대하여 접지된 유전체슬랩 위에 주기적인 스트립격자가 놓여 있는 구조를 누설파안테나 관점에서 고속파구조와 지파구조로 구분하여 각각의 구조에서 반사격자 관점에서 확인한 Bragg blazing 현상을 누설파안테나 관점과 관련이 있는 공진형의 Bragg blazing 현상과 누설파안테나

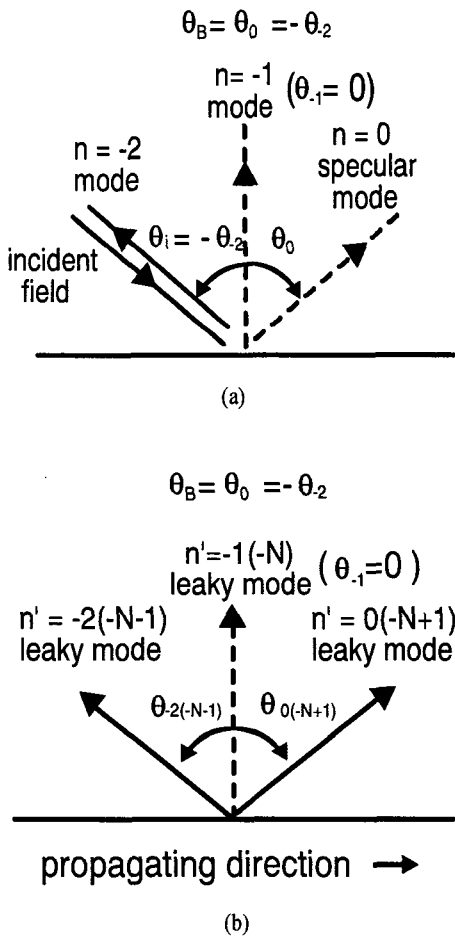


그림 13. 공진형 Bragg blazing 현상 ($\beta_{m,0}d = 2N\pi$)
 (a) 반사격자 관점 (b) 누설파안테나 관점
 Fig. 13. Resonance type Bragg blazing phenomenon ($\beta_{m,0}d = 2N\pi$).
 (a) Reflection grating
 (b) Leaky wave antenna

관점과 무관한 비공진형의 Bragg blazing 현상으로 구분하여 상세히 기술하였다. 또한 TE 및 TM편파의 경우에서 확인되는 Bragg blazing 현상과 전반사 현상에 대한 공통적인 특징을 기술하였다.

참 고 문 헌

- [1] P. S. Henry and J. T. Ruscio, "A low-loss diffraction grating frequency multiplexer," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-26, no. 6, pp. 428-433, June, 1978.
- [2] R. Lagerholm, "Study of metallic strip gratings for frequency scanner," *Microwave and Opt. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 14, pp. 713-715, Dec., 1992.
- [3] 홍재표, 조용희, 이종익, 윤리호, 이정형, 조영기, 엄효준, "누설파 안테나 해석 설계 및 제작", 전자공학회 논문지 33-A(11); 88-96, 1996.
- [4] T. Ihto, "Application of gratings in a dielectric waveguide for leaky-wave antennas and band-rejection filters," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-25, no. 12, pp. 1134-1138, Dec., 1977.
- [5] T. Tamir and S. T. Peng, "Analysis and design of grating coupler," *Applied Optics*, vol. 14, pp. 235-254, 1977.
- [6] A. Hessel and A. A. Oliner, "A new theory of the Wood's anomalies on optical gratings," *Applied Optics*, vol. 4, no. 10, pp. 1275-1279, Oct., 1965.
- [7] D. Y. Tseng, A. Hessel, and A. A. Oliner, "Scattering by a multimode corrugated structure with application to P type Wood anomalies," *Alta. Freq.*, vol. 38, Special issue, pp. 82-88, 1969.
- [8] R. C. M. Li and A. A. Oliner, "Scattering resonances on a fast wave structure," *IRE Trans. on Antennas Propagat.* vol. AP-13, pp. 948-959, Nov., 1965.
- [9] Y. K. Cho, U. H. Cho, and J. H. Ko, "Blazing of the periodic strip grating on a grounded dielectric ; TE polarization case," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 23, pp. 2035-2037, Nov., 1995.
- [10] 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.
- [11] 백운석, 조용희, 이종익, 이철훈, 조영기, 손현, "접지된 유전체판 위에 위치한 스트립 격자에 TM편파된 평면파가 입사되는 경우에서의 Bragg 및 Off-Bragg blazing 현상-실험", 통신학회 논문지 22(4): pp. 605-610, 1997.
- [12] 백운석, 조용희, 이철훈, 조영기, 손현, "접지된 유전체판 위에 위치한 스트립 격자에 TE편파된 평면파가 입사되는 경우에서의 Bragg 및 Off-Bragg blazing 현상-실험", 전자공학회 논문지 제 34권 D편 제 5호, pp. 1-6, 1997.
- [13] 조용희, 홍재표, 조영기, "접지된 유전체슬랩 위에 위치한 주기적인 스트립격자구조에서의 전자기적 산란공진: TE편파 경우의 Bragg blazing 현상", 한국전자파학회 논문지, 제 10권 제 4호, pp. 594-606, 1999.
- [14] 조용희, 김종규, 이종익, 조영기, "접지된 유전체층 위에 위치한 주기적인 스트립격자구조에 TM편파된 평면파가 입사되는 경우에서의 산란현상", 춘계 마이크로파 및 전파학술대회는 문집 제 21권 1호, pp. 405-408, 1998.

조 응 희



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 전파공학(공학석사)
2000년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1989년 2월~1995년 2월: 국방과학

연구소 연구원

현재: 경동정보대학 컴퓨터정보통신계열 전임강사
[주 관심분야] 전자파산란, 안테나 이론, EMI/ EMC

김 중 규



1969년 12월 19일생
1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 전파전공(공학석사)
1999년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 전파전공 박사과정 수

료

[주 관심분야] 안테나 이론, 전자파산란, 전자장 수치해석

홍 재 표



1981년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1989년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1990년 3월~현재: 경일대학교 전자

정보공학과 부교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 전자기산란 및 전자기이론

조 영 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
1981년 9월~현재: 경북대학교 전자

공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 이론, 마이크로파공학, 전자기 산란 및 전자기 이론