

論文98-35D-12-2

평행평판 도파관 윗면에 위치한 유한한 슬릿배열로 구성된 비균일한 누설파 구조

(Non-uniform leaky wave structure composed of finite array of slits on the upper wall of a parallel-plate waveguide)

李鍾益*, 趙榮基**

(Jong-Ig Lee and Young-Ki Cho)

요 약

평행평판도파관에 유한한 개수의 슬릿으로 이루어진 비균일한 누설파 구조를 송(수)신 누설파 안테나와 격자 결합기의 관점에서 해석하였다. 특정한 복소 전파상수분포를 갖는 누설파 구조를 구성하기 위하여 누설파 구조를 따라 주기와 슬릿의 폭을 함께 변화시켰다. 가우스, 균일, 코사인, 코사인 제곱, Taylor 분포와 같은 다양한 전원(등가 자계전류)분포를 갖는 누설파 구조의 슬릿영역의 등가 자계전류와 복사특성에 관한 결과들을 제시하고 상호 비교하여 보았다.

Abstract

The non-uniform leaky wave structure of the slits in a parallel-plate waveguide is analyzed from the viewpoints of transmitting(receiving) leaky wave antenna and grating coupler. Period and slit width are simultaneously varied along the leaky wave structure to construct the leaky wave structure with a specific distribution of complex propagation constant. Some results for the equivalent magnetic current distributions over the slits and the radiation characteristics of the leaky wave structure with various source(equivalent magnetic current) distributions such as Gaussian, uniform, cosine, cosine-squared, and Taylor distributions are given and compared with each other.

I. 서론

접지된 유전체층 위에 도체스트립이 주기적으로 배

* 正會員, 金烏 工科大學校 電子工學部

(School of electronic Eng., Kum-oh National University of Technology)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University)

※ 본 논문은 정보통신 연구관리단의 연구지원과 학술진흥재단의 신진연구인력 연구장려금 지원으로 연구된 연구결과의 일부임.

接受日字:1998年8月7日, 수정완료일:1998年11月9日

열된 구조는 여러 가지 문제들의 관점에서 많이 연구되어 왔으며 그 중에서 누설파 안테나의 관점에서 유한한 주기적인 구조를 해석한 연구들이 최근에 이르러서 보고되고 있는데 이러한 연구들에서 유한한 주기구조를 구성하는 도체스트립의 개수가 충분히 커지면 무한한 주기적인 구조에서 관찰되는 현상들과 매우 유사한 현상들이 관찰되고 적절한 비균일한 구조를 구성하여 누설파 빔의 패턴합성이 어느 정도 가능성이 확인^[1-8] 되었다. 이러한 유한한 누설파 구조는 2차원 문제로 단순화하여 평행평판도파관의 윗면에 유한한 개수의 슬릿이 있는 구조^[1,3,5,6] 와 접지된 유전체층 위에 유한한 개수의 도체 스트립이 놓여 있는 구조^[2,4,7,8] 로 나눌 수 있으며 전자는 마이크로파 대역(비교적 낮

은 주파수 대역)의 도파관 슬롯 안테나에 부합하는 구조이고 후자는 밀리미터파 대역(비교적 높은 주파수 대역)의 누설과 안테나에 부합하는 구조이다.

누설과 빔의 복사패턴과 안테나의 개구면에 해당되는 슬롯(혹은 스트립)영역의 등가 자계전류가 푸리에 변환쌍(Fourier transform pair)을 이루고 등가 자계전류의 크기와 위상은 누설과 구조를 따른 복소 전파상수분포 $[\alpha(z) + j\beta(z)]$ 에 의해서 결정되므로, 전술된 누설과 안테나의 패턴합성에 관한 연구는 누설과 구조를 따라 적절한 복소 전파상수분포를 갖는 비균일한 누설과 구조를 구현하는 것이라 할 수 있다. 비균일한 누설과 구조를 구현하는 방법에 대한 기존의 연구들을 살펴보면 도파관의 높이를 변화시키는 방법^[11]과 도파관의 높이는 고정된 채 스트립의 폭과 슬롯의 폭을 변화시키는 방법^[2-4,7]이 있는데, 평면형의 안테나 구조를 유지하기 위하여 도파관의 높이는 일정한 값으로 유지한 채 도체 스트립의 폭과 스트립들 사이의 거리를 변화시키는 것이 도파관의 높이를 변화시키는 것 보다 제작상의 용이함이 있다. 스트립의 축과 입사전계의 편파 방향이 동일한 TE 편파의 경우에는 스트립의 축과 입사 자계의 편파 방향이 동일한 TM 편파의 경우에 비해서 좁은 범위의 감쇠상수 값을 얻을 수 있어서 비균일한 구조를 이용한 누설과 안테나의 성능개선이 상대적으로 제한됨을 패턴합성의 측면에서 확인한 연구가 V. I. Kalinichev에 의하여 발표^[34]된 바 있다. 그는 누설과 구조의 전류분포를 Taylor 분포형태로 구현하여 측엽레벨(Side Lobe Level ; SLL)을 특정한 값 이하로 유지하고자 하였는데 이를 위해서 누설과 구조의 스트립(혹은 슬릿)의 폭이 주기에 비하여 좁은 경우를 가정하고 감쇠상수와 위상정수의 분포를 스트립의 폭과 주기를 변화시켜서 구현하였고 그 결과로서 TM 편파의 경우에는 SLL이 약 -35dB이하로 유지될 수 있으나, TE편파의 경우에는 -20dB 정도의 값조차 구현이 어렵다는 것을 확인하였다. 이는 원하는 감쇠상수의 분포를 결정하는 스트립(혹은 슬릿)의 폭이 주기에 비해서 너무 작아지면 제작상의 정확도를 유지하는데 한계가 있어서 실제 이론적인 수치가 너무 작은 경우는 고려될 수 없는 것에서 기인하는 것이었다.

한편 전술된 송신 누설과 안테나 문제와는 대조적으로 자유공간으로부터 전자계가 누설과 안테나 구조에 입사되는 수신 경우의 누설과 안테나 문제를 생각해

볼 수 있는데, 이는 안테나의 개구면에 도달되는 입사 전력 중에서 격자영역을 통하여 안테나의 급전부로 수신된 전력의 비로서 정의되는 개구효율(aperture efficiency)에 관한 문제가 된다. 이러한 개구효율의 개선에 관한 문제는 집적광학분야의 결합기(coupler)의 결합효율(coupling efficiency)의 개선에 관한 문제^[9-11]와 직접적으로 관련된 문제이며 집적광학분야에서의 입사파는 가우시안 빔으로서 그리고 수신 누설과 안테나의 입사파는 평면파로서 각각 모델링된다. 최대의 결합효율을 얻기 위해서는 송신 안테나와 수신 안테나(혹은 격자 결합기)의 동작원리가 상호 가역적인 관계에 있어서, 안테나(혹은 결합기)의 개구면에 도달된 입사파와 송신 누설과 안테나의 개구에서의 전원 분포(source distribution)가 동일한 형태^[9]가 되었을 때 얻을 수 있으므로, 이 문제 역시 전술된 누설과 빔 패턴의 합성에서와 같이 누설과 구조를 따라 적절한 복소 전파상수분포를 구현하여 개구(결합)효율을 최대화하는 것이 그 목적이라 할 수 있다. 가우스 함수로서 입사 빔을 모델링하는 집적광학 분야에서는 결합기의 최대결합효율은 결합기가 균일한 구조일 때 약 80%정도이고, 이를 개선하기 위하여 프리즘 결합기에서는 프리즘과 유전체 도파로 사이의 간극을 조절하여 원하는 감쇠상수의 분포를 갖는 비균일한 결합기가 되도록 할 수 있으나 적절히 간극을 조절하기가 어려우므로 실제적으로는 이와 유사한 분포를 갖으면서 제작이 비교적 용이하도록 간극(혹은 감쇠상수)을 선형적으로 증가시키는 방법을 이용하여 결합효율이 95%정도에 이름이 이론적으로 확인된 바 있다^[9,10]. 수신 누설과 안테나의 관점에서 균일한 누설과 안테나 구조에 비해 개구효율을 증가시키기 위하여 많은 상용화된 누설과 안테나 구조가 안테나 구조를 따라 감쇠상수가 변화되는 적절한 비균일한 형태로 제작되고 있다^[12,13].

본 연구에서는 유한한 주기적인 누설과 구조로서 그림 1과 같은 평행평판도파관에 유한한 개수의 슬릿이 있는 구조를 택하고 슬릿의 폭과 슬릿간의 거리를 함께 변화시켜서 누설과 구조를 따라 비균일한 구조를 구성하되 기존의 연구^[3,4]에서와 같이 슬릿(혹은 스트립)의 폭이 주기에 비해 좁다는 제한을 두지 않고 송수신 누설과 안테나 및 격자 결합기의 관점에서 균일한 구조에 비하여 어느 정도 성능이 개선되는 지를 살펴보고자 한다.

송신 누설파 안테나의 패턴합성의 관점에서는 TE 편파의 경우에 대하여 슬릿의 등가 자계전류분포가 가우스 함수, 균일, 코사인함수, 코사인함수의 제곱, Taylor 분포 등인 경우들을 고려하여 각각의 분포의 장단점과 구현상의 용이성을 비교해 보고 스트립(혹은 슬릿)의 폭이 주기에 비해 좁은 경우에 대한 기존의 연구에 비해서 어느 정도 성능이 개선되는 가를 확인해 보고자 한다.

격자 결합기 관점에서는 가우시안 빔이 입사되었을 때 결합효율이 이론적인 최대결합효율 100%에 어느 정도 근접한 값이 되는 지를 확인해 보고, 수신 누설파 안테나 관점에서는 입사파를 평면파로 택하여 개구효율이 어느 정도에 이르는지 살펴보고자 한다.

II. 이론

그림 1은 본 논문에서 격자 결합기(혹은 송수신 누설파 안테나)의 구조로서 택한 평행평판 도파관 윗면에 유한한 개수의 슬릿이 있는 구조이고 영역 I은 자유공간 영역(μ_0, ϵ_0)이며 영역 II는 평행평판 도파관 내부의 유전체층($\mu_0, \epsilon_0, \epsilon_r$)이다. h는 평행평판 도파관의 높이, 슬릿의 총 개수는 K이며 주기(d_k)와 슬릿의 폭(a_k)이 누설파 구조를 따라 함께 변화되는 비균일한 구조이고 슬릿영역의 길이는 L_a 이다. 제안된 구조는 격자 결합기 관점에서 TE 편파된 가우시안 빔, 수신 누설파 안테나 관점에서는 TE 편파된 평면파, 송신 누설파 안테나관점에서는 평행평판 도파관의 TE₁ 모드으로써 각각 여기된다.

격자 결합기 및 수신 안테나 관점에서 입사파인 TE 편파된 가우시안 빔과 평면파의 전계는 슬릿영역(x=0)에서

$$E_i(z) = \begin{cases} e^{-jk_0 z} e^{-(g \cos \theta_0)^2 (z-z_0)^2}, & \text{Gaussian beam} \\ e^{-jk_0 z}, & \text{Plane wave} \end{cases} \quad (1)$$

로 표현될 수 있으며, 여기에서 $k_{z0} = k_0 \sin \theta_0$, θ_0 는 x축에 대한 입사각이며 $g = 1/\beta R$, $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, βR 은 가우시안 빔의 빔폭, 그리고 z_0 는 가우시안 빔 center의 z방향으로 원점에 대한 변위(offset position)이다.

등가원리를 적용하여 영역 I에서의 전자계 $E_I(x, z)$ 는 모든 슬릿이 단락된 평행평판 도파관 윗면에 가우

시안 빔이 입사되었을 때의 전자계 [입사파(E_i)와 반사파(E_r)의 합]와 등가 자계전류 [$-M(z) = -\hat{z}E_y(z)$]에 의한 산란전자계(E_s')의 합, 영역 II에서의 전자계 $E_{II}(x, z)$ 는 등가 자계전류 [$M(z) = \hat{z}E_y(z)$]에 의한 산란전자계(E_s'')로서 각각 표현할 수 있다^[14-16].

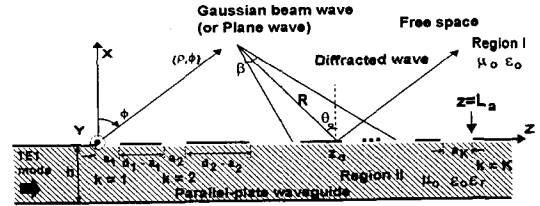


그림 1. 평행평판 도파관의 유한한 개수의 슬릿으로 구성된 비균일한 누설파 구조

Fig. 1. Non-uniform leaky wave structure of the finite number of slits in a parallel-plate waveguide.

각 슬릿에서 접선성분 자계(H_z)의 연속조건을 부과하여 슬릿의 등가 자계전류를 미지수로 하는 적미분방정식(integro-differential equation)을 얻고, 이를 구분정현함수(piecewise sinusoidal function)가 기저함수인 Galerkin방법을 이용하여 모멘트방법으로 풀면 선형행렬 방정식^[14-16]의 모든 행렬 요소들은 해석적으로 구할 수 있다.

격자 결합기(혹은 수신 안테나)의 관점에서 입사파 전력(P_{inc}) 중 슬릿을 통하여 도파관 내부로 결합되는 전력(P_{II})은 포인팅정리를 적용하여

$$P_{II} = -\frac{1}{2} \text{Re} \sum_{k=1}^K \int_{\text{slit } k} E_y H_z^* dz = P_{II}^- + P_{II}^+ \quad (2)$$

와 같이 계산할 수 있는데, 여기에서 P_{inc} 는 입사 가우시안 빔(혹은 슬릿영역에 입사되는 평면파)의 전력이고 $P_{II}^{+(-)}$ 는 $+(-)z$ 방향으로 도파관을 따라 도파되는 전력을 나타낸다. 격자 결합기의 결합효율은 제안된 누설파 구조가 전방 누설파구조(forward leaky wave structure)로서 혹은 후방 누설파구조^[17](backward leaky wave structure)로서 동작하는가에 따라서

$$\eta_c = \begin{cases} P_{II}^-/P_{inc} : \text{Backward leaky wave structure} \\ P_{II}^+/P_{inc} : \text{Forward leaky wave structure} \end{cases} \quad (3)$$

와 같이 정의하였다.

송신 누설과 안테나관점에서 제안된 누설과 구조는

$$E^i(x, z) = \sin(\pi x/h) e^{-jk_1 z} \quad (4)$$

와 같이 표현되는 도파관의 TE_1 모드로써 급전되며, 여기에서 $k_1 = \sqrt{\epsilon_r k_0^2 - (\pi/h)^2}$ 이다. 전원점으로부터 원거리에서의 전자계 $E^i(\rho, \phi)$ 는 한켈함수의 대각근사를 이용하여 계산^[6,14] 할 수 있고 이로부터 상대전력패턴, 복사전력, 그리고 이득을

$$\sigma(\phi) = 20 \log_{10} \left[\frac{|E^i(\rho, \phi)|}{|E^i(\rho, \phi)|_{\max}} \right] \text{ [dB]}, \quad (5)$$

$$P_{Rad} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |E^i(\rho, \phi)|^2 \rho d\phi = \eta_{Rad} P_{IN}, \quad (6)$$

$$\text{Gain} = 10 \log_{10} [2\pi D/P_{IN}] \text{ [dBi]} \quad (7)$$

와 같이 얻을 수 있으며, 여기에서 P_{IN} 은 입사 TE_1 모드의 전력, η_{Rad} 은 안테나효율, 그리고 $D = \frac{\rho}{2\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}} |E^i(\rho, \phi)|_{\max}^2$ 이다. 도파관내에서 격자영역으로부터 반사된 전력 $P_R (= \eta_R P_{IN})$ 과 격자영역을 지나 투과된 전력 $P_T (= \eta_T P_{IN})$ 는 도파관내의 전자계에 대한 표현식을 구하고 포인팅정리를 이용하여 계산^[6] 할 수 있다.

누설과 구조는 격자구조를 따라 복소 전파상수 $\alpha(z) + j\beta(z)$ 를 가지므로 손실이 있는 도파관으로 볼 수 있고 누설과 구조를 따른 임의의 한 점에서의 감쇠상수 $\alpha(z)$ 는 전계의 진폭분포 $f(z)$ 로부터

$$2\alpha(z) = \frac{f^2(z)}{\frac{1}{\eta_{Rad}} \int_0^{L_n} f^2(\zeta) d\zeta - \int_0^z f^2(\zeta) d\zeta} \quad (8)$$

와 같이 표현할 수 있다^[1-4]. 격자 결합기의 관점에서는 $f(z)$ 가 격자(슬릿)영역에 도달된 입사 가우시안 빔의 진폭분포와 동일한 가우스 함수분포를 갖도록 감쇠상수 분포 $\alpha(z)$ 를 구성하고, 수신안테나관점에서는 균일한 분포를 갖도록 구성하여야 높은 결합효율과 개구효율을 얻을 수 있다. 누설과 빔의 패턴합성의 관점에서는 $f(z)$ 가 코사인 함수 분포, 코사인 제곱 함수 분포, Taylor 분포^[18,19] 등이 되도록 제안된 누설과 구조에 구현하여 복사패턴의 변화를 관찰해 보고자 한다. 이 때 누설과 구조를 따라 누설과의 복사모드의 위상정수 $\beta_n(z)$ 는 일정한 값을 갖도록 슬릿의 폭과 이웃한 슬릿간의 간격들을 함께 변화시켜야 한다. 이

를 위해서 먼저 누설과의 복사모드의 위상정수가 특정한 값을 갖는 무한한 누설과 구조의 파라미터들 [유전체의 유전율과 높이를 고정한 상태에서의 슬릿의 폭과 주기] 과 감쇠상수를 계산하고 이 결과를, $f(z)$ 로부터 계산된, 원하는 감쇠상수의 분포 $\alpha(z)$ 를 구현하기 위해서, 직접 이용한 후 적절한 trimming 과정을 거쳐서 제안된 유한한 주기적인 구조의 등가 자계전류분포가 $f(z)$ 의 형태가 되도록 구성된 후 여러 가지 성능의 변화(개선)를 관찰해 보고자 한다.

그림 2는 한 예로서 누설과의 복사모드인 $n=-1$ 모드의 위상정수가 $\beta_{-1}/k_0 = -0.643$ 이 되는 무한한 누설과 구조의 파라미터들^[17] (주기, 슬릿의 폭, 감쇠상수) 을 $h=0.4503 \lambda_0, \epsilon_r=3.5$ 인 경우에 대하여 도시한 것으로서 감쇠상수의 증가에 따라 주기에 대한 슬릿의 폭은 증가하지만 주기는 전체적으로 약간 감소되므로 슬릿 폭에 따라 감쇠상수가 민감하게 변화되고 이에 따른 위상정수의 변화를 보상하기 위하여 약간의 주기의 변화가 필요함을 볼 수 있다.

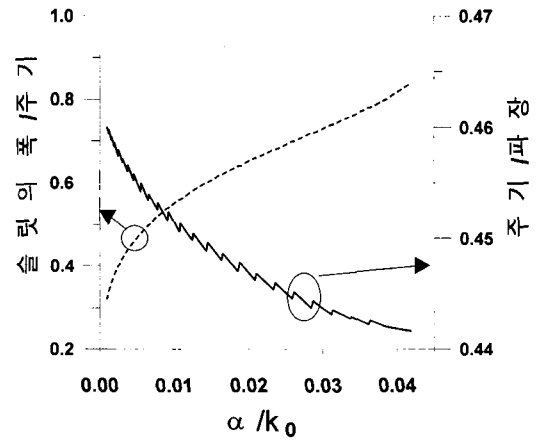


그림 2. $n=-1$ 누설과 모드의 위상정수가 $\beta_{-1}/k_0 = -0.643$ 이 되는 무한한 누설과 구조의 감쇠상수 (α/k_0) , 주기, 슬릿의 폭. $h=0.4503 \lambda_0, \epsilon_r=3.5$.

Fig. 2. Attenuation constant, period, and slit width of the infinite leaky wave structure with the phase constant of the $n=-1$ leaky mode $\beta_{-1}/k_0 = -0.643$. $h=0.4503 \lambda_0, \epsilon_r=3.5$.

III. 해석결과 및 고찰

먼저 격자 결합기의 관점에서 제안된 그림 1의 구조를 다루어 보고자 한다. 제안된 구조가 균일한 경우

에는 최대결합효율이 약 78.5%가 되는 반면에, 감쇠 상수를 선형적으로 증가^[10] 시키고자 주기는 고정시키고 슬릿의 폭만을 변화시켜서 91%를 얻을 수 있었고, 이와는 달리 슬릿의 폭과 주기를 함께 변화시킨 경우에는 94%이상의 결합효율을 관찰^[16] 하였다.

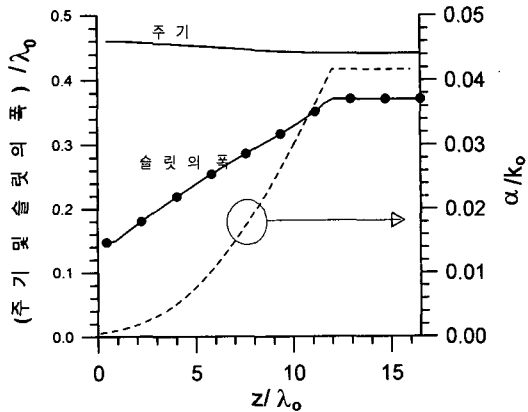


그림 3. $g=0.2$, $\theta_0=40^\circ$ 인 가우시안 빔과 동일한 등가 자계전류분포를 갖도록 구성된 격자 결합기의 감쇠상수, 주기, 슬릿의 폭의 변화. $h=0.4503\lambda_0$, $\epsilon_r=3.5$, $K=37$, $L_a=16.5\lambda_0$

Fig. 3. Attenuation constant, period, and slit width of the constructed grating coupler whose equivalent magnetic current distribution is the same as the amplitude distribution of a Gaussian beam with $g=0.2$, $\theta_0=40^\circ$, $K=37$, $L_a=16.5\lambda_0$.

결합효율을 개선하여 100%에 더욱 더 근접한 값이 되게 하기 위하여 슬릿의 등가 자계전류분포가 입사 가우시안 빔($g=0.2$, $\theta_0=40^\circ$)의 진폭분포와 동일한 형태가 되도록 그림 2의 결과를 이용하여 격자 결합기를 구성한 결과로서의 결합기의 주기와 슬릿의 폭을 그림 3에 나타내었고, 그림 3의 파라미터들을 갖는 누설파 안테나의 등가 자계전류(실선)와 입사 가우시안 빔의 진폭(점선)을 비교한 것을 그림 4에 도시하였다. 이때 슬릿의 총 개수(K)는 $K=37$, 슬릿영역은 $L_a=16.5\lambda_0$ 인데 그림 4에서 보는 바와 같이 안테나의 양 끝 부분들을 제외하면 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 5는 그림 3의 파라미터들을 갖는 결합기를 송신 누설파 관점에서 복사패턴을 계산한 것이며 측엽 레벨(SLL)이 -23dB , 누설파의 최대 복사각(ϕ_m)이 약 -38.25° 이고 이 때, 안테나효율(η_{Rad}) 99%, 이득 18.3 dBi임을 확인하였다.

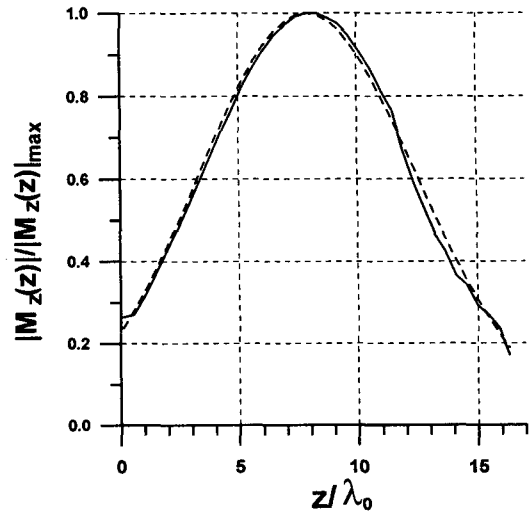


그림 4. $g=0.2$, $\theta_0=40^\circ$ 인 가우시안 빔(점선)과 그림 3의 파라미터들을 갖는 누설파 안테나의 등가 자계전류분포(실선)의 비교.

Fig. 4. Comparison between the amplitude distributions of a Gaussian beam(dashed line) with $g=0.2$ and $\theta_0=40^\circ$, and the equivalent slit magnetic current of the leaky wave antenna(solid line) with its geometrical parameters of Fig. 3.

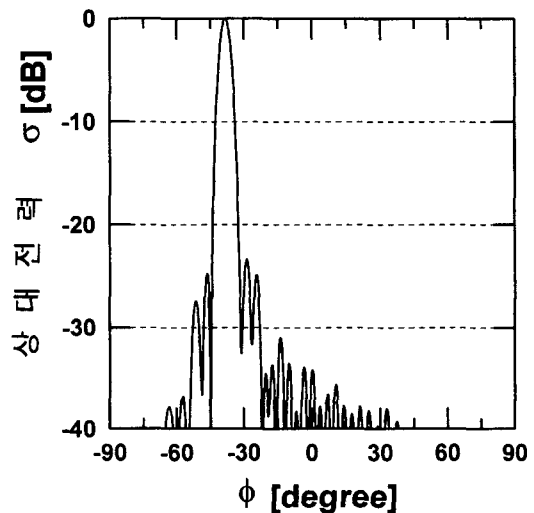


그림 5. 그림 4의 등가 자계전류분포에 부합하는 복사 패턴

Fig. 5. Radiation pattern corresponding to the equivalent magnetic current distribution of Fig. 4.

그림 6은 누설파의 복사각으로 가우시안 빔($g=0.2$)을 입사시켰을 때 가우시안 빔 center의 변위 z_0 에

대한 결합효율 [$\eta_c = P_{II}/P_{inc}$] 의 변화를 계산한 것으로서 최대결합효율(97.6%)이 관찰되는 $z_0 = 7.8 \lambda_0$ 와 그림 4의 등가 자계전류의 진폭이 최대가 되는 것이 동일함을 볼 때, 입사파와 누설파 관점에서의 슬릿의 전류분포가 슬릿영역에서 동일한 경우에 최대결합이 일어남을 확인할 수 있으며 $g=0.1$ 인 경우에 대하여 동일한 방법을 통해 결합효율이 98.5%에 이르는 관찰할 수 있다.

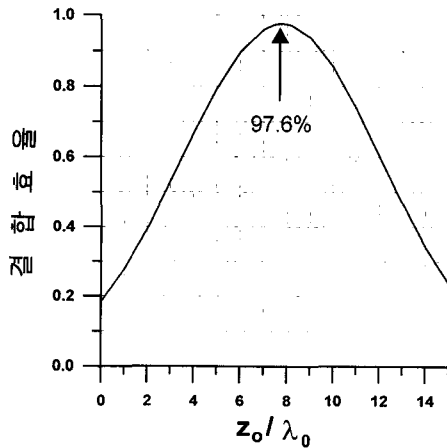


그림 6. 비균일 격자 결합기의 가우시안 빔의 변위 (z_0)에 따른 결합효율 $\eta_c (= P_{II}/P_{inc})$

Fig. 6. Coupling efficiency $\eta_c (= P_{II}/P_{inc})$ of the nonuniform grating coupler against the offset position z_0 .

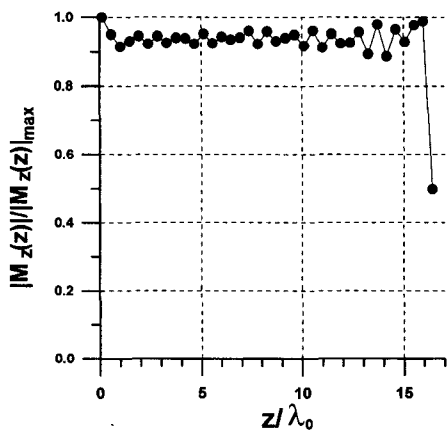


그림 7. 수신 누설파 안테나의 개구효율의 개선을 위한 균일한 등가 자계전류분포. $K=37, L_a=16.5 \lambda_0$

Fig. 7. Uniform distribution of equivalent magnetic current for improving the aperture efficiency of the receiving leaky wave antenna. $K=37, L_a=16.5 \lambda_0$.

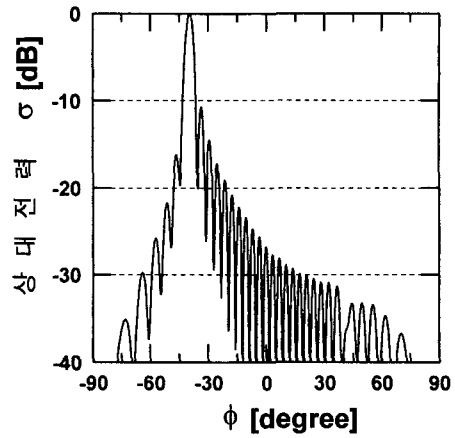


그림 8. 그림 7의 등가 자계전류분포에 부합하는 복사 패턴

Fig. 8. Radiation pattern corresponding to the equivalent magnetic current distribution of Fig. 7.

수신 누설파 안테나의 관점에서는 평면파가 입사되므로 송신 안테나의 관점에서 슬릿의 등가 자계전류분포를 균일하게 만들어야 높은 개구효율을 얻을 수 있을 것이다. 그림 7은 수신 안테나 관점에서 평면파 ($\theta_0 = 40^\circ$)를 효율적으로 수신하고자 비균일한 안테나 구조($K=37, L_a=16.5 \lambda_0$)를 구성하고 도파관의 TE_1 모드로 급전하였을 때 슬릿의 등가 자계전류분포를 계산한 것으로서 안테나의 양 끝단에서 변화가 상대적으로 심한 것을 볼 수 있다. 그림 7의 등가 자계전류분포에 의한 복사패턴을 계산한 결과 그림 8과 같이 최대복사각은 $\phi_m = -39.63^\circ$ 이며, 측면레벨은 $SLL = -11$ dB 정도로서 그림 5의 가우시안 빔의 형태인 경우에 비해 10dB 이상 큰 값이고 이 때, 안테나효율 $\eta_{Rad} = 93\%$, 도파관 내부에서 격자영역으로부터 반사된 전력 $\eta_R = 0.4\%$, 격자영역을 지나 투과된 전력 $\eta_T = 6.6\%$, 이득 18.6 dBi임을 확인하였다. 누설파의 복사각으로 평면파가 입사될 때 개구 효율 ($\eta_c = P_{II}/P_{inc}$)은 90%정도로서 균일한 구조에서의 약 80%에 비해서 10% 이상 개선된 값이다.

누설파 안테나의 패턴합성의 측면에서 그림 9와 10은 등가 자계전류분포가 코사인 함수분포를 갖도록 하기 위하여 $f(z) = f_0 \cos[(z - 0.5L_a)\pi/L_a]$ 인 경우에 대한 결과들로서 $K=35, L_a=15.7 \lambda_0, SLL = -20$ dB, $\phi_m = -38.5^\circ$ 이며 이 때, $\eta_{Rad} = 95.6\%$, $Gain = 17.5$ dBi, η_R

=0.1%, $\eta_T=4.3\%$ 이다. 코사인 함수분포는 다른 분포들에 비해서 감쇠상수의 변화가 크지 않아서 제안된 TE 편파의 경우에 있어서 구현상의 용이함이 있다.

며 코사인 분포(그림 9와 10)에 비해서 감쇠상수의 변화가 커서 구현이 다소 어렵고 주빔이 넓어져서 이득이 감소된다.

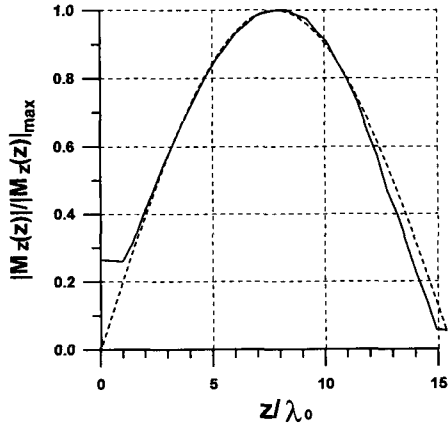


그림 9. 코사인 등가 자계전류분포(점선 : 원하는 분포). $K=35, L_a=15.7\lambda_0$.

Fig. 9. Cosine distribution of equivalent magnetic current(dashed line : desired distribution). $K=35, L_a=15.7\lambda_0$.

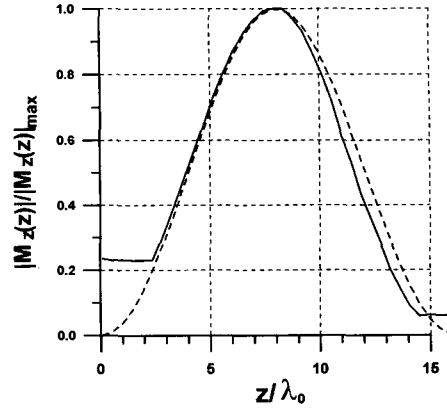


그림 11. 코사인 제곱 등가 자계전류분포(점선 : 원하는 분포). $K=36, L_a=16.2\lambda_0$.

Fig. 11. Cosine-squared distribution of equivalent magnetic current(dashed line : desired distribution). $K=36, L_a=16.2\lambda_0$.

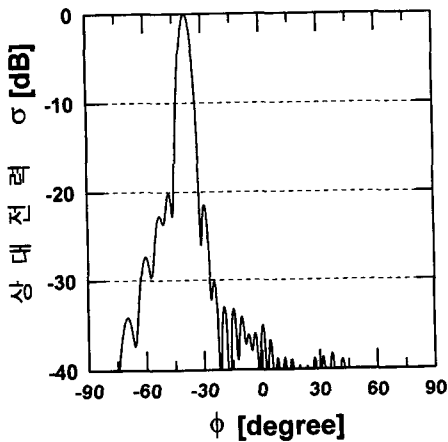


그림 10. 그림 9의 등가 자계전류분포를 갖는 누설파 안테나의 복사패턴.

Fig. 10. Radiation pattern corresponding to the equivalent magnetic current distribution of Fig. 9.

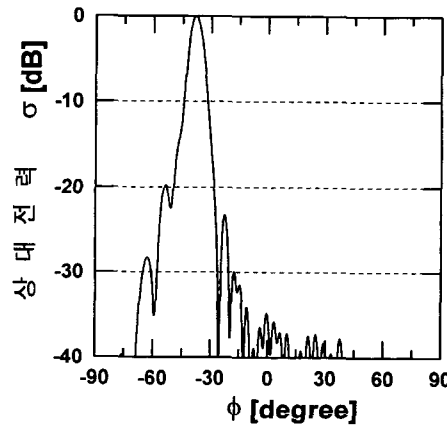


그림 12. 그림 11의 등가 자계전류분포를 갖는 누설파 안테나의 복사패턴

Fig. 12. Radiation pattern corresponding to the equivalent magnetic current distribution of Fig. 11.

그림 11과 12는 등가 자계전류분포가 코사인 제곱 함수의 분포를 갖도록 하기 위하여 $f(z)=f_0 \cos^2 [(z-0.5L_a)\pi/L_a]$ 인 경우에 대한 결과들로서 $K=36, L_a=16.2\lambda_0, SLL=-20\text{dB}, \phi_m=-38.25^\circ$ 이고 이 때, $\eta_{Rad}=93.1\%, \text{Gain}=16.5 \text{ dBi}, \eta_R=0.1\%, \eta_T=6.8\%$ 이

그림 13과 14는 $f(z)$ 가 $SLL=-20\text{dB}$ 인 Taylor 분포^[18,19]를 갖도록 구성된 경우의 결과들로서 $K=35, L_a=15.7\lambda_0, SLL=-19\text{dB}, \phi_m=-38.75^\circ$ 이고 이 때, $\eta_{Rad}=96.9\%, \text{Gain}=18.3 \text{ dBi}, \eta_R=0.2\%, \eta_T=2.9\%$ 이며 기존의 슬릿의 폭이 주기에 비해 좁은 경우에 대한 연구^[3-4]에서 구현하기 어려웠던 $SLL=-20\text{dB}$ 정도

를 무난히 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 그러나 감쇠상수가 매우 작아야 하는 부분에서는 구현할 수가 없어서 원하는 전류분포와 구현된 전류분포가 차이를 갖게 되고 이로 인하여 측엽레벨을 어느 정도(약 -25dB) 이하로 감소시키기에는 어려움이 있음을 제안된 TE편파의 경우에서 확인하였다.

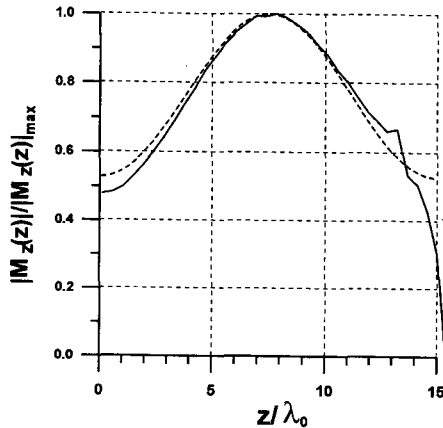


그림 13. Taylor 등가 자계전류분포(측엽레벨=-20dB, 점선 : 원하는 분포). $K=35$, $L_a = 15.7\lambda_0$.

Fig. 13. Taylor distribution of equivalent magnetic current(Side-lobe level=-20dB, dashed line : desired distribution). $K=35$, $L_a = 15.7\lambda_0$.

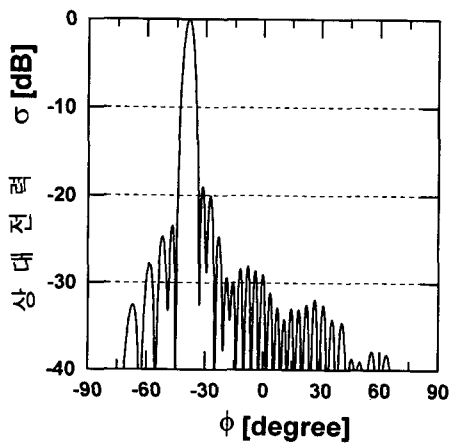


그림 14. 그림 13의 등가 자계전류분포를 갖는 누설파 안테나의 복사패턴

Fig. 14. Radiation pattern corresponding to the equivalent magnetic current distribution of Fig. 13.

이상의 다양한 형태의 등가전류분포들을 구현함에 있어서 이에 상응하여 요구되는 누설파 구조에 따른 복소 전파상수의 변화가 급격한 경우에 비하여, 복소

전파상수의 변화가 비교적 완만한 경우가 상대적으로 구현이 용이함을 확인하였다. 본 논문에서는 TE 편파의 경우를 고려하였는데 동일한 방법을 이용하여 TM 편파의 경우에 대하여 다양한 현상들을 관찰하여 비교해 보는 것도 매우 유용한 연구가 되리라 사료된다.

IV. 결론

평행평판 도파관의 윗면에 유한한 개수의 슬릿이 있는 비균일한 누설파 구조를 송수신 누설파 안테나와 격자 결합기 관점에서 해석하고 결합(개구)효율을 개선시키고자 슬릿의 폭과 스트립의 폭을 함께 변화시켜서 적절한 격자 결합기(누설파)구조를 구성하여 최대 결합(개구)효율이 98(90)% 이상에 이르는 것을 확인하였다. 또한 송신 누설파 안테나의 패턴을 합성하고자 슬릿의 등가 자계전류분포가 코사인, 코사인 제곱, Taylor 분포 등인 경우에 대하여 적절한 비균일한 누설파 구조를 구성하고 슬릿의 등가 자계전류분포, 복사패턴, 안테나효율, 이득, 측엽레벨 등을 계산하여 다양한 분포들의 실제 구현상의 용이성과 장단점을 비교하여 보았다.

참고 문헌

- [1] R. C. Honey, "A flush-mounted leaky-wave antenna with predictable patterns," *IRE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. AP-7, pp. 320-329, Oct. 1959.
- [2] J. A. Encinar, "Analysis and CAD techniques for periodic leaky-wave printed antennas : numerical and experimental results," *International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 88-99, 1994.
- [3] V. I. Kalinichev, "Analysis of planar slot arrays using magnetic currents and magnetomotive force," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-43, pp. 131-136, Feb. 1995.
- [4] V. I. Kalinichev, "Diffraction characteristics of a finite metal-strip grating integrated with a planar dielectric waveguide," *IEICE Trans. Electron.*, vol.

- E78-C, pp. 1447-1452, Oct. 1995.
- [5] C. W. Lee, J. I. Lee, and Y. K. Cho, "Analysis of leaky waves from a periodically slotted parallel-plate waveguide for finite number of slots," *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 20, pp. 1633-1634, Sept. 1994.
- [6] 이창원, 이종익, 윤리호, 조영기, "유전체로 채워진 유한한 주기적인 슬롯을 갖는 평행평판 도파관 누설파안테나 해석; E-편파", *전자공학회 논문지*, 32-A(12) : 48-54, 1995
- [7] J. I. Lee and Y. K. Cho, "Electromagnetic Scattering by Finite Strip Grating on a Grounded Dielectric Slab," *1997 IEEE AP-S/URSI Joint Symp., AP-S Digest, Montreal, Canada*, vol. 1, pp. 298-301, July 1997.
- [8] 이종익, 김종규, 조영기, "주기적인 스트립으로 장하된 접지된 유전체 누설파 안테나에 대한 해석," *Telecommunications Review*, 제7권 5호, pp. 553-562, 1997
- [9] R. Ulrich, "Optimum excitation of optical surface waves," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 61, no. 11, pp. 1467-1477, Nov. 1971.
- [10] A. Saad, H. L. Bertoni, and T. Tamir, "Beam scattering by non-uniform leaky-wave structure," *Proc. IEEE.*, vol. 62, no. 11, pp. 1552-1561, Nov. 1974.
- [11] T. Tamir ed., *Integrated Optics*, Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 1979, Ch. 3, pp. 83-137.
- [12] J. Hirokawa, M. Ando, N. Goto, N. Takahashi, T. Ojima, and M. Uematsu, "A single-layer slotted leaky waveguide array antenna for mobile reception of Direct Broadcast from Satellite," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. VH-44, no. 4, pp. 749-755, Nov. 1995.
- [13] A. Henderson and J. R. James, "Low-cost flat-plate array with squinted beam for DBS reception," *IEE Proc. H.*, vol. 134, no. 6, pp. 509-514, Dec. 1987.
- [14] J. I. Lee and Y. K. Cho, "Electromagnetic scattering of a Gaussian beam wave from finite periodic slots in a parallel-plate waveguide," *International Symposium on Antennas and Propagation, Chiba, Japan*, vol. 1, pp. 29-32, Sept. 1996.
- [15] 이종익, 조영기, "평행평판 도파관의 윗면에 있는 주기적인 슬롯으로 이루어진 유한한 격자구조에 의한 가우시안 빔의 회절," *전자공학회 논문지*, 34-D(10):39-44, 1997년
- [16] 이종익, 김종규, 조영기 "비균일 격자 결합기 구조에 의한 결합효율의 개선," *추계 마이크로파 및 전파전파연구회 학술발표회 논문집*, pp. 273-276, 9월, 1997
- [17] 이종익, 조용희, 윤리호, 홍재표, 박진택, 조영기, 손현, "접지된 유전체층 위의 스트립격자의 Off-Bragg blazing," *전자공학회 논문지*, 제 33권 A편 제10호 pp. 90-97, 1996
- [18] T. T. Taylor, "Design of line-source antennas for narrow beamwidth and low side lobes," *IRE Trans. Antenna and Propagat.*, pp. 16-28, Jan. 1955.
- [19] C. A. Balanis, *Antenna theory*, John Wiley & Sons, Inc., ch. 6-7, 1997.

저 자 소 개



李 鍾 益(正會員)

1967년 1월 6일생. 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1998년 3월 ~ 현재 금

오공과대학교 전자공학부 연구교수. 주관심분야는 전자기산란 해석 및 응용, 평면형 안테나

趙 榮 基(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수