

論文99-36D-8-6

접지된 유전체층 위에 위치한 유한한 도체스트립 배열구조로 구성된 비균일 누설파구조

(Non-uniform Leaky Wave Structure Composed of Finite Conducting Strip Array on a Grounded Dielectric Layer)

李 鍾 益 *, 李 喆 勳 **, 趙 榮 基 **

(Jong-Ig Lee, Cheol-Hoon Lee, and Young-Ki Cho)

요 약

접지된 유전체층 위의 유한한 개수의 도체스트립에 의한 전자기 산란문제를 TM편파의 경우에 대하여 송수신 누설파 안테나와 격자결합기의 관점에서 고려하였다. 도체스트립에 유기된 전류를 미지수로 하는 적미분 방정식을 유도하고 모멘트법을 이용하여 풀었다. 도체스트립에 걸쳐서 특정한 전위(전류)분포를 갖는 비균일한 누설파 구조를 구성하기 위하여 누설파 구조를 따라 인접하는 스트립들 사이의 거리와 스트립의 폭이 함께 변화되었다. 도체스트립의 전류분포 및 표면파 전력에 대한 해석결과들로부터 적절히 구성된 비균일한 누설파 구조의 수신 누설파 안테나 및 격자결합기 관점에서의 최대 결합효율이 균일한 구조에서의 80%에 비해 15%정도 개선된 95%가 됨을 관찰하였다.

Abstract

Electromagnetic scattering by finite number of conducting strips loaded on a grounded dielectric is considered for the TM polarization case from the viewpoints of transmitting(receiving) leaky wave antenna and grating coupler. An integro-differential equation whose unknowns are the induced currents over the strips is derived and solved by use of the method of moments. In order to construct the non-uniform leaky wave structures with specific source(current) distributions over the strips, distances between two adjacent strips and strip width are simultaneously varied along the structure. From some results for the current distributions over the strips and surface wave powers, it is observed that the maximum coupling efficiencies of the appropriately constructed non-uniform leaky wave structures from the viewpoints of both a receiving leaky wave antenna and a grating coupler amount upto 95%, which are about 15% improvements compared with those(80%) of the uniform structures.

* 正會員, 東西大學校 情報通信工學部

(Division of Information and Communication Eng., Dongseo University)

** 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 1997년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음(KRF-97-002-E00198).

接受日字:1998年10月19日, 수정완료일:1999年7月22日

I. 서론

접지된 유전체층 위의 주기적인 도체스트립 배열에 의한 산란문제에 대한 대부분의 연구들이 주로 무한한 주기적인 구조에 대한 것으로서 제한되어 있었으나 최근에 이르러서 유한한 주기적인 구조에 대한 연구결과들이 일부 보고된 바 있다^[1-6]. 이러한 연구들에서 무한한 주기적인 구조에서 관찰되는 현상들과 매우 유사한 현상들이, 충분히 큰 개수의 주기를 갖는 유한한 주

기적인 구조에서도 관찰됨이 확인되었다. 그러나 실용적인 응용분야들에서 균일한 주기구조로써 구성된 유한 격자구조의 소자로서의 성능(효율)이 다소 제한됨이 확인되고 이를 개선시키기 위해 유한격자구조이면서 비균일한 구조를 적절히 구성하는 것이 효율이나 성능을 개선하기 위해 필요하므로 이에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 이에 대한 대표적인 연구로서 V. Kalinichev는 접지된 유전체층 위에 스트립 배열이 장하된 구조를 누설파안테나의 관점에서 해석^[1,3] 하였으며 해석방법에 있어서는 인접하는 스트립들 사이의 거리 및 파장에 비해 스트립의 폭이 매우 작다는 가정하에 스트립에 유기된 전류를 에지조건(edge condition)을 만족하는 하나의 함수로서 근사적으로 표현하여 해석을 단순화하였다. 또한 전류분포를 Taylor 분포^[7,8] 형태로 구현하여 누설파 빔의 측엽 레벨(side lobe level)을 조절하고 지향성을 개선하는 것이 제안된 구조에서 어느 정도 가능함을 확인하였다. 그러나 이러한 연구가 스트립의 폭이 좁은 경우에만 타당하고 송신 안테나 문제에만 국한된 것이므로 스트립의 폭에 대한 제약이 없는 보다 일반적인 경우와 전원이 자유공간으로부터 스트립영역에 입사되는 수신안테나 또는 격자결합기의 경우에 대한 해석이 필요하다고 생각된다.

본 연구에서는 접지된 유전체층 위에 도체스트립이 장하된 구조를 TM 편파된 경우에 대하여 송수신 누설파안테나와 격자결합기(grating coupler)의 관점에서 해석해 보고자 한다. 스트립의 폭과 인접하는 스트립들간의 거리는 임의로 변화되나 유전체층의 높이는 일정한 평면형 구조이다. 도체스트립에 걸쳐서 접선성분 전계가 0이라는 경계조건으로부터 스트립에 유기된 전류를 미지수로 하는 적미분 방정식을 유도한 후 구분정현(piecewise sinusoidal)함수를 기저함수로하는 Galerkin 방법을 이용하여 풀고자 한다. 제안된 누설파 구조의 성능을 균일한 구조에 비해 개선시키고자 스트립의 폭과 인접하는 스트립들 사이의 거리를 적절히 변화시켜서 스트립에 유기된 전류분포를 원하는 전류분포 형태로 구성하고 복사패턴, 표면파 전력, 이득 등을 계산하여 개선정도를 점검해 보고자 한다.

II. 이론

1. 송신 누설파안테나의 관점

그림 1은 본 연구에서 제안된 비균일한 스트립 격자구조로서 영역 I은 자유공간 영역(μ_0, ϵ_0), 영역 II는 접지된 유전체층($\mu_0, \epsilon_0, \epsilon_r$)이며 y 방향으로 변화가 없는 2 차원 구조이다. 스트립의 폭(w_k)과 인접하는 스트립간의 거리(d_k)는 임의로 변화되나 유전체층의 높이(h)는 일정한 평면형 구조이고 스트립 영역의 길이는 L_a , 스트립의 총 개수는 K이며 자체가 y 방향으로 편파된 성분만을 갖는 TM 편파를 고려하였다. 스트립 격자영역으로 입사되는 표면파 TM_0 모드는

$$H_z(x, z) = \begin{cases} \hat{y} e^{-\beta_0(k)x} e^{-jk_z z} & , x > 0 \\ \hat{y} \frac{\cos[\beta(k_z)(x+h)]}{\cos[\beta(k_z)h]} e^{-jk_z z} & , -h < x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

로서 표현되고, 여기에서 k_z 는 표면파의 z방향 전파상수로서 고유치방정식(eigenvalue equation)

$$D_{TM}(k_z) = \epsilon_r \beta_0 \cos \beta h + j \beta \sin \beta h = 0 \quad (2)$$

을 만족하는 해이며 β_0 과 β 는 각각

$$\beta_0(k_z) = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 - k_z^2} & , |k_z| \leq k_0 \\ -j\sqrt{k_z^2 - k_0^2} & , |k_z| > k_0 \end{cases},$$

$$\beta(k_z) = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 \epsilon_r - k_z^2} & , |k_z| \leq k_0 \sqrt{\epsilon_r} \\ -j\sqrt{k_z^2 - k_0^2 \epsilon_r} & , |k_z| > k_0 \sqrt{\epsilon_r} \end{cases},$$

로서 주어지고 $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ 이다.

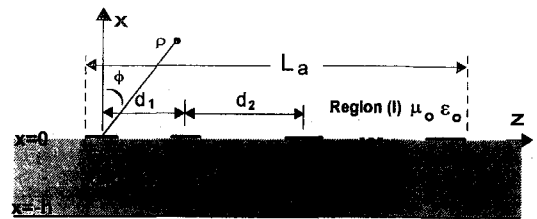


그림 1. 접지된 유전체층 위의 유한한 개수의 스트립으로 구성된 누설파 구조

Fig. 1. Leaky wave structure of the finite number of strips on a grounded dielectric.

파수 영역 방법(spectral-domain method)을 이용하여 도체 스트립에 유기된 전류 $J(z)$ 에 의한 자체 벡터 포텐셜 $A_z(x, z)$ 를 각 영역에서의 그린 함수 $\hat{G}_{\mathcal{R}D}$ 를 구하여

$$A_z(x, z) =$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\text{strip region}} \int_{-\infty}^{\infty} J(z') \tilde{G}_{II}(x, k_z; z') e^{-jk_z z} dk_z dz' \quad (3)$$

와 같이 계산할 수 있고, 여기에서

$$\tilde{G}_I(x, k_z; z') = \frac{\mu_0 \beta}{\beta_0} \frac{\sin \beta h}{D_{TM}} \cdot e^{-j\beta_0 x} e^{jk_z z'} \quad (4)$$

$$\tilde{G}_{II}(x, k_z; z') = \frac{\mu_0 \epsilon_r \beta_0}{\beta} \frac{\sin \beta(x+h)}{D_{TM}} \cdot e^{jk_z z'} \quad (5)$$

이다. 식 (3)으로서 표현되는 벡터포텐셜로부터 각 영역에서의 산란 전자계(E^s, H^s)에 대한 표현식을 얻을 수 있고 이를 입사표면파에 대한 표현식과 합하여 총 전자계(E, H)를 얻을 수 있다. 스트립 영역에서 접선 성분 전체 [$E_z(0, z)$] 가 0이라는 경계조건

$$E_z(0, z) = E_z^i(0, z) + E_z^s(0, z) = 0, \quad \text{over the strip region} \quad (6)$$

으로부터

$$|\beta_0(k_z)| e^{-jk_z z} = (k_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2}) \frac{A_z(0, z)}{\mu_0} \quad (7)$$

로서 표현되는 적미분 방정식을 얻을 수 있다. 이를 모멘트 방법으로 풀기 위하여 스트립의 전류를 구분정현함수의 합으로서

$$J(z') = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_k} I_{kn} S_{kn}(z') \quad (8)$$

와 같이 표현할 수 있으며, 여기에서 I_{kn} 은 미지의 복소계수(complex coefficients)이고

$$S_{kn}(z') = \begin{cases} \frac{\sin[k_0(\Delta_k - |z' - z_{kn}|)]}{\sin k_0 \Delta_k}, & |z' - z_{kn}| \leq \Delta_k \\ 0, & \text{else where} \end{cases}, \quad \begin{matrix} z_{kn} = \sum_{i=1}^{k-1} d_i - 0.5 w_k + n \Delta_k \\ \Delta_k = w_k / (N_k + 1) = 2a / N \end{matrix}$$

이다. 기저함수와 동일한 함수로 테스트팅(Galerkin 방법)하면 선형행렬방정식

$$[Z_{kn}^{im}][I_{kn}] = [V^{im}] \quad (9)$$

$1 \leq i, k \leq K, 1 \leq m \leq N_i, 1 \leq n \leq N_k$

을 얻게 되며, 여기에서 인가행렬요소 V^{im} 과 임피던

스 행렬요소 Z_{kn}^{im} 은 각각

$$V^{im} = \frac{|\beta_0(k_s)| 2k_0 e^{-jk_s z_m}}{\sin k_0 \Delta_i (k_s^2 - k_0^2)} [\cos k_0 \Delta_i - \cos k_s \Delta_i] \quad (10)$$

$$Z_{kn}^{im} = -\frac{k_0}{\sin k_0 \Delta_i} [2P_{kn}(z_{im}) \cos k_0 \Delta_i - P_{kn}(z_{im} - \Delta_i) - P_{kn}(z_{im} + \Delta_i)], \quad (11)$$

$$P_{kn}(z_{im}) = \frac{k_0}{\pi \sin k_0 \Delta_k} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\beta \sin \beta h}{\beta_0 D_{TM}} e^{-j\beta(z_{im} - z_m)} \cdot \frac{(\cos k_0 \Delta_k - \cos k_z \Delta_k)}{k_z^2 - k_0^2} dk_z \quad (12)$$

로서 표현된다.

행렬방정식을 풀어서 구한 전류로부터 여러 가지 물리량들을 계산할 수 있는데 격자영역으로부터 반사된 표면파전력과 격자영역을 지나 투과된 표면파전력은 그린함수의 표면파 전파상수 $k_z = \pm k_s$ 에서의 유수(residue)를 계산하여 산란표면파에 대한 표현식을 구하고 포인팅(Poynting)정리를 이용하여 계산할 수 있으며 입사파 전력(P_i)으로 정규화된 반사전력(P_{Rn})과 투과전력(P_{Tn})은

$$P_i = \frac{k_s \eta_0}{2k_0} \left\{ \frac{1}{|\beta|} + \frac{h}{\epsilon_r \cos^2 \beta h} + \frac{|\beta|}{\beta^2} \right\} \Big|_{k_z = k_s} \quad (13)$$

$$P_{Rn} = \left| J(k_z) \frac{\beta \sin \beta h}{\partial D_{TM}(k_z) / \partial k_z} \Big|_{k_z = -k_s} \right|^2 \quad (14)$$

$$P_{Tn} = \left| 1 + J(k_z) \frac{\beta \sin \beta h}{\partial D_{TM}(k_z) / \partial k_z} \Big|_{k_z = k_s} \right|^2 \quad (15)$$

와 같이 계산되며, 여기에서 $J(k_z)$ 는

$$J(k_z) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_k} I_{kn} e^{jk_z z_m} \frac{2k_0 (\cos k_0 \Delta_k - \cos k_z \Delta_k)}{(k_z^2 - k_0^2) \sin k_0 \Delta_k} \quad (16)$$

이다. 자유공간으로 복사된 전자계는 saddle-point 방법을 이용하면

$$H_y^s(\rho, \phi) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi k_0 \rho}} e^{-j(k_0 \rho - \pi/4)} J(k_z) \frac{j\beta_0 \sin \beta h}{D_{TM}} \Big|_{k_z = k_s \sin \phi} \quad (17)$$

와 같이 주어지며, 이로부터 자유공간으로의 복사패턴 $\sigma(\phi)$, 복사전력 P_{Roa} , 이득 Gain 등을 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma(\phi) = 20 \log_{10} \left[\frac{|H_y^s(\rho, \phi)|}{|H_y^s(\rho, \phi)|_{\max}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (18)$$

$$P_{Rad} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} D(\phi) d\phi \quad (19)$$

$$Gain[dBi] = \frac{2\pi D(\phi)|_{\max}}{P_i}, \quad (20)$$

$$D(\phi) = \frac{\eta_0}{2\pi k_0} \left| \mathcal{J}(k_z) \frac{j\beta_0 \beta \sin \beta h}{D_{TM}} \Big|_{k_z = k_0 \sin \phi} \right|^2 \quad (21)$$

2. 격자결합기 및 수신 누설파안테나의 관점

제안된 구조는 격자결합기 관점에서는 TM 편파된 가우시안빔, 수신 누설파안테나 관점에서는 TM 편파된 평면파로써 각각 여기되며 스트립영역($x=0$)에서의 입사 가우시안빔과 평면파는

$$\begin{aligned} \underline{H}_i(z) = & \\ & \begin{cases} \hat{y} \exp\left\{-\left[\frac{(z-z_0)\cos\theta_0}{\Theta R}\right]^2 - jk_0 z \sin\theta_0\right\}, & \text{Gaussian beam} \\ \hat{y} \exp(-jk_0 z \sin\theta_0), & \text{Plane wave} \end{cases} \end{aligned} \quad (22)$$

로서 표현될 수 있으며, 여기에서 θ_0 는 x축에 대한 입사각, ΘR 은 가우시안빔의 빔폭, 그리고 z_0 는 가우시안빔 center의 z방향으로 원점에 대한 변위(offset position)이다.

각 영역에서의 전자계는 스트립이 제거된 접지된 유전체층에 전원이 입사되었을 때의 전자계와 스트립에 유기된 전류에 의한 산란전자계의 합으로서 표현할 수 있으며 이 때 접지된 유전체층으로부터 반사된 자계(H_r)는

$$\underline{H}_r(x, z) = \hat{y} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{D_{TM}^*}{D_{TM}} \underline{H}_i(k_z) \exp[-j(\beta_0 x + k_z z)] dk_z \quad (23)$$

로서 표현되며, 여기에서 $\underline{H}_i(k_z)$ 는 식 (22)로서 표현되는 입사파의 푸리에 변환쌍(Fourier transform pair)으로서 평면파에 대한 것과 $\Theta R > 1$ 인 가우시안빔에 대한 근사식은 각각 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \underline{H}_i(k_z) = & \\ & \begin{cases} \hat{y} \frac{\Theta R \sqrt{\pi}}{\cos\theta_0} \exp\left\{-\left[\frac{\Theta R(k_z - k_0 \sin\theta_0)}{2\cos\theta_0}\right]^2 - jz_0(k_z - k_0 \sin\theta_0)\right\}, & \text{Gaussian beam} \\ \hat{y} 2\pi \delta(k_z - k_0 \sin\theta_0), & \text{Plane wave} \end{cases} \end{aligned} \quad (24)$$

누설파의 복사문제를 다른 1결과 동일한 과정을 거쳐서 적미분 방정식과 행렬방정식을 얻을 수 있고 격자결합기(수신 누설파안테나)의 결합효율(개구효율) η_c 는 입사 가우시안빔(평면파)의 전력(P_{inc})에 대한 격자영역을 통해서 결합되어 $+$ ($-$) z 방향으로 전파하는 표면파 전력 $P_{surf}^{+(-)}$ 의 비율로서 기술되며 제안된 누설파 구조가 전방 누설파 구조(forward leaky wave structure)로서 혹은 후방 누설파 구조[9] (backward leaky wave structure)로서 동작하는가에 따라서

$$\eta_c = \begin{cases} P_{surf}^- / P_{inc} : \text{Backward leaky wave structure} \\ P_{surf}^+ / P_{inc} : \text{Forward leaky wave structure} \end{cases} \quad (25)$$

와 같이 정의되며, 여기에서 입사전력 P_{inc} 과 표면파전력($P_{surf}^{+(-)}$)는

$$P_{inc} = \begin{cases} \Theta R \eta_0 \sqrt{0.5\pi}, & \text{Gaussian beam} \\ L_a \eta_0 \cos\theta_0, & \text{Plane wave} \end{cases} \quad (26)$$

$$P_{surf}^{+(-)} = P_i \left| \mathcal{J}(k_z) \frac{\beta \sin \beta h}{\partial D_{TM}(k_z) / \partial k_z} \Big|_{k_z = +(-)k_0} \right|^2 \quad (27)$$

이다.

III. 수치해석결과

먼저 송신 누설파안테나 관점에서 누설파 빔의 복사 패턴을 합성하고자 도체 스트립에 유기된 전류를 Taylor 분포^[7,8] 형태로 구성하여 측엽레벨(Side Lobe Level : SLL)을 특정한 값 이하로 유지하는 것이 가능한 지를 살펴보고자 한다. 이를 위하여 먼저 누설파 빔의 방향(ϕ_m)과 측엽레벨, 측엽의 개수(\bar{n}) 등으로부터 원하는 전류분포의 진폭과 위상변화를 계산한 후 이것과 제안된 그림 1의 누설파 구조의 도체 스트립에 유기된 전류의 진폭과 위상이 동일한 분포를 갖도록 구성하면 측엽레벨이 원하는 값 이하로 유지될 수 있으리라 기대된다. 본 논문에서는 편의상 $\epsilon_r = 2.5$, $h = 0.35 \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ 인 유전체 슬랩을 고려하였으며 누설파의 복사각도는 x축에 대해 -37° 방향이 되도록 비균일한 구조를 구성해 보고자 한다. 스트립의 폭과 인접하는 스트립들 사이의 거리를 변화시켜서 스트립에 유기된 전류들의 진폭 및 위상을 어느 정도 조절할 수 있으므로 원하는 전류 분포(진폭과 위상변화)가 정해

지면 적절한 수정의 과정을 반복하여 제안된 누설파 구조의 전류분포를 원하는 형태에 근접하도록 구현해 가게 된다.

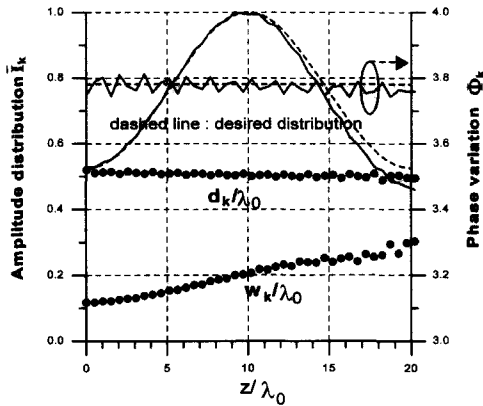


그림 2. Taylor 전류분포(측엽레벨 = -20dB, $\bar{n} = 3$), 스트립들 사이의 거리 및 스트립의 폭. 점선 : 원하는 분포. $K=41$, $L_a = 20.23\lambda_0$, $\epsilon_r = 2.5$, $h = 0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

Fig. 2. Taylor current distribution(Side-lobe level=-20dB, $\bar{n} = 3$), distance between the strips, and strip width. Dashed line : desired distribution. $K=41$, $L_a = 20.23\lambda_0$, $\epsilon_r = 2.5$, $h = 0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

그림 2는 복사패턴의 측엽레벨이 $SLL = -20dB$, $\bar{n} = 3$ 에 부합하는 전류분포를 도시한 것으로서 점선은 원하는 진폭분포와 위상변화를 도시한 것이고 실선은 제안된 누설파 구조의 것을 도시한 것이다. 진폭은 각 스트립의 중앙에서의 전류($I_k = I_{k, (N_k+1)/2}$)에 스트립의 폭을 곱한 후 최대치에 대하여 정규화한 $\bar{I}_k \equiv \frac{|w_k I_k|}{|w_1 I_1|_{max}}$ 로서 정의하고 위상변화는 $\phi_k = \frac{\angle I_{k+1} - \angle I_k}{d_k/\lambda_0}$ 으로 정의하였는데 ϕ_k 는 격자구조를 따라 한 파장의 길이 변화에 따른 위상변화를 의미하며 -37° 방향으로 누설파 빔이 복사되기 위해서는 $\phi_k = 2\pi \sin 37^\circ = 3.781$ 이 되는 것이 이상적이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 약간의 차이는 있으나 비교적 원하는 전류분포와 제안된 구조의 진폭과 위상분포가 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 3은 그림 2의 전류분포에 의한 누설파안테나의 복사패턴을 나타내며 이 때, 격자영역의 길이는 약 $20.23\lambda_0$ (총 스트립의 개수는 $K=41$)이고 반사전력이 0.15%, 투과전력 3%, 복사전력 96.85%, 최대 복사각

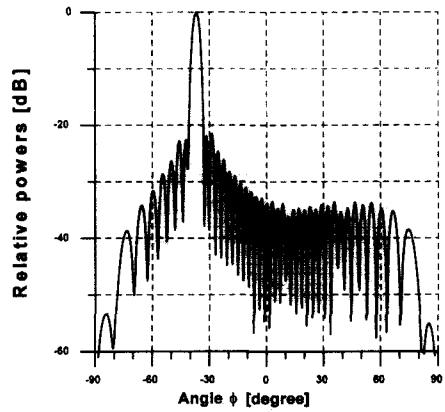


그림 3. 그림 2의 전류분포를 갖는 누설파안테나의 복사패턴

Fig. 3. Radiation pattern corresponding to the current distribution of Fig. 2.

도 -36.75° , 이득 19.75dBi 등이며 전력보전관계(반사전력 + 투과전력 + 복사전력 = 입사전력)는 약 $10^{-3}\%$ 이내의 오차를 갖음을 확인하여 해석결과의 타당성을 검증하였다 [참고로 V. Kalinichev의 논문^[1]의 제시된 결과들의 정확도는 약 1%이내의 오차를 가짐으로서 스트립의 폭이 좁은 경우들에 대한 것이지만 다소 큰 오차를 갖음을 볼 수 있다]. 또한 본 논문의 해석결과들의 타당성을 점검하기 위한 다른 방법으로서 스트립의 폭과 주기가 일정한 균일한 구조에서 스트립의 개수가 증가됨에 따라서 관찰되는 현상들이 무한한 주기적인 구조에서 관찰되는 현상들과 잘 일치^[1,3] 하는 것과 기존의 연구에서 제시된 결과들^[1,3] 과 동일한 물리적인 조건하에서 본 논문에서 제시된 방법으로 구한 결과들이 잘 일치함을 확인하였다.

그림 4는 복사패턴의 측엽레벨이 $SLL = -35dB$ 에 부합하는 전류분포와 도시한 것으로서 전류의 위상과 진폭의 변화가 원하는 분포와 잘 일치함을 볼 수 있고 이러한 전류분포를 갖는 누설파안테나의 복사패턴은 그림 5와 같다. 이 때, 격자영역의 길이는 약 $20.25\lambda_0$ ($K=41$)이고 반사전력이 0.04%, 투과전력 3.63%, 복사전력 96.33%, 최대 복사각도 -36.75° , 이득 18.93dBi 등이다.

전술된 그림 2 ~ 그림 5의 경우에서 전원이 TM 편파된 표면파이었던 경우에는 달리 자유공간 영역으로부터 평면파가 제안된 누설파 구조에 입사되는 경우를

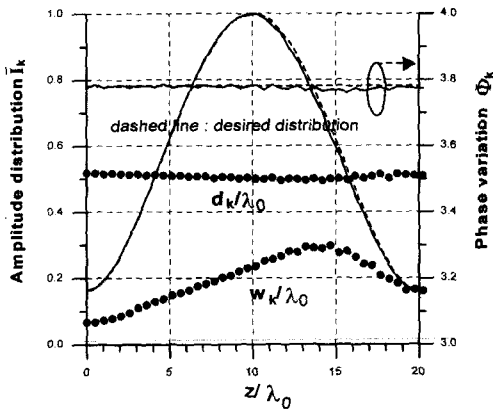


그림 4. Taylor 전류분포(측엽레벨 = -35dB, $\bar{n} = 5$), 스트립들 사이의 거리 및 스트립의 폭. 점선 : 원하는 분포. $K=41$, $L_a=20.25\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

Fig. 4. Taylor current distribution(Side-lobe level=-35dB, $\bar{n} = 5$), distance between the strips, and strip width. Dashed line : desired distribution. $K=41$, $L_a=20.25\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

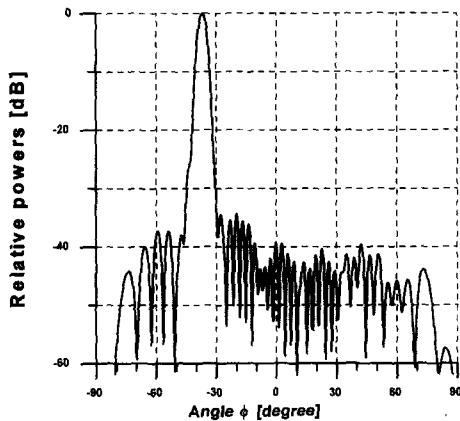


그림 5. 그림 4의 전류분포를 갖는 누설파안테나의 복사패턴

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

생각해 볼 수 있는데 이는 제한된 구조를 수신안테나로 가정하고 전원이 충분히 멀리 떨어진 상황으로서 안테나 영역에 도달된 전력에 대한, 안테나의 급전부로 수신된 전력의 비율을 식 (25)와 같이 개구효율로서 정의할 수 있다. 이러한 수신 안테나 문제는 송신 안테나 문제와 상호 가역적인 관계^[10, 11]에 있으므로 제한된 구조를 송신 안테나 관점에서 표면파로 급전하

였을 때 스트립의 전류의 진폭분포가 균일한 분포를 갖으면서 복사효율이 최대가 되도록 설계하여 수신안테나의 개구효율을 높일 수 있다.

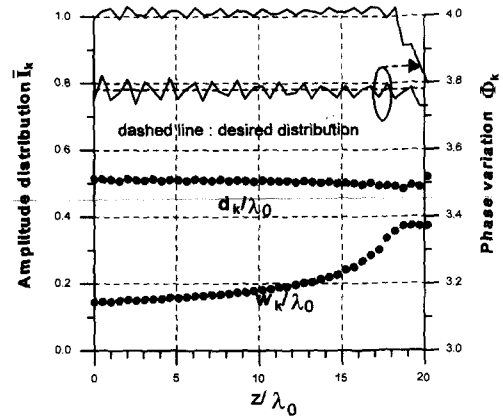


그림 6. 수신 누설파안테나의 개구효율의 개선을 위한 균일한 전류분포, 스트립들 사이의 거리 및 스트립의 폭. $K=41$, $L_a=20.2\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

Fig. 6. Uniform current distribution, distance between the strips, and strip width for improving the aperture efficiency of the receiving leaky wave antenna. $K=41$, $L_a=20.2\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

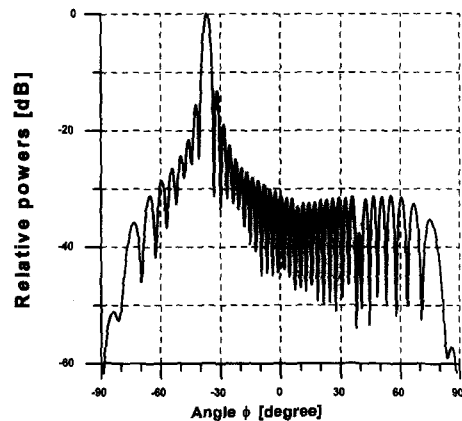


그림 7. 그림 6의 전류분포에 부합하는 복사패턴
Fig. 7. Radiation pattern corresponding to the current distribution of Fig. 6.

그림 6은 이러한 목적으로 송신 안테나의 관점에서 스트립의 전류분포가 균일한 진폭분포를 갖도록 구현한 것이며 이 때 격자영역의 길이는 약 $20\lambda_0$ ($K=41$) 이고 반사전력이 0.04%, 투과전력 3.63%, 복사전력 96.33%, 최대 복사각도 -36.75° , 이득 18.93dBi 등

이다.

그림 7은 그림 6의 전원분포에 상응하는 복사패턴이며 측정레벨이 -12dB 정도로서 비교적 높음^[8]을 볼 수 있다. 이러한 그림 6, 7의 특성을 갖는 구조에 누설파의 복사방향으로부터 TM편파된 평면파를 입사시켰을 때 개구효율이 약 95% 이상이 됨이 확인되었으며 이는 균일한 누설파 구조(스트립의 폭과 스트립 간의 거리가 일정)에서 얻을 수 있는 최대 개구효율 약 80%^[10, 11]에 비해 상대적으로 약 19%정도 개선된 값이다.

운용주파수(operating frequency)가 높아지고 전원과 수신 누설파 구조와의 거리가 가까워지면 입사전원은, 특히 집적광학분야에서, 종종 가우시안빔으로서 모델링되며 외부영역으로부터 입사된 빔의 전력을 격자(누설파)구조를 통해 유전체층을 따른 도파모드로 변환시키는 소자를 격자결합기^[10-12]라 한다. 이 경우에는 입사빔의 전력에 대한 유전체 도파관의 도파모드로 변환된 전력의 비를 식 (25)와 같이 결합효율로서 정의하며 수신 안테나 문제의 개구효율과 그 의미가 유사하다. 결합효율을 증가시키기 위해서는 송신안테나 관점에서의 전류분포가 입사빔의 진폭 및 위상분포와

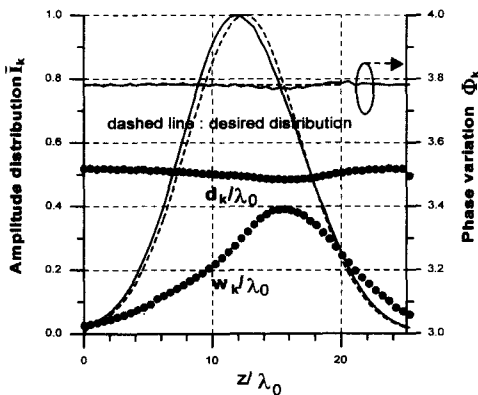


그림 8. 격자결합기의 결합효율을 개선시키기 위한 전류분포, 스트립들 사이의 거리 및 스트립의 폭. 점선 : $\theta R=5\lambda_0$, $\theta_0=37^\circ$ 인 가우시안빔의 분포. $K=51$, $L_a=25.3\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

Fig. 8. Current distribution, distance between the strips, and strip width for improving coupling efficiency of the grating coupler. Dashed line : distribution of the Gaussian beam with $\theta R=5\lambda_0$, $\theta_0=37^\circ$. $K=51$, $L_a=25.3\lambda_0$, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.35\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$.

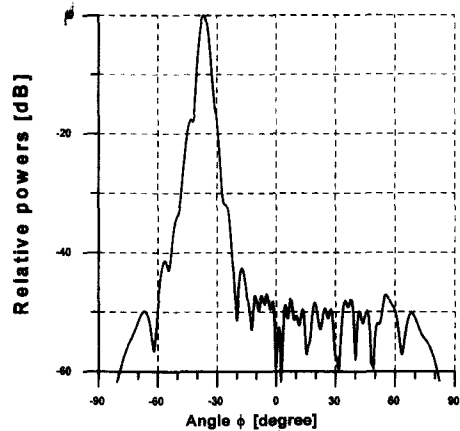


그림 9. 그림 8의 전류분포에 부합하는 복사패턴 Fig. 9. Radiation pattern corresponding to the current distribution of Fig. 8.

동일한 분포를 갖도록 하는 것이 바람직하며 완전히 동일한 형태가 되면 이론적으로 100%의 결합효율^[10, 11]을 얻을 수 있다.

그림 8은 송신안테나 관점에서 도체스트립의 전류분포가 $\theta R=5\lambda_0$, $\theta_0=37^\circ$ 인 입사 가우시안빔의 진폭분포(점선)와 동일한 분포를 갖도록 구현된 것을 비교 도시한 것으로서 잘 일치함을 볼 수 있다. 이 때 격자영역의 길이는 약 $20\lambda_0$ ($K=41$)이고 반사전력이 0.04%, 투과전력 3.63%, 복사전력 96.33%, 최대 복사

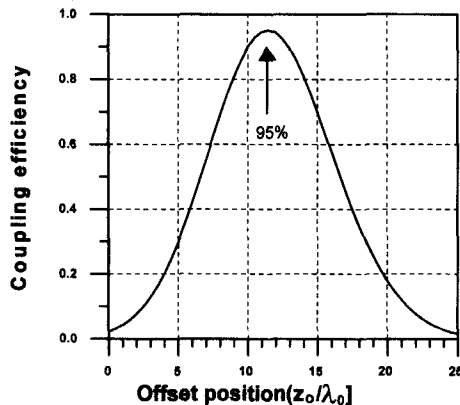


그림 10. 송신 누설파안테나의 관점에서 그림 8의 전류분포를 갖는 비균일 격자결합기의 결합효율 $\eta_C (= P_{surf}^- / P_{inc})$

Fig. 10. Coupling efficiency $\eta_C (= P_{surf}^- / P_{inc})$ of the nonuniform grating coupler having current distribution of Fig. 10 from the viewpoint of transmitting leakv wave antenna.

각도 -36.75° , 이득 18.93dBi 등이며 그림 9는 그림 8의 전류분포에 부합하는 복사패턴을 계산한 것이다.

그림 10은 그림 8, 9의 특성을 갖는 누설파 구조에 가우시안빔을 입사시켰을 때 결합효율의 변화를 가우시안빔 중앙의 변위 z_0 의 변화에 대하여 도시한 것으로서 결합효율의 최대치가 약 95% 이상이 됨을 관찰할 수 있다. 이는 균일한 구조에서의 최대결합효율 약 80%에 비해 상대적으로 19%정도 개선된 것이다. 이상의 결과들로부터 송수신 누설파안테나 및 격자결합기의 관점에서 적절한 비균일한 구조를 구성하여 다양한 측면에서의 성능의 개선을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

접지된 유전체층 위에 유한한 개수의 도체스트립이 놓여 있는 비균일한 누설파 구조에 의한 산란문제를 송수신 누설파안테나 및 격자결합기 관점에서 해석하였다. 스트립의 폭과 인접하는 스트립들 사이의 거리를 함께 변화시켜서 적절한 송수신 누설파안테나 및 격자결합기의 구조를 구성하여 누설파안테나의 패턴합성과 결합(개구)효율의 개선을 관찰할 수 있었다. 특히, 수신 누설파안테나 관점에서의 개구효율과 격자결합기 관점에서의 결합효율은 약 95% 이상이 됨을 확인하였는데 이는 균일한 구조에서 얻을 수 있는 최대 효율 80%에 비해 15%이상 개선된 것이다.

참 고 문 헌

- [1] V. I. Kalinichev, "Electromotive force technique applied to the design of planar dielectric antennas with low side lobes," *Microwave and Optical Technology Letters, John Wiley & Sons*, vol. 7, no. 8, pp. 351-355, June 1994.
- [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, "Diffraction charac-

teristics of a finite metal-strip grating integrated with a planar dielectric waveguide," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E78-C, pp. 1447-1452, Oct. 1995.

- [4] 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.
- [5] 이종익, 김종규, 조영기, "주기적인 스트립으로 장하된 접지된 유전체 누설파안테나에 대한 해석," *Telecommunications Review*, 제7권 5호, pp. 553-562, 1997
- [6] J. I. Lee, H. Son, and Y. K. Cho, "TE Diffraction of a Gaussian Beam Wave by Finite Periodic Strips on a grounded dielectric," *Microwave and Optical Technology Lett., John Wiley & Sons*, vol. 18, no. 6, pp. 433-436, August 1998.
- [7] 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.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna theory*, John Wiley & Sons, Inc., ch. 6-7, 1997.
- [9] 이종익, 조윤희, 윤리호, 홍재표, 박진택, 조영기, 손현, "접지된 유전체층 위의 스트립격자의 Off-Bragg blazing," *전자공학회 논문지*, 제 33권 A편 제10호 pp. 90-97, 1996
- [10] R. Ulrich, "Optimum excitation of optical surface waves," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 61, no. 11, pp. 1467-1477, Nov. 1971.
- [11] T. Tamir ed., *Integrated Optics*, Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 1979, Ch. 3, pp. 83-137.
- [12] 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.

저 자 소 개

李 鍾 益(正會員) 第36卷 D編 第4號 參照

현재 동서대학교 정보통신공학부 전
임강사

趙 榮 基(正會員) 第33卷 A編 第8號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교
수

李 喆 勳(正會員) 第34卷 D編 第5號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 박
사과정