

論文2000-37TC-02-8

## 유전체 슬랩으로 덮힌 평행평판 도파관의 좁은 슬릿을 통한 슬랩 위의 도체 스트립과의 결합

(Coupling through a narrow slit in a parallel-plate waveguide covered by a dielectric slab with a conducting strip on the slab)

李鍾益\*, 洪在杓\*\*, 趙榮基\*\*\*

(Jong Ig Lee, Jae Pyo Hong, and Young Ki Cho)

### 요 약

유전체 슬랩으로 덮힌 평행평판 도파관의 좁은 슬릿을 통한 슬랩 위의 도체 스트립과의 전자기적인 결합 문제를 평행평판 도파관에 TEM파가 입사되는 경우에 대하여 고려하였다. 슬릿의 접선성분 전계와 도체 스트립에 유기된 전류에 관한 결합 적분방정식을 유도하고 모멘트방법으로 풀었다. 도체 스트립이 결합에 미치는 영향을 보이기 위하여 도파관내에서의 반사 및 투과 전력, 슬릿을 통해 결합된 전력, 슬릿의 등가 어드미턴스, 그리고 복사패턴 등에 대한 수치해석결과를 제시하였다. 그 결과 슬릿을 통해 평행평판 도파관 외부로 결합된 전력의 최대치가 도파관 내부 입사전력의 약 50%가 됨을 관찰하였다.

### Abstract

The problem of electromagnetic coupling through a narrow slit in a parallel-plate waveguide(PPW) covered by a dielectric slab with a conducting strip on the slab is considered for the case that the TEM wave is incident in the PPW. Coupled integral equations for the tangential electric field in the slit and the induced current over the strip are derived and solved numerically by use of the method of moments. In order to show the effect of the conducting strip on the coupling, some numerical results for the reflected and transmitted powers in the guide, the coupled power through the slit, the equivalent slit admittance, and radiation pattern are presented. From the results, it is observed that the maximum available power coupled through the slit exterior to the PPW amounts upto 50% of the incident power in the PPW.

\* 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, 慶一大學校 電子情報工學科

(Department of Electronic and Information Eng., Kyungil 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)

接受日字:1999年9月9日, 수정완료일:2000年1月21日

### I. 서론

평행평판 도파관의 슬릿을 통한 도파관 외부의 도체와의 전자기적인 결합과 관련된 문제에 대한 연구는 C. M. Butler 등에 의해서 활발히 진행되어 왔다<sup>1-3</sup>. 경계조건은 도파관의 슬릿영역과 외부도체의 표면에서 부과되며 이로부터 결합 적분방정식(Coupled Integral Equations)이 유도된다. 도체의 표면에서의 경계조건은 두 가지 형태로 부과할 수 있는데, 그 중 하나는 도체표면에서 전계의 접선성분이 0이라는 조건이고 다른 하나는 도체내부에서는 자계가 0이고 도체표면에

유기된 전류는 표면을 가로질러서 자계의 불연속을 준다는 조건이다<sup>[2,3]</sup>. 첫 번째 조건으로부터 유도되는 적분방정식을 전계 적분방정식(Electric Field Integral Equation ; EFIE)이라 하고 두 번째 조건으로부터 유도되는 것을 자계 적분방정식(Magnetic Field Integral Equation ; MFIE)이라 한다<sup>[2,3]</sup>. 전계 적분방정식은 도체의 단면이 임의의 형태인 일반적인 경우에 대해서 타당하지만 자계 적분방정식은 도체의 단면이 두께가 0인 스트립 형태인 경우에는 타당하지 않으므로 전계 적분방정식을 사용하는 것이 일반적이다<sup>[2,3]</sup>. 기존의 Butler 등의 연구<sup>[1-3]</sup>에서는 도체 실린더가 놓여 있는 도파관 외부영역이 균일한 매질인 자유공간인 경우<sup>[2,3]</sup>와 도체 실린더가 없이 도파관의 윗면의 슬릿이 유전체 슬랩이 덮힌 경우<sup>[1]</sup>에 대한 연구이었다. 본 논문에서는 평행평판 도파관의 윗면의 슬릿이 유전체 슬랩으로 덮혀 있고 그 위에 도체 스트립이 장착된 구조에 도파관의 TEM파가 입사되는 경우에 대하여 Butler 등이 제시한 해석방법을 확장적용하여 해석해 보고자 한다. 먼저 각 영역에서 전자계에 대한 표현식을 구한 후 슬릿영역과 도체 스트립에서의 경계조건으로부터 결합 적분방정식(EFIE)을 유도하고 이를 모멘트방법으로 풀고자 한다. 적분방정식을 풀어서 구한 슬릿의 전계와 도체 스트립의 전류로부터 도파관 내부에서의 반사전력과 투과전력, 슬릿을 통해 결합된 전력, 유전체 슬랩을 따라 전파되는 표면파전력, 자유공간으로 복사되는 공간파전력, 복사패턴, 그리고 슬릿의 등가 어드미턴스 등을 계산하여 도체 스트립이 도파관의 슬릿을 통한 도파관 외부로 결합에 미치는 영향에 대하여 살펴보고자 한다.

II. 이 론

그림 1은 제안된 구조로서 자유공간, 유전체 슬랩, 평행평판 도파관의 매질특성을  $\mu_o, \epsilon_o, \mu_o, \epsilon_d (= \epsilon_o \epsilon_r)$ ,  $\mu_o, \epsilon (= \epsilon_o \epsilon_r)$ 로서 각각 표현하였으며 슬릿의 폭  $2a$ , 도파관의 높이  $h$ , 슬랩의 두께  $h_d$ , 스트립의 폭  $W$ , 그리고 스트립중앙의 슬릿중앙(좌표원점)에 대한 변위(offset) 좌표  $Z_c$  이다. 슬릿영역으로 입사되는 평행평판 도파관의 입사파는 TEM파만으로 가정하여

$$E^{inc} = \frac{V}{h} e^{-jkz} \hat{x}, \quad (1a)$$

$$H^{inc} = \frac{V}{\eta h} e^{-jkz} \hat{y}, \quad (1b)$$

로서 주어지며, 여기에서  $V/h$ 는 입사전계의 진폭,  $k(= k_0 \sqrt{\epsilon_r}; k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0})$ 는 전파상수,  $\eta (= \sqrt{\mu_0/\epsilon_0})$ 는 도파관내 매질의 고유임피던스이다.

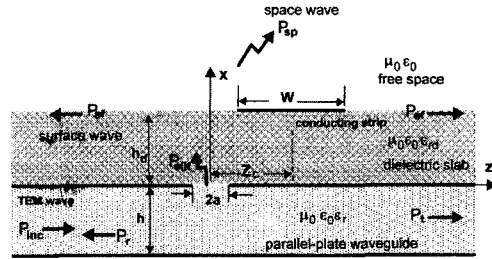


그림 1. 제안된 구조  
Fig. 1. Geometry under consideration.

등가원리(equivalence principle)를 이용하여 단락된 슬릿의 양측에  $M_y = M_y \hat{y} = -E_z(0, z) \hat{y}$ 로서 주어지는 등가 자계전류로 대체하면, 도파관 내부에서의 자계  $H_y$ 는 입사자계( $H_y^{inc}$ )와 슬릿의 등가 자계전류( $M_y$ )에 의한 자계( $H_y^M$ )의 합<sup>[1-3]</sup>으로서

$$H_y = H_y^{inc} + H_y^M \quad (2)$$

와 같이 표현될 수 있다. 유전체 슬랩 내부( $H_y^d$ )와 자유공간( $H_y^0$ )에서의 자계는

$$H_y^d = H_y^{Md} + H_y^{Jd}, \quad (3)$$

$$H_y^0 = H_y^{M0} + H_y^{J0}, \quad (4)$$

와 같이 등가 자계전류( $-M_y$ )와 도체 스트립에 유기된 전류( $J = J_z \hat{z}$ )에 의한 것들의 합으로서 표현된다. 위의 식 (2)-(4)에서 등가 자계전류에 의한 자계에 대한 표현식은 참고문헌 [1]에 주어져 있으며 스트립의 전류에 의한 자계<sup>[4]</sup>는

$$H_y^{J0}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{J}_z(k_z) \tilde{G}_{0(d)}(x, k_z) e^{-jk_z z} dk_z \quad (5)$$

와 같이 계산할 수 있고, 여기에서

$$\tilde{J}_z(k_z) = \int_{\text{strip region}} J_z(z') e^{-jk_z z'} dz' \quad (6)$$

$$\tilde{G}_0(x, k_z) = j \frac{\beta \sin \beta h_d}{D_{TM}} \cdot e^{-j\beta_0(x-h_d)} \quad (7)$$

$$\tilde{G}_d(x, k_z) = - \frac{\epsilon_{rd} \beta_0 \cos \beta x}{D_{TM}} \quad (8)$$

$$D_{TM}(k_z) = \epsilon_{rd} \beta_0 \cos \beta h_d + j \beta \sin \beta h_d \quad (9)$$

$$\beta_0(k_z) = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 - k_z^2}, & |k_z| \leq k_0 \\ -j\sqrt{k_z^2 - k_0^2}, & |k_z| > k_0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\beta(k_z) = \begin{cases} \sqrt{k_0^2 \epsilon_{rd} - k_z^2}, & |k_z| \leq k_0 \sqrt{\epsilon_{rd}} \\ -j\sqrt{k_z^2 - k_0^2 \epsilon_{rd}}, & |k_z| > k_0 \sqrt{\epsilon_{rd}} \end{cases} \quad (11)$$

이다.

위에서 구한 각 영역에서의 전자계에 대한 표현식으로부터 슬릿 영역에서의 전자계의 접선성분의 연속조건 ( $H_y = H_y^d$ )과 도체 스트립에서 접선성분 전계가 0이라는 조건 ( $E_z^d + E_z^0 = 0$ )을 부과하여 슬릿의 등가 자계 전류와 스트립의 전류에 대한 결합 적분방정식을

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{\epsilon_{rd} k_0}{\eta_0} \frac{\epsilon_{rd} \beta_0 - \beta}{\beta D_{TM}} e^{-\beta h_d} \tilde{M}_y(k_z) + \epsilon_{rd} \beta_0 \tilde{J}_z(k_z) \right] \frac{e^{-jk_z z}}{D_{TM}} dk_z \\ = \frac{V}{\eta h} e^{-jk_z z} + \int_{\text{slit region}} g(z, z') M_y(z') dz', \quad (12)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \epsilon_{rd} \beta_0 \tilde{M}_y(k_z) + j \frac{\eta_0}{k_0} (k_0^2 + \partial^2 / \partial z^2) \frac{\beta \sin \beta h_d}{\beta_0} \tilde{J}_z(k_z) \right] \frac{e^{-jk_z z}}{D_{TM}} dk_z = 0 \quad (13)$$

와 같이 얻을 수 있으며, 여기에서  $g(z, z')$ 은

$$g(z, z') = - \frac{e^{-jkh(z-z')}}{2\eta h} - j \frac{k}{\eta h} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_q |z-z'|}}{\alpha_q}, \\ \alpha_q = \sqrt{(q\pi/h)^2 - k^2} \quad (14)$$

으로서 주어진다.

결합 적분방정식 (12)와 (13)을 모멘트 방법으로 풀기 위하여 본 논문에서는 슬릿의 등가 자계전류는 펄스 기저함수 전개하고 슬릿영역에서 점 정합방법으로 테스트팅하였으며, 스트립영역에서는 구분 정현함수를 기저함수로 하는 Galerkin 방법을 이용하였고 그 결과로 선형행렬방정식(linear matrices equation)을 얻을 수 있다. 행렬방정식을 풀어서 구한 슬릿의 전계와 스트립의 전류로부터 도파관 내부에서의 반사전력( $P_r$ )과 투과전력( $P_t$ ), 슬릿을 통해 결합된 전력( $P_{slit}$ ), 유전체 슬랩을 따라 전파되는 표면파전력( $P_{sp}$ ), 자유공간으로 복사되는 공간파전력( $P_{sp}$ ), 복사패턴( $D(\phi)$ ), 그리고 도파관의 어드미턴스( $\eta$ )로 정규화된 슬릿의 등가 어드미턴스

( $Y_1/\eta = \bar{Y}_1 = \bar{G}_1 + j\bar{B}_1$ ) 등을 계산<sup>[1,4,5]</sup>할 수 있다.

### III. 해석결과 및 고찰

앞 절에서 제시된 해석방법을 이용하여 도파관의 슬릿이 좁은 경우를 택하여 도체 스트립이 슬릿을 통한 도파관 외부로의 전자기적 결합에 미치는 영향을 살펴보고자 하며 편의상 입사파의 전력( $P_{inc}$ )은 1로 가정하였다.

먼저 제안된 해석방법을 이용한 수치해석결과들의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 연구의 결과들을 이용하여 보려 한다. 참고문헌 [3]에서 해석된 구조는 도파관 외부의 도체가 존재하는 영역이 자유공간( $\epsilon_{rd} = 1.0$ )으로서 균일한 매질이었고 그 중 그림 5에서 제시된 결과들은 도파관 외부 도체의 단면이 스트립 형태인 경우에 있어서 슬릿의 전계와 스트립의 전류에 대한 것이다. 본 논문에서 제안된 구조는 유전체 슬랩 위에 도체 스트립이 존재하는 경우이므로 구조적인 차이가 있어서 참고문헌의 결과와 직접 비교할 수 없으므로 유전체 슬랩의 상대 유전율( $\epsilon_{rd}$ )을 자유공간( $\epsilon_{rd} = 1.0$ )과 근접한  $\epsilon_{rd} = 1.2$ 로 가정했을 때 본 논문의 결과와 참고문헌의 결과를 비교하여 거의 유사한 경향을 보이시기를 확인하여 보려 한다. 그림 2와 3은  $\epsilon_r = 1.0$ ,  $h = 0.25 \lambda_0$  (여기에서  $\lambda_0$ 는 자유공간 파장),  $2a = 0.1 \lambda_0$ ,  $h_d = 0.1 \lambda_d$  (여기에서  $\lambda_d = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{rd}}$ ),  $W = 0.4 \lambda_d$ ,  $Z_C = 0$ 인 경우에서의 슬릿의 전계와 스트립의 전류를 계산한 것으로서  $\epsilon_{rd} = 1.2$ 로 가정한 본 논문에서 제안된 구조에서의 결과들과  $\epsilon_{rd} = 1.0$ 인 참고문헌 [3]의 결과들이 거의 일치하는 경향을 보임을 볼 수 있다.

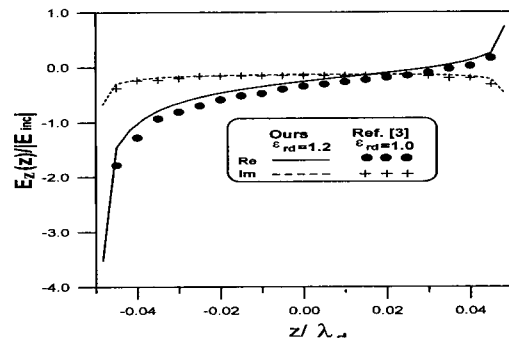


그림 2. 정규화된 슬릿의 전계

Fig. 2. Normalized slit electric field.

$$\epsilon_r = 1.0, h = 0.25 \lambda_0, 2a = 0.1 \lambda_0, h_d = 0.1 \lambda_d (\lambda_d = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{rd}}), W = 0.4 \lambda_d, Z_C = 0.$$

해석결과의 타당성을 검증하는 다른 방법으로 일반적으로 전력 보전관계 ( $P_r + P_t + P_{slit} = P_{inc} = 1$ ,  $P_{slit} = P_{sp} + P_{sf}$ )를 점검하는 것인데 본 논문에서 제시된 결과들은 약 0.1%의 오차이내에서 만족됨을 확인하였다.

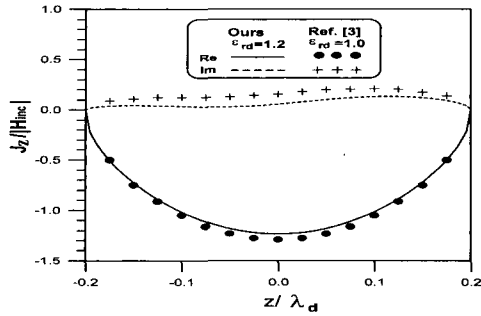


그림 3. 정규화된 스트립의 전류  
 Fig. 3. Normalized strip current.  
 $\epsilon_r = 1.0$ ,  $h = 0.25 \lambda_0$ ,  $2a = 0.1 \lambda_0$ ,  $h_d = 0.1 \lambda_d$ ,  
 $W = 0.4 \lambda_d$ ,  $Z_C = 0$ .

이제 도체 스트립의 영향을 관찰하기 위하여 그림 1에서의 구조적인 파라미터들을  $\epsilon_r = \epsilon_{rd} = 2.2$ ,  $h = 0.015 \lambda$  (여기에서  $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ ),  $2a = 0.1h$ ,  $h_d = 0.01 \lambda_d$ ,  $W = 0.482 \lambda_d$ 인 경우에서의 스트립의 변위( $Z_C$ )에 대한 물리량들의 변화를 계산하여 그림 4 및 5에 도시하였으며, 스트립이 없는 경우에서의 결과들도 스트립의 영향을 관찰하기 위하여 참고로 도시하였다. 그림 4는 도파관 내부에서의 물리량들을 나타낸 것으로서 스트립의 변위  $Z_C$ 가 큰 경우에는 스트립이 슬릿영역을 벗어나게 되어서 도파관 내부에 미치는 영향이 약해지므로 스트립이 없는 경우에서의와 유사한 현상들이 관찰됨을 볼 수 있다.

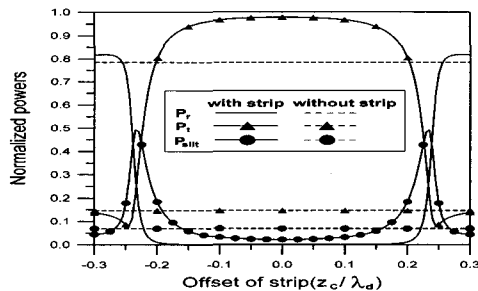


그림 4. 스트립의 변위( $Z_C$ )에 대한 반사전력( $P_r$ ), 투과 전력( $P_t$ ), 슬릿을 통해 결합된 전력( $P_{slit}$ )  
 Fig. 4. Reflected power  $P_r$ , transmitted power  $P_t$ , coupled power  $P_{slit}$  through the slit against the offset  $Z_C$  of the strip.  
 $\lambda_d \epsilon_r = \epsilon_{rd} = 2.2$ ,  $h = 0.015 \lambda$ ,  $2a = 0.1h$ ,  $h_d = 0.01$ ,  $W = 0.482 \lambda_d$ .

스트립의 변위가 0 근처인 경우에는 스트립이 슬릿을 블록킹(blocking)하여서 대부분의 전력이 슬릿영역을 지나서 투과되기 때문에 반사전력과 슬릿을 통해 외부로 결합된 전력이 미미함을 볼 수 있다. 한편  $Z_C = \pm 0.235 \lambda_d$  근처에서 슬릿을 통해 결합된 전력( $P_{slit}$ )이 입사전력의 약 50%가 되는 것을 관찰할 수 있는데 이는 도체 스트립과 도파관의 윗면으로 이루어진 캐비티(cavity)를 슬릿을 통해서 급전함에 있어서 그림 5에서 보는 바와 같이 임피던스 정합이 양호한 상태( $Y_1/\eta = \bar{Y}_1 = 0.5$ 인 경우에서 최대치에 이른다)가 되어 가용한 최대전력  $P_{slit} = 50\%$ 를 얻은 것이다. 이와는 대조적으로 변위  $Z_C$ 가 0인 근처에서는 등가 어드미턴스가 매우 큰 값이 되어서 슬릿이 단락된 경우에서의 현상에 근접한 현상임을 볼 수 있다. 슬릿을 통해서 결합된 전력은 다시 유전체 슬랩을 따른 표면파와 자유공간으로 복사되는 공간파로서 나누어지며 위의 경우에는 거의 대부분의 전력이 공간파 전력으로 변환되며 표면파전력은 입사전력의 1%이내로서 무시될 수 있다.

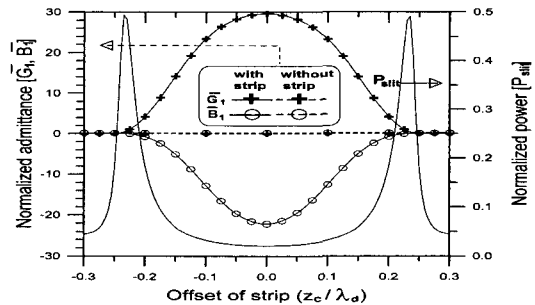


그림 5. 스트립의 변위( $Z_C$ )에 대한 슬릿의 등가 어드미턴스  $\bar{Y}_1 = \bar{G}_1 + j \bar{B}_1$   
 Fig. 5. Equivalent admittance  $\bar{Y}_1 = \bar{G}_1 + j \bar{B}_1$  of the slit against the offset  $Z_C$  of the strip.  
 $\epsilon_r = \epsilon_{rd} = 2.2$ ,  $h = 0.015 \lambda$ ,  $2a = 0.1h$ ,  $h_d = 0.01 \lambda_d$ ,  $W = 0.482 \lambda_d$ .

그림 6은 그림 4에서  $P_{slit}$ 이 최대 및 최소가 되는 경우에서의 스트립의 전류를 입사자계( $H_{inc}$ )로 정규화하여 도시한 것이다. 먼저 최소가 되는 경우( $Z_C = 0$ )에 대한 전류분포는 스트립중앙에서의 전류분포가 도파관 벽면의 전류분포(-1+j0)에 매우 근접하는 분포를 갖는 것을 알 수 있고 이로부터 도체 스트립이 슬릿을

blocking하고 있음을 알 수 있다. 최대가 되는 경우에는 스트립의 전류의 세기가 최소인 경우에 비해서 훨씬 증가됨을 볼 수 있는데 이는 스트립과 도파관 윗면으로 이루어진 cavity 내부에서의 전자계의 세기가 최대가 됨을 나타낸다.

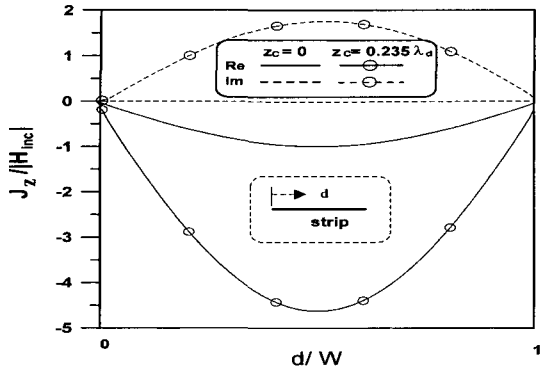


그림 6. 정규화된 스트립의 전류

Fig. 6. Normalized strip current.

$$\epsilon_r = \epsilon_{rd} = 2.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h, h_d = 0.01 \lambda_d, W = 0.482 \lambda_d$$

그림 7은  $P_{slit}$ 이 최대가 되는 경우에서의 복사(전력)패턴을 유전체슬랩과 도체스트립이 모두 제거된 구조에 동일한 입사전력이 도파관에 입사되는 경우에 있어서 복사전력패턴[그림 7에서 without strip & slab으로서 표시된 부분이며, 이 경우의 복사패턴은 유전체 슬랩만이 추가된 경우의 것에 비해 큰 차이가 없음이 확인됨]의 최대치로 정규화 하여 도시한 것으로서 스트립의 영향을 명확히 관찰할 수 있다.

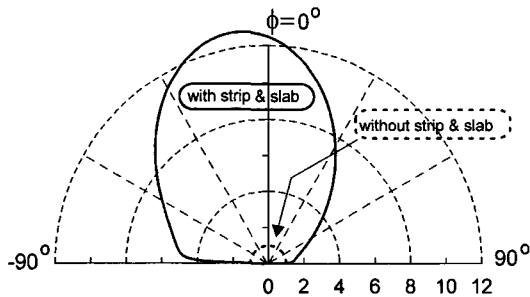


그림 7. 복사패턴

Fig. 7. Radiation pattern.

$$\epsilon_r = \epsilon_{rd} = 2.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h, h_d = 0.01 \lambda_d, W = 0.482 \lambda_d, Z_c = 0.235 \lambda_d$$

주어진 상황에서  $P_{slit}$ 을 최대화하는 스트립의 폭 W는 cavity의 공진을 일으키는 길이가 되며 이 길이

는 마이크로스트립안테나의 공진길이<sup>[6]</sup>와 근접한 값을 갖음을 확인하였다. 유전체 슬랩의 두께가 증가됨에 따라서 스트립의 공진길이는 감소하고  $P_{slit}$ 이 최대가 되는  $Z_c$ 는 0으로 접근해 가며 표면파 전력이 차지하는 비율이 다소 증가됨을 확인할 수 있었다. 표면파에 의한 영향은 자유공간으로의 복사효율을 최대화하려는 관점에서 볼 때 바람직하지 않은 것이므로 이를 줄이기 위해서는 유전체 슬랩의 상대유전율( $\epsilon_{rd}$ )을 낮추어 줄 필요가 있다.

그림 8과 9는  $\epsilon_r = 2.2, \epsilon_{rd} = 1.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h, h_d = 0.06 \lambda_d, W = 0.41 \lambda_d$ 인 경우에서의 스트립의 변위( $Z_c$ )에 대한 물리량들의 변화를 계산한 것으로서 표면파 전력이 차지하는 비율은 1% 미만으로서 무시될 수 있는 값이다.

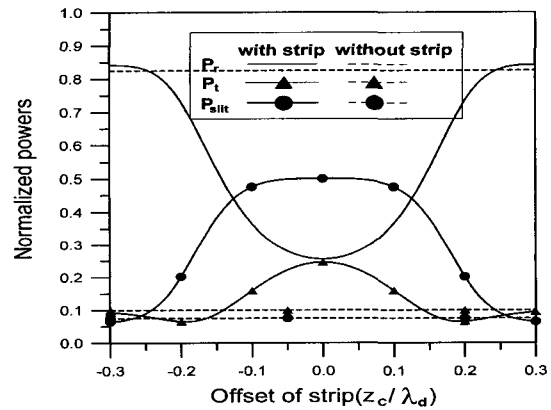


그림 8. 스트립의 변위( $Z_c$ )에 대한 반사전력( $P_r$ ), 투과전력( $P_t$ ), 슬릿을 통해 결합된 전력( $P_{slit}$ )

Fig. 8. Reflected power  $P_r$ , transmitted power  $P_t$ , coupled power  $P_{slit}$  through the slit against the offset  $Z_c$  of the strip.

$$\epsilon_r = 2.2, \epsilon_{rd} = 1.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h, h_d = 0.06 \lambda_d, W = 0.41 \lambda_d$$

그림 4에서는  $Z_c = \pm 0.235 \lambda_d$  근처의 좁은 영역에서  $P_{slit}$ 이 최대치 50%에 근접한 값이 되었으나 그림 8에서는  $Z_c = 0$ 을 중심으로 하여 다소 넓은 영역에 걸쳐서  $P_{slit}$ 이 50%에 근접한 값이 됨을 관찰할 수 있다. 또한 그림 4에서의 스트립의 폭( $W = 0.482 \lambda_d$ )과 그림 8에서의 스트립의 폭( $W = 0.41 \lambda_d$ )은 다소 차이가 남을 볼 수 있는데, 전술한 바와 같이 그림 4의 경우는 도체 스트립과 도파관의 윗면이 하나의 cavity를 형성하

므로 그 공진길이에 해당하는 것이 스트립의 폭 ( $W=0.482 \lambda_d$ )이 되고 그림 8의 경우에는 스트립이 기생소자(parasitic element)로서 슬릿을 통한 도파관 외부로의 결합을 개선시키는 역할을 하며 스트립의 폭 ( $W=0.41 \lambda_d$ )은 잘 알려진 Yagi-Uda 안테나의 director의 길이와 근접한 값을 알 수 있다.

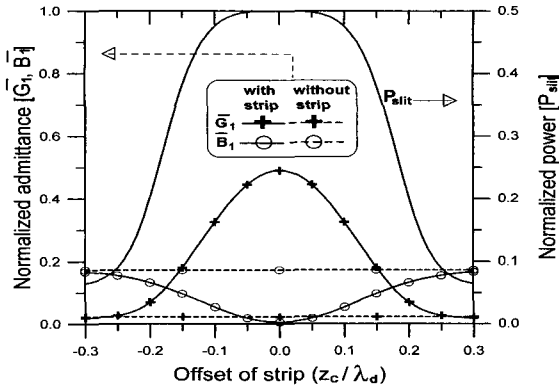


그림 9. 스트립의 변위 ( $Z_c$ )에 대한 슬릿의 등가 어드미턴스  $\bar{Y}_1 = \bar{G}_1 + j \bar{B}_1$   
 Fig. 9. Equivalent admittance  $\bar{Y}_1 = \bar{G}_1 + j \bar{B}_1$  of the slit against the offset  $Z_c$  of the strip.  
 $\epsilon_r = 2.2, \epsilon_{rd} = 1.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h,$   
 $h_d = 0.06 \lambda_d, W = 0.41 \lambda_d.$

그림 10은 그림 8에서  $P_{slit}$ 이 최대가 되는  $Z_c=0$ 인 경우에서의 스트립의 전류를 도시한 것으로서 공진기 내부에 강한 필드가 유기된 그림 6에서의 결과와 비교하여 볼 때 기생소자로서 동작되는 그림 10의 경우에는 상대적으로 전류의 크기가 작은 값이 된다.

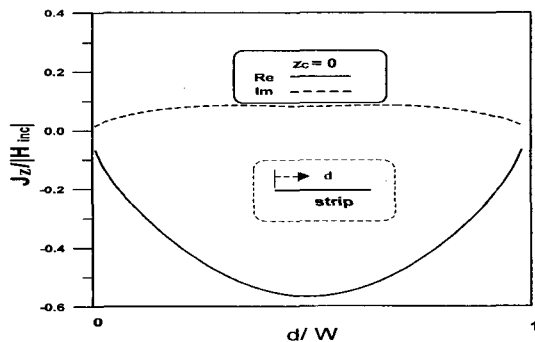


그림 10. 정규화된 스트립의 전류  
 Fig. 10. Normalized strip current.  
 $\epsilon_r = 2.2, \epsilon_{rd} = 1.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h,$   
 $h_d = 0.06 \lambda_d, W = 0.41 \lambda_d, Z_c = 0.$

그림 11은 그림 10의 경우에서의 복사패턴을 계산한 것이며 그림 7의 경우와 동일한 값으로 정규화된 것이다. 자유공간으로 복사되는 공간과 전력이 두 경우(그림 7과 그림 11) 모두 입사전력의 49% 정도로서 거의 일치하는 값임에도 불구하고 복사패턴에 있어서 최대치(안테나의 이득)가 큰 차이를 보임을 관찰할 수 있다.

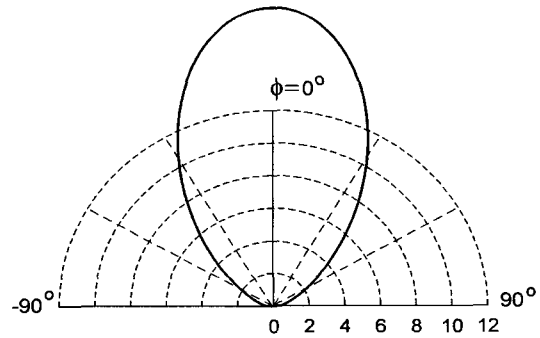


그림 11. 복사패턴  
 Fig. 11. Radiation pattern.  
 $\epsilon_r = 2.2, \epsilon_{rd} = 1.2, h = 0.015 \lambda, 2a = 0.1h,$   
 $h_d = 0.06 \lambda_d, W = 0.41 \lambda_d, Z_c = 0.$

#### IV. 결론

유전체 슬랩으로 덮혀 있는 도파관의 윗면의 좁은 슬릿을 통한 유전체 슬랩 윗면에 놓여 있는 도체 스트립과의 전자기적인 결합문제를 결합 적분방정식을 유도하고 모멘트방법으로 풀어서 해석하였다. 도파관 내부에서의 반사전력과 투과전력, 슬릿을 통해 결합된 전력, 복사패턴, 그리고 슬릿의 등가 어드미턴스 등을 계산하여 도체 스트립이 도파관의 슬릿을 통한 도파관 외부로 결합에 미치는 영향에 대하여 관찰하였다. 차후의 연구과제로서는 평행평판 도파관이 단락중단된 경우, 도체 스트립 및 슬릿의 개수가 여러 개인 경우에 대한 해석 등이 있을 수 있으며 현재 진행 중이다.

#### 참고 문헌

[1] R. D. Nevels and C. M. Butler, "Coupling through a slot in a parallel-plate waveguide covered by a dielectric slab," *AEU*, pp. 46-53, 1988.  
 [2] C. M. Butler, C. C. Courtney, P. D. Mannikko

- and J. W. Silvestro, "Flanged parallel-plate waveguide coupled to a conducting cylinder," *IEE Proc. H*, vol. 138, no. 6, pp. 549-559, 1991.
- [3] P. D. Mannikko, C. C. Courtney, and C. M. Butler, "Slotted parallel-plate waveguide coupled to a conducting cylinder," *IEE Proc. H*, vol. 139, pp. 193-201, April 1992.
- [4] 이종익, 조영기, "접지된 유전체층 위의 유한한 비균일 스트립 격자에 의한 TM 편파된 표면파의 산란," 추계 마이크로파 및 전파전파연구회 학술발표회 논문집, pp. 259-262, 9월, 1998
- [5] Y. K. Cho, "On the equivalent circuit representation of the slitted parallel-plate waveguide filled with a dielectric," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-37, no. 9, pp. 1193-1200, Sept. 1989.
- [6] A. G. Derneryd, "Linearly polarized microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-24, no. 6, pp. 846-851, Nov. 1976.

---

 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

洪 在 杓(正會員) 第 32卷 A編 第 12號 參照

현재 경일대학교 전자정보공학과 부  
교수

趙 榮 基(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교  
수