

# 스트립形 散亂導體에 의한 슬롯안테나의 輻射特性 改善에 관한 研究

(A Study on the Improvements of Radiation Characteristics  
of Slot Antenna by Coupling of a Strip Scatterer)

許 正\*, 李 忠 雄\*

(Jung Hur and Choong Woong Lee)

## 要 約

슬롯안테나에 스트립形 散亂導體를 結合한 새로운 形態의 輻射構造를 提案하고 이 構造에 대한 電磁氣의 解析을 遂行하였다. 等價原理, 影像理論 그리고 境界條件을 適用하는 解析過程을 통하여 兩變의 積分微分方程式을 導出하였다. 이 方程式의 解를 구하기 위해 모멘트 方法을 利用한 數值計算을 行하였으며 그 結果 散亂導體의 適切한 設計에 의해 안테나의 輻射特性을 크게 向上시킬 수 있음이 確認되었다.

## Abstract

We propose a new radiating structure composed of a strip and a slot excited by an ideal current source, and electromagnetic analysis for the structure is presented. By the analysis procedure which is based upon equivalence formulated. Through the numerical computations to solve the equations by employing the method of moments, we ascertained that the suitable choice of the location and the size of strip guarantee the improvement of the radiation characteristics of antenna.

## I. 序 論

안테나의 輻射路 前方에 散亂導體(conducting scatterer)를 놓았을 때 이로 인한 輻射特性의 變化를 把握하는 것은 안테나 分野에서 대단히 重要한 問題 중의 하나이다. 本 論文에서는 스트립形 散亂導體가 슬롯 안테나의 輻射特性을 어떻게 變化시키는지에 관해 考察하였다. 이는 根本的으로 能動素子(active element)와 寄生素子(parasitic element)의 結合에 관한 問題로서, 특히 能動素子가 開口形態(aperture type)

인 一種의 開口-散亂體 問題(aperture-scatterer problem)이다. 能動素子-寄生素子の 結合으로는 1928년 에 發表된 H. Yagi의 研究<sup>1)</sup>로 代表되는데, 이 研究에서는 이러한 結合에 의해 指向性 增大의 效果가 있음을 밝히고 있다. 한편 여러가지 形態의 開口-散亂體 結合構造에 대해서도 많은 研究結果가 發表되고 있는데, 특히 H. Yatom<sup>2)</sup>은 작은 圓形開口의 前方에 놓인 環形(loop)導體에 의해 指向性 및 輻射效率이 改善됨을 밝혔으며, S. N. Sinha<sup>3)</sup>은 導波管슬롯과 導體板을 結合하여 輻射特性의 改善을 圖謀할 수 있다는 事實을 밝혔다.

이러한 開口-散亂導體 結合에 대한 電磁氣의 解析은 많은 研究者들에 의해 多樣한 方法으로 試圖되었

\*正會員, 서울大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)

接受日字: 1989年 6月 13日

는데, 그 중에서도 특히 注目받고 있는 것은 積分微分方程式(integro-differential equation)을 利用한 解析方法이다. 이 方法은 比較的 最近에 C. M. Butler, K. R. Umarshankar, S. R. Wilton, Y. Rahmat-Samii 等<sup>1-7)</sup>에 의해 꾸준히 研究되었는데 이러한 試圖는 컴퓨터를 利用한 數值解析의 方法을 보다 손쉽게 活用할 수 있다는 側面에서 더욱 깊이 研究되고 있다.

本 論文에서 提案한 構造의 電磁氣的 解析에도 이들의 方法을 利用하였다. 즉 問題를 數式化하는 作業으로서, 等價原理(equivalence principle)<sup>8)</sup>와 影像理論(image theory)<sup>9)</sup>을 適用한 後 境界條件을 利用하여 한 雙의 積分微分方程式을 導出하였고, 이 聯立積分微分方程式의 解를 求하기 위한 數值解析方法으로는 모멘트 方法(method of moments)<sup>10)</sup>을 利用하였다. 한편 몇가지의 典型的인 構造 組合에 대한 輻射效率, 指向性 및 輻射패턴을 分析하는 作業을 통하여 슬롯-스트립 結合構造에서 스트립導體가 어떠한 役割을 하고 있는지를 把握할 수 있었다.

II. 定式化 過程

本 論文에서 提示하는 슬롯-스트립構造를 그림 1에 나타내었다. 自由空間에 놓여진 無限히 넓은 完全導體스크린에 幅  $2w_s$ , 길이  $2l_s$ 의 슬롯이 놓여져 있고, 스크린의 뒷 쪽에 놓여진 理想電流源<sup>11)</sup> $J_z$ 에 의해 勵振되고 있다. 이때 電流源의 크기는  $J_z$ 이고  $x$  方向 成分만 存在한다고 假定한다. 또한 電流源이 놓여진 位値는, 슬롯의 中心에서 스크린과 垂直한 方向으로  $l$ 만큼 떨어져 있다. 그림 1에서와 같이 슬롯의 中心을 原點으로 하는  $(x, y, z)$ 座標界를 定할 때 電流源  $J_z$ 의 座標는  $(0, 0, -l)$ 이고  $J_z = xJ_x\delta(x, y, z+l)$ 로서 表現된다. 스크린의 앞 쪽에는 幅  $2w_a$ , 길이  $2l_a$ 의 導體스트립이 놓여져 있다. 스트립의 中心은  $(0, 0, d)$ 에 位置하며 스크린과 面을 마주보게 配置한다. 스크린과 스트립의 두께는 無視할 수 있을 程度로 얇다고 假定한다.

그림 1에서 스크린에 의해 分割되는 두 개의 空間을 空間 I, II로 區分하여, 電流源이 存在하는 空間을 空間 I, 스트립이 存在하는 空間을 空間 II로 나타낸다. 또한 空間 I 및 II에서의 電磁界를 各各  $(E_1, H_1)$ ,  $(E_2, H_2)$ 로 나타내며, 슬롯에 分布되는 電界를  $E_s$ 라 假定한다. 이때  $w_s \ll l_s$ ,  $\lambda$ ( $\lambda$ 는 波長)인 條件이라면  $E_s$ 는  $x$ 成分만 存在한다고 假定해도 無妨하다.

問題의 解析은 等價原理 및 影像理論을 利用하여 空間 I 및 空間 II를 獨立시킨 後, 各 空間에서의 電磁界를 求하여 슬롯 및 스트립上에서의 境界條件을

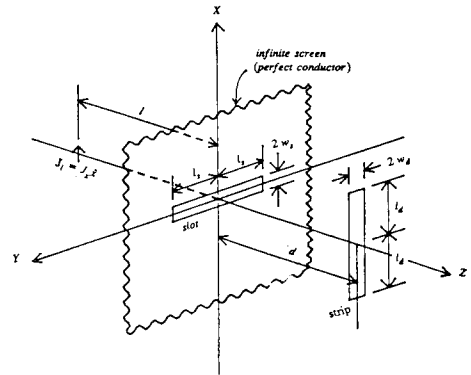


그림 1. 理想電流源에 의해 勵振되는 슬롯-스트립 結合輻射界의 構造.  
Fig. 1. Schematic diagram of slot-strip combined radiator excited by an ideal current source.

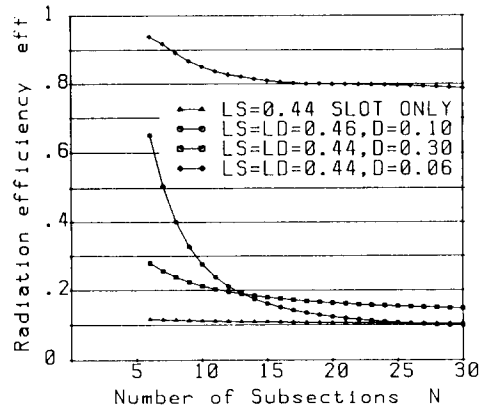


그림 2. 區間數의 增加에 따라 나타나는 輻射效率 計算值의 收斂性  
Fig. 2. Curves showing the convergency of radiation efficiencies as the number of subsections increases.

適用하여 定式化하는 過程으로부터 出發한다. 이 過程을 통하여 다음과 같은 變換의 積分微分方程式이 導出된다.

$$-\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial z} \left[ \iint_{strip} J_{ax} \frac{e^{-jkR_{2+}}}{R_{2+}} dx'dy' - J_z \frac{e^{-jkR_-}}{R_-} \right] = \frac{j\omega\epsilon_0}{\pi} \left[ 1 + \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] \iint_{slot} \frac{M_{zy} e^{-jkR}}{R} dx'dy' \quad \text{on slot} \quad (1a)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \iint_{slot} \frac{M_{sy} e^{-jkr}}{R} dx' dy' + \frac{j\omega\mu_0}{2} \left[ 1 + \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \iint_{strip} J_{dx} \left[ \frac{e^{-jkr}}{R_{2+}} - \frac{e^{-jkr}}{R_{2-}} \right] dx' dy' = 0 \quad \text{on strip} \quad (1b)$$

여기에서,  $J_{dx}$  및  $M_{sy}$ 는 스트립上 誘起電流의 x成分 및 슬롯上 誘起磁流의 y成分을 各各 나타내고 있다. 또한  $R$ ,  $R_{\pm}$ 는 觀察點으로부터 슬롯 및 電流源까지의 距離를 各各 나타내며,  $R_{2+}$ ,  $R_{2-}$ 는 觀察點에서 스트립 및 그 影像까지의 距離를 各各 나타내고 있다.

式(1a), (1b)는 所謂 聯立 積分微分方程式으로, 이 聯立方程式으로부터  $J_{dx}$ 와  $M_{sy}$ 를 求解내야 한다. 이 過程은 解析的 方法으로는 거의 不可能하기 때문에 모멘트 方法을 利用한 컴퓨터 數值解析方法으로 遂行하였다. 그 過程을 簡略하게 叙述하면 다음과 같다. 우선,  $M_{sy} = \sum V_n M_n$ ,  $J_{dx} = \sum I_n J_n$  ( $n=1, 2, 3, \dots, N$ )이라 놓고 Galerkin의 方法<sup>1)</sup>을 適用하면 式(1)은 다음과 같은 簡單한 形態의 行列式으로 바꿀 수 있다.

$$\begin{bmatrix} [Y_1] + [Y_2] & [T] \\ [T'] & [Z] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [V] \\ [I] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [I'] \\ [0] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)에서 未知函數  $[V]$ ,  $[I]$ 는 다음과 같이 求解진다.

$$\begin{bmatrix} [V] \\ [I] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Y_1] + [Y_2] & [T] \\ [T'] & [Z] \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} [I'] \\ [0] \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(2), (3)에 나타난 sub-matrix  $[Y_1]$ ,  $[Y_2]$ ,  $[T]$ ,  $[T']$ ,  $[I']$ 의 成分은 다음과 같다.

$$Y_{1mn} = - \iint_{slot} M_m H_{y1}(M_n) ds = Y_{2mn} \quad (4a)$$

$$T_{mn} = \iint_{slot} M_m H_{y2}(J_n) ds \quad (4b)$$

$$T'_{mn} = \iint_{strip} J_m E_{z2}(M_n) ds \quad (4c)$$

$$Z_{mn} = - \iint_{strip} J_m E_{z2}(J_n) ds \quad (4d)$$

$$I'_m = \iint_{slot} M_m H' ds \quad (4e)$$

式(4)에서  $H_{y1}(M_n)$ ,  $H_{y2}(J_n)$ ,  $E_{z2}(M_n)$ ,  $E_{z2}(J_n)$ ,  $H'$ 는 다음과 같이 表現된다.

$$H_{y1}(M_n) = \frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} \left[ 1 + \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] \iint_{slot} \frac{M_n e^{-jkr}}{R} dx' dy' \quad (5a)$$

$$H_{y2}(J_n) = \frac{1}{4\pi} \iint_{strip} J_n \left[ \frac{e^{-jkr}}{R_{2+}} - \frac{e^{-jkr}}{R_{2-}} \right] dx' dy' \quad (5b)$$

$$E_{z2}(M_n) = \frac{1}{2\pi\partial z} \iint_{slot} \frac{M_n e^{-jkr}}{R} dx' dy' \quad (5c)$$

$$E_{z2}(J_n) = \frac{j\omega\mu_0}{4\pi} \left[ 1 + \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \iint_{strip} J_n \left[ \frac{e^{-jkr}}{R_{2+}} - \frac{e^{-jkr}}{R_{2-}} \right] dx' dy' \quad (5d)$$

$$H' = H_{y2}(J_x) = \frac{J_x}{4\pi\partial x} \left[ \frac{e^{-jkr}}{R_-} - \frac{e^{-jkr}}{R_+} \right] \quad (5e)$$

한편, 슬롯 및 스트립에 分布된 磁流 및 電流를 表現하는데 있어서, 輻方向으로는 맥스웰 分布(Maxwell's distribution)를 假定하고, 길이方向으로는 區分的正弦函數(piecewise sinusoidal function)를 basis 函數로 利用하였으며 다음式으로 表現된다.

$$M_n(x, y) = \frac{f_n(y)}{\pi(w_s^2 - x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (6a)$$

$$f_n(y) = \begin{cases} \frac{\sin k(y + l_s - (n-1)\Delta y)}{\sin(k\Delta y)}, & y_{n-1} \leq y < y_n \\ \frac{\sin k(y + l_s - (n+1)\Delta y)}{\sin(k\Delta y)}, & y_n \leq y < y_{n+1} \end{cases} \quad (6b)$$

여기서  $\Delta y = \frac{2l_s}{N}$ : 슬롯을  $N$ 等分했을 때 한 區間의 길이

$$J_n(x, y) = \frac{g_n(x)}{\pi(w_d^2 - y^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (7a)$$

$$g_n(x) = \begin{cases} \frac{\sin k(x + l_d - (n-1)\Delta x)}{\sin(k\Delta x)}, & x_{n-1} \leq x < x_n \\ \frac{\sin k(x + l_d - (n+1)\Delta x)}{\sin(k\Delta x)}, & x_n \leq x < x_{n+1} \end{cases} \quad (7b)$$

여기서  $\Delta x = \frac{2l_d}{N}$ : 스트립을  $N$ 等分했을 때 한 區間의 길이

### III. 數值計算의 結果 및 考察

슬롯-스트립 結合輻射界의 特性을 把握하기 爲하

여 遂行한 數值計算은 주로 構造上의 變化에 대한 電磁氣의 特性의 變化分析에 重點을 두었다. 即 슬롯의 길이, 스트립의 길이 및 슬롯과 스트립 사이의 間隔을 變化시켰을 때, 슬롯, 스트립上의 磁流, 電流分布 및 輻射特性의 變化樣相은 어떠한가를 다루었다.

數值計算은 다음과 같은 具體的인 條件下에서 行해졌다. 本 論文에서 提示한 그림 1의 構造에서 슬롯과 理想電流源과의 距離  $l$ 은  $0.1\lambda$ 로 固定하고 理想電流源의 길이 ( $\Delta l$ )는 波長에 비해 大단히 짧고 ( $\Delta l \ll \lambda$ ), 이 電流源 다이폴의 길이方向 電流分布는 振幅  $I$ 로써 均一하다고 假定하고, 振幅  $I$ 와 길이  $\Delta l$ 의 곱을 편의상  $1[\text{ampere}\cdot\text{meter}]$ 라고 假定하였다. 이러한 電流源 다이폴이 自由空間에 놓여져 있을 때 電流源 前方의 半空間에 輻射되는 電力  $W_{r, \text{half}}$ 는<sup>10)</sup>

$$W_{r, \text{half}} = \left| \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \cdot d\mathbf{s} \right| = \frac{\omega \mu_0 k}{24\pi} (I \Delta l)^2 \approx 197[W] \quad (8)$$

따라서 電流源 前方의 半空間으로 輻射되는 電力은  $197[W]$ 이다. 또한, 슬롯 및 스트립의 幅  $2w_s, 2w_d$ 는 모두  $0.02\lambda$ 로 假定하였다. 計算結果에 대한 客觀的인 比較를 위하여 輻射效率(radiation efficiency)  $eff$ 는 다음과 같이 定義한다.

$$eff = \frac{\text{radiated power in space } \Pi \text{ through slot}}{W_{r, \text{half}}} \quad (9)$$

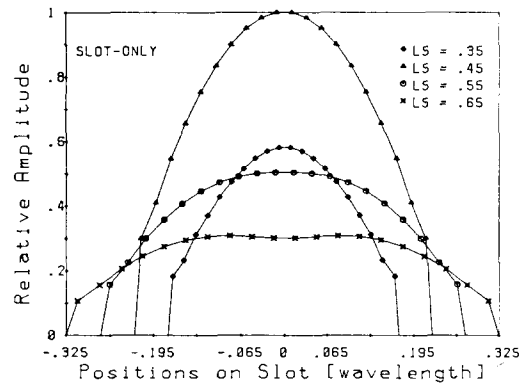
式(9)와 같이 定義된 輻射效率은, 空間에 理想電流源만이 單獨으로 놓여진 境遇에 1로 計算되며, 이 電流源의 前方에 無限한 넓이의 導體스크린을 놓은 경우 0으로 計算된다.

이제, 모멘트 方法을 利用한 數值計算을 遂行하기 에 앞서 適用되는 모멘트 方法의 收斂性을 確認해 본다. 모멘트 方法을 利用하여 積分微分方程式을 解析하는 過程에서 導入된 basis函數를 本 論文에서는 區分的正弦函數로 택하였는데, 이 때 區分해 준 區間的 數를 늘일수록 解의 正確度가 높아진다. 그러나 컴퓨터 計算時間이 區間數에 3 乘에 比例한다는 사실<sup>9)</sup> 때문에 區間數를 무작정 늘일 수는 없다. 충분히 正確한 解를 導出하면서 區間數는 最小로 하여야 하기 때문에, 우선 區間數의 增加에 따른 解의 收斂性(convergency)을 調査하여 最適의 區間數를 選定하여야 한다.

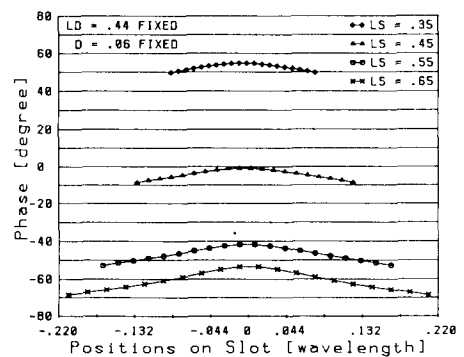
몇가지의 典型的인 構造組合에 대한 收斂性을 把握하기 위하여 區間數를 6 개부터 30개까지 늘여나 가면서 輻射效率을 計算하고 그 結果를 그림 2에 나

타내었다. 그림 2에서 LS는 슬롯의 길이, LD는 스트립의 길이, D는 슬롯과 스트립 間的 距離를 各各 波長( $\lambda$ )의 單位로 나타낸 것이다(以後의 그림에서도 이러한 記號를 利用하기로 한다). 그림 2에서 모두가 區間數(N)를 늘임에 따라, 各境遇에 따라 그 값은 달라지지만, 어느 일정한 값으로 各各 收斂하고 있음을 알 수 있다. 定量的으로 確認한 結果 區間數를 20 개 以上으로 하였을 때, 計算結果의 變化率이 3% 以下로 되는 것을 알 수 있었다. 이러한 確認結果를 바탕으로 以後의 計算에 대해서는 區間數를 20개로 固定하였다.

다음으로 스크린上의 슬롯만 存在하고 前方에 스트립이 놓여져 있지 않는 狀態에 대해 解析을 試圖하였다. 물론 이 構造는 典型的인 슬롯輻射體(slot



(a)



(b)

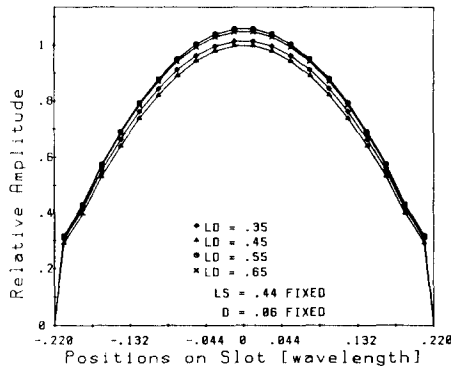
그림 3. 슬롯길이의 變動에 따른 슬롯상 磁流分布의 變化  
(a) 振幅 (b) 位相

Fig. 3. Variations of the magnetic current distribution on slot with changes of its length  
(a) amplitude, (b) phase.

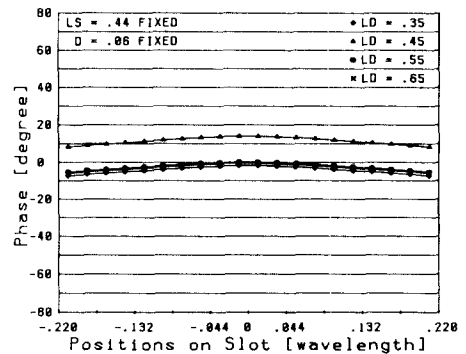
radiator)로 理解될 수 있으나 給電되는 位置가 슬롯 상의 어느 部分이 아닌 슬롯 後方의 空間이기 때문에 一般의인 슬롯 輻射體의 解析結果가 그대로 適用될 수는 없다. 그림3은 슬롯의 長이를 0.35λ에서 0.65λ 까지 0.01λ 間隔으로 變化시키면서 슬롯上 各點에서의 磁流分布를 計算한 結果 중의 一部로서 그림3(a)는 磁流의 振幅을 그림3(b)는 位相을 各기 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 슬롯의 長이가 0.45λ 近處에서 가장 큰 磁流分布를 갖게된다. 뒤 나오는 그림6(a)에서도 알 수 있겠지만, 슬롯長이의 變化에 따른 輻射效率의 變化는 磁流分布가 最大인 슬롯長이 0.45λ 近處(정확히는 0.44λ)에서 最大가 됨을 알 수 있었다. 그러나 슬롯長이가 0.44λ 일 때

最大의 輻射效率를 가진다 해도 이 슬롯을 통해 스크린前方(空間 II)으로 빠져나가는 總 輻射電方은 34[W]에 不過하기 때문에 理想電流源만으로 空間II 쪽에 輻射할 수 있는 輻射電方 197[W]에 비해서는 輻射效率이 0.2에도 미치지 않는다. 한편 이 境遇 5.15(dB)의 指向性이 얻어진다.

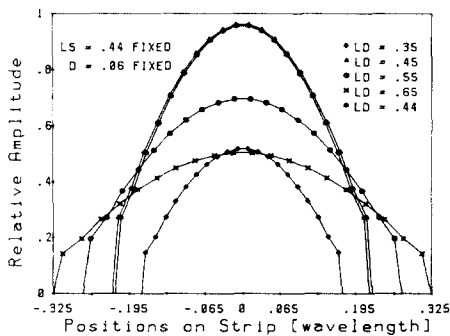
이제 스크린上의 슬롯이 스크린 後方의 理想電流源에 의해 勵振되고 있을 때 스크린 前方에 놓이는 스크립에 의해 어떤 變化가 일어나는가를 알아본다. 이 境遇, 슬롯 前方에 놓여진 스크립에는 슬롯의 1次輻射에 의해 電流가 誘起되며, 이 誘起電流에 의해 스트립으로 부터의 2次輻射가 發生한다. 이 스트립의 2次輻射중 슬롯 方向으로의 輻射는 슬롯上에 새로운 電壓을 誘起하여 磁流分布를 새롭게 한다.



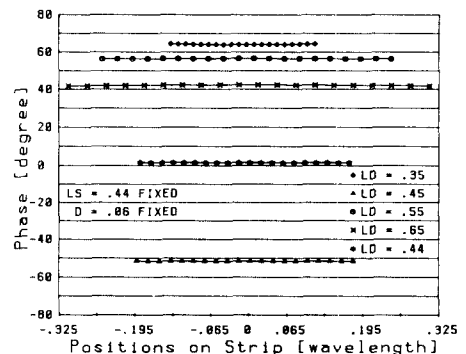
(a)



(b)



(c)



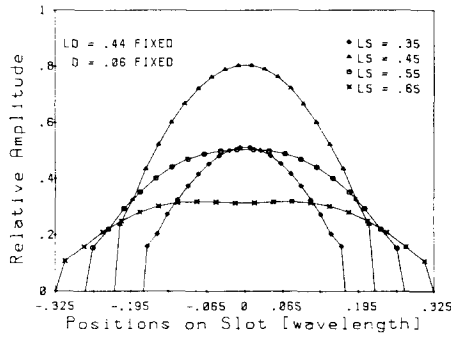
(d)

그림 4. 슬롯-스트립 結合輻射體에서 스트립의 長이 變化에 따른 各 素子上 電流, 磁流分布의 變化

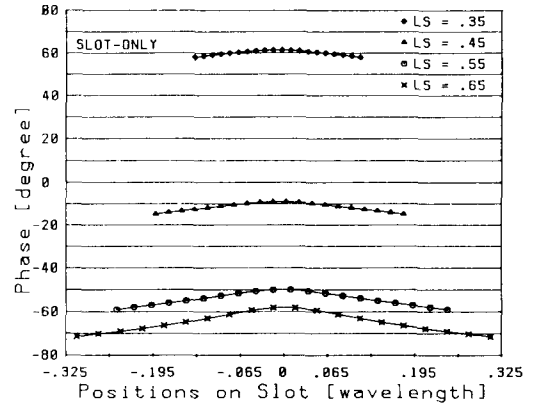
(a), (b) 슬롯상 磁流의 振幅 및 位相  
(c), (d) 스트립상 電流의 振幅 및 位相

Fig. 4. Variations of current on slot and strip with the changes of strip length

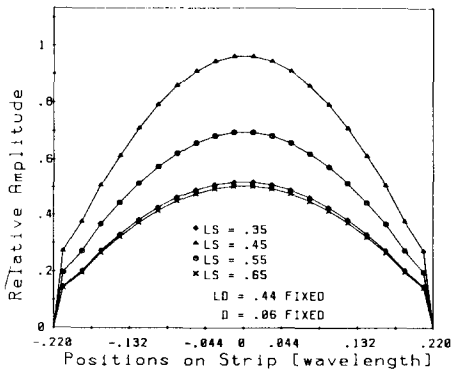
(a), (b) are the amplitude phase of magnetic current on slot,  
(c), (d) are the amplitude and the phase of electric current on strip.



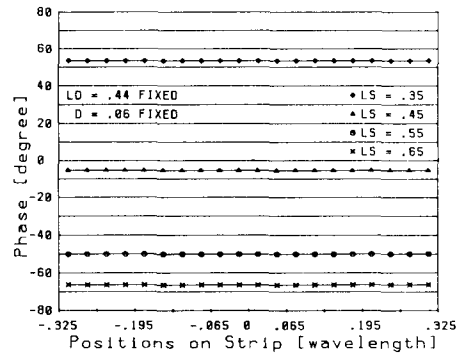
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 슬롯-스트립 結合輻射體에서 슬롯의 길이變化에 따른 各 素子上 電流, 磁流分布의 變化

(a), (b) 슬롯상 磁流의 振幅 및 位相  
(c), (d) 스트립上 電流의 振幅 및 位相

Fig. 5. Variations of current distributions on slot and strip with the changes of slot length,

(a), (b) are the amplitude phase of magnetic current on slot,  
(c), (d) are the amplitude and the phase of electric current on strip.

결국 슬롯과 스트립은 이러한 相互作用에 의해 各 各의 固有한 磁流, 電流分布를 갖게 되어 1組의 輻射體를 形成하게 된다. 이 過程에서 분명하게 豫想할 수 있는 것은 슬롯, 스트립의 길이 및 슬롯-스트립 間의 間隔은 輻射特性을 結定하는 重要한 要素가 된다는 것이다.

우선 슬롯의 길이를 固定하고 스트립의 길이를 變化시킬 때 어떠한 變化가 있는지 알아보기 위해 슬롯길이를 0.44λ 로 슬롯-스트립의 間隔을 0.06λ 로 固定하고 스트립의 길이를 0.35λ 에서 0.65λ 間隔으로 0.01λ 까지 變化시켜 보았다. 그 結果 슬롯상의 磁流振幅 및 位相의 分布는 거의 變化하지 않고

스트립상의 電流振幅 및 位相의 分布는 심하게 變化하는 것을 確認할 수 있었다. 그림4는 그 중 몇 가지 境遇에 대해 整理한 것이다. 그림4(a), (b)는 슬롯상의 磁流振幅 및 位相의 分布를 各 各 나타낸 것으로서 스트립의 길이가 0.35λ 에서 0.65λ 까지 變化해도 별다른 變化가 나타나지 않음을 確認할 수 있다. 한편 그림4(c), (d)는 길이가 變化하고 있는 스트립상의 電流振幅 및 位相을 나타낸 것으로서 그 分布가 길이變化에 따라 극심하게 變化하고 있다. 특히 注目해야 될 것은 스트립의 길이가 0.44λ 일 때 가장 높은 電流振幅을 가지게 된다는 사실이다. 計算 結果 이 條件에서 最大의 輻射效率이 얻어졌다.

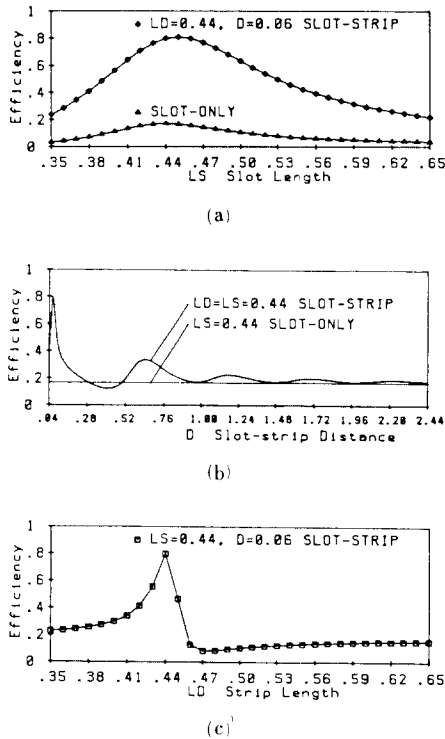


그림 6. 슬롯-스트립 結合輻射體에서 構造變動에 따른 輻射效率의 變化  
 (a) 슬롯길이 變動의 境遇(슬롯만의 境遇와 比較)  
 (b) 스트립길이 變動의 境遇  
 (c) 슬롯-스트립 間隔 變動의 境遇

Fig. 6. Variations of radiation efficiency of slot-strip combined radiator with the changes of the dimension of  
 (a) slot length, compared with the case of slot-only,  
 (b) strip length,  
 (c) slot-strip distance.

이제 스트립의 길이와 슬롯-스트립 間隔을 고정하고 슬롯의 길이를 變化시킬 때 어떤 變化가 일어나는가를 살펴본다. 이 境遇에는 스트립의 길이가 變化하는 境遇와는 약간 다른 樣相을 보인다. 卽, 슬롯 길이가 變化하면 스트립 및 슬롯상의 電流, 磁流의 振幅 및 位相이 모두 심한 變化를 일으킨다. 예를 들어 스트립길이를  $0.44\lambda$ , 슬롯-스트립 間隔을  $0.06\lambda$  로 고정하였을 때 슬롯길이에 따른 變化를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a), (b)는 각각 슬롯상의 磁流振幅 및 位相의 變化를, 그림 5(c), (d)는 스트립상의 電流振幅 및 位相變化를 나타낸 것이다. 여기에서도

슬롯, 스트립의 길이가 모두  $0.44\lambda$  일 때 電流, 磁流 振幅이 最大로 나타난다.

지금까지의 檢討 結果 이미 슬롯길이 및 스트립길이를 變化시키면서 兩者의 길이가 略  $0.44\lambda$  일 때 注目할만한 特性變化가 있음을 確認하였다. 實際 本 研究를 遂行하면서, 세가지의 變化要素(슬롯, 스트립의 길이 및 兩者 間의 間隔)로써 취할 수 있는 대단히 많은 構造組合에 대한 數值計算을 遂行한 結果 슬롯, 스트립의 길이가 각각  $0.44\lambda$ , 兩者의 間隔이  $0.06\lambda$  일 때 가장 좋은 輻射特性이 얻어짐을 確認하였다. 그림 6은 이러한 變化樣相의 一例를 나타낸 것으로서, 그림 6(a)의 아랫 쪽 曲線은 슬롯만으로 構成된 境遇, 윗 쪽 曲線은 슬롯-스트립 結合構造의 境遇에 대해 슬롯길이의 變動에 따른 輻射效率의 變化를 比較하여 나타낸 것이다. 또한 그림 6(b)는 스트립의 길이가 變動하는 境遇, 그림 6(c)는 슬롯-스트립의 間隔이 變化하는 境遇에 輻射效率의 變化를 각각 나타낸 것이다.

그림 6에서 슬롯, 스트립의 길이가 각각  $0.44\lambda$ , 兩者의 間隔이  $0.06\lambda$  일 때 輻射效率이 最大로 나타남을 한눈에 確認할 수 있다. 특히 이 條件에서 輻射效率은 0.8, 指向性은 무려  $8.67[\text{dB}]$ 에 達하는 것을 確認하였다. 이 값은 앞에서 言及된 슬롯만으로 構成된 境遇에 비해 約  $10.2[\text{dB}]$ 의 相對利得으로 생각할 수 있다. 또한 그림 6(c)에서 알 수 있듯이, 間隔의 增加에 따라 特性은 週期的으로 變化하면서 점점 슬롯만으로 構成된 輻射體의 特性에 接近하고 있음을 確認할 수 있다.

그림 7은 典型的인 몇 가지 構造에 대한 輻射 패턴을 그린 것이다. 그림 7(a)는 길이  $0.44\lambda$  인 슬롯만으로 構成된 境遇의 복사패턴이며, 슬롯, 스트립 길이가 각각  $0.44\lambda$  이고 그 間隔이  $0.06\lambda$  일 때의 輻射 패턴을 그림 7(b)에,  $0.28\lambda$  일 때의 輻射 패턴을 그림 7(c)에,  $0.40\lambda$  일 때의 輻射 패턴을 그림 7(d)에 나타내었다. 그림에서 우측면은 E면 패턴을, 좌측면은 H면 패턴을 각각 나타내고 있다. 그림 8은 그림 7의 패턴을 각각의 輻射效率을 考慮하여 相對적으로 그린 것이다.

#### IV. 結 論

本 論文에서는 理想電流源에 의해 勵振되는 슬롯의 前方에 스트립형의 散亂導體를 놓았을 때 그 散亂導體에 의해 輻射特性의 注目할만한 改善이 이루어질 수 있음을 밝혔다. 예를 들어, 슬롯 및 스트립의 길이가  $0.44\lambda$  이고 슬롯-스트립間隔이  $0.06\lambda$  일

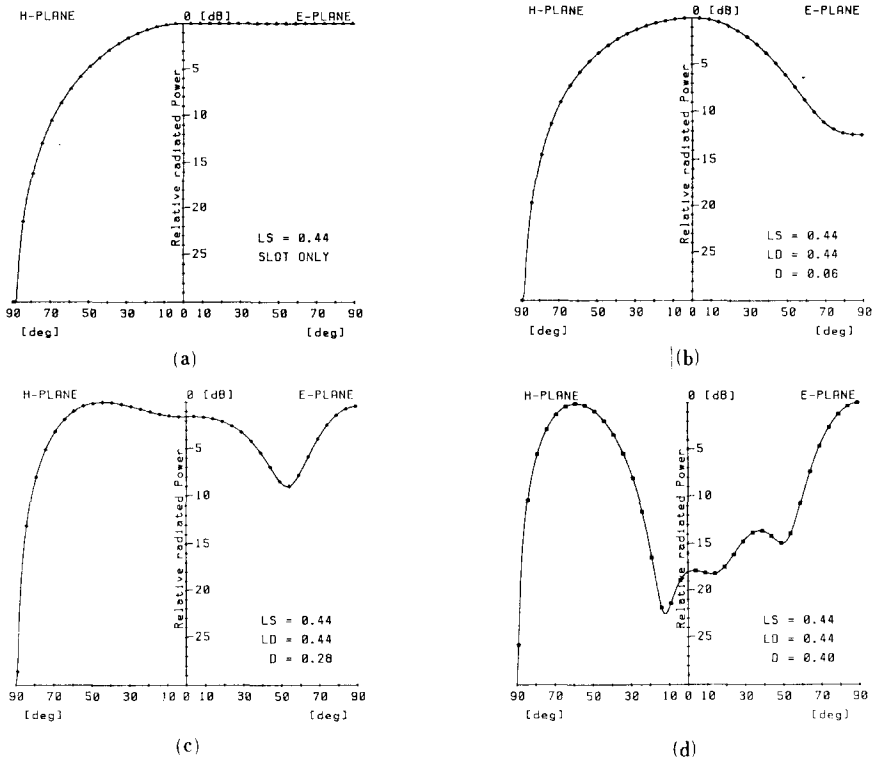


그림 7. 몇가지 典型的인 素子配置에 대한 輻射 패턴

(a) 슬롯만의 境遇

(b),(c),(d) 슬롯, 스트립의 길이가  $0.44\lambda$  이고 그들 間의 間隔이 各各  $0.06\lambda, 0.28\lambda, 0.40\lambda$  인 境遇

Fig. 7. Radiation patterns for several typical configurations.

(a) slot-only case,

(b),(c),(d) the cases of slot-strip distance of  $0.06\lambda, 0.28\lambda$  and  $0.40\lambda$ , respectively, with fixing of slot and strip length at  $0.44\lambda$ .

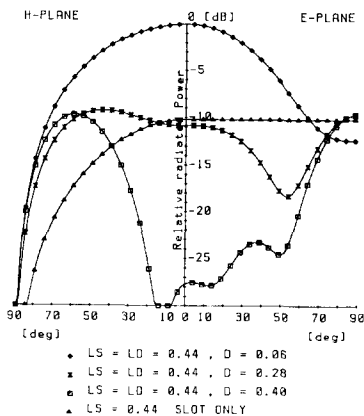


그림 8. 그림 7의 典型的인 4境遇에 대한 輻射 패턴의 相對比較

Fig. 8. Comparison of radiation patterns of four typical configurations of Fig. 7 with their relative power.

때에는, 슬롯만으로 구성된 境遇에 비해 10[dB] 以上の 利得向上이 있음을 確認할 수 있었다.

물론 本 研究結果는 슬롯의 勵振源으로서 理想電流源을 假定하였기 때문에 안테나로서의 實用化 設計에 直接 適用할 수는 없으나, 勵振源으로서 마이크로스트립 線路(microstrip line)나 空洞共振器(cavity resonator)를 利用하는 境遇에도, 스트립 散亂體의 適切한 設計를 通해 括目할만한 輻射特性의 向上이 있을 것으로 豫想된다. 또한 前方에 놓아지는 스트립의 數를 2개, 3개로 늘여 나가면 指向性 및 利得의 改善效果는 더욱 增大될 것으로 豫想된다.

參 考 文 獻

[1] H. Yagi, "Beam transmission of ultra-short waves," *Proceedings of IRE*, vol. 16, p. 715, 1928.



- [2] H. Yatom and R. Ruppin, "Excitation of a circular loop through a small aperture," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, pp. 101-106, Jan. 1985.
- [3] S.N. Sinha, D.K. Mehra and R.P. Agarwal, "Radiation from a waveguide-backed aperture in an infinite ground plane in the presence of a thin conducting plate," *IEEE Trans. Antennas propagat.*, vol. AP-34, pp. 539-545, Apr. 1986.
- [4] C.M. Butler, "Formulation of integral equations for an electrically small aperture in a conducting screen," AFWL Interaction Note 149, Dec. 1973.
- [5] K.R. Umashankar and C.M. Butler, "A numerical solution procedure for small aperture integral equations," AFWL Interaction Note 212, July 1974.
- [6] D.R. Wilton and O.C. Dunaway, "Electromagnetic penetration through apertures of arbitrary shape: Formulation and numerical solution procedure," AFWL Interaction Note 214, July 1974.
- [7] Y. Rahmat-Samii and R. Mittra, "Electromagnetic coupling through small apertures in a conducting screen," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-25, pp. 180-187, Mar. 1977.
- [8] R.F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill, New York, 1961.
- [9] R.F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, Macmillan, New York, 1968.
- [10] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, New York, 1981.

---

 著 者 紹 介
 

---



## 許 正 (正會員)

1959年 1月 4日 生. 1981年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원에서 석사학위 취득. 1983년 3월~현재 동 대학원 박사 과정. 1983년 3월~1984년 11월 한국전자통신연구소(ETRI) 연구원.

1986年 8월~1989年 3월 (주) 동선 특수재료 기술 연구소 연구소장. 주관심분야는 Microwave, 안테나 및 전파전파, 위성통신 등임.

## 李 忠 雄 (正會員) 第26卷 第5號 參照

현재 서울대학교 전자공학과 교수