

평행평판 도파관의 윗면에 위치한 주기적인 슬롯 배열에 의한 전자파의 회절특성

Diffraction Properties from Periodic Slot Array in the Upper Wall of Parallel Plate Waveguide

박진택 · 홍재표* · 고지환** · 조영기***

Jin-Taek Park · Jae-Pyo Hong* · Ji-Whan Ko** · Young-Ki Cho***

요 약

평행평판 도파관의 윗면에 2차원적 주기적인 슬롯이 배열된 구조에서 회절특성에 중점을 두어 해석하였다. 주기적인 슬롯배열은 한 축은 무한 슬롯 배열로 두고 다른 축은 유한개의 슬롯 배열로 구성된다. 평행평판 도파관 내부로 입사되는 전자파는 일부 반사되고 일부는 슬롯을 통하여 복사되며 나머지는 주기적인 슬롯이 있는 영역을 넘어 투과하게 된다. 이러한 경우에 평행평판 도파관의 높이, 단일 슬롯의 크기, 그리고 슬롯 배열의 주기에 따라 반사, 복사 그리고 투과되는 전력을 수치 계산하여 살펴보았다. 이러한 연구는 TFT-LCD와 PDP 구조의 윗면에 장착되는 주기적인 원형개구 구조를 이용하는 환기구조 설계에 유익할 것으로 사료된다.

Abstract

Periodically perforated slot structure in the upper wall of the parallel plate waveguide is analyzed with main interest focusing on the diffraction properties. The periodic slot array is of infinite extent in one direction and of finite extent in the other direction. Various numerical results for reflection from the slotted section and transmission beyond the slotted section, and the radiation through the slotted section into the upper half space are presented with the height of feeding parallel plate waveguide, single slot size, and the periodicity between slots as parameters. This study is thought to be helpful to the design of the ventilation hole in the TFT-LCD and PDP.

Key words : Aperture, Array, Frequency Selective Surface, FSS

I. 서 론

도체면에서 슬롯이 주기적으로 배열된 구조의 연구는 여러 방면에서 활발한 연구가 진행되어 오고 있다. 구조적으로 보면 유전체 면 위에 주기적 배열 구조와 접지된 유전체 위의 주기적 배열 구조로 구분될 수 있다. 이미 널리 사용되고 있는 FSS(Frequency

Selective Surface)는 유전체 면위의 주기적 배열 구조에 파가 입사될 때 특정 주파수를 전부 반사(투과)시키면서 동시에 다른 특정 주파수는 투과(반사)시키는 여파기 특성을 갖고 있다^{[1]~[6]}. 이와는 달리 접지된 유전체 위의 주기적 배열 구조는 주파수에 따라 반사파의 방향을 바꾸게 하는 주파수 스캐닝 반사기(Frequency Scanning Reflector), 입사되는 파가

「본 논문은 교육인적자원부의 특성화사업 지원에 의하여 연구된 논문임.」

창신대학 정보통신공학과(School of Information and Telecommunication Department, Changshin College)

*경일대학교 전자정보공학부(School of Electronic and Information Eng., Kyungil University)

**금오공과대학교 전자공학과(School of Electronic Eng., Kumoh National University of Technology)

***경북대학교 전자전기컴퓨터공학부(School of Electronic and Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20041213-163

· 수정완료일자 : 2005년 2월 28일

반사될 때 편파를 바꾸게 하는 Twist Reflector 등으로도 사용된다^{[7],[8]}. 이와 같이 주기적 구조는 여러 분야에 다양하게 적용되고 있다. 또 다른 적용으로 최근에는 접지된 유전체 위의 주기적 배열 구조에서 접지판과 주기적 배열판 내부에 전자파가 진행하는 경우 슬롯(구멍)으로 통해 얼마만큼 전자파가 외부로 방출될 수 있는가 하는 문제가 관심으로 대두되었다. 이러한 구조는 PDP(Plasma Display Panel)와 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)의 경우 Digital 구동회로에서 발생하는 전자파는 대략 300 MHz에서 500 MHz에 이르는 주파수 대역인데 이 경우에 열은 환기(ventilation) 시키면서 전자파는 방출을 못하도록 하는 것이 바람직한 것이다. 이런 구조에서 어느 정도 슬롯의 크기로 만들고, 어떻게 배열하는가에 따라 전자파 방출 정도는 달라질 것이다.

따라서 본 논문에서는 전자파의 방출 정도를 파악하는데 도움이 되기 위하여, 배열 구조를 평행평판 도파관에 2차원적 주기적인 슬롯 배열이 놓여진 것으로 모델링하여 전자파 회절문제로서 다루었다. 이런 주기적인 슬롯 배열구조에서 한 축은 무한 슬롯 배열로 두고, 다른 축은 유한개의 배열로 모델링하였다. 이 구조에서 접지면과 슬롯 배열면 사이, 즉 평행평판 도파관에 전자파가 들어갈 때 일부의 전파는 반사되고 일부의 파는 슬롯을 통해 방출되며 나머지는 그대로 진행할 것이다. 이러한 경우의 전자파 해석은 EMI/EMC 관련 분야나 슬롯 배열 안테나 분야^{[9],[10]}에서 다루어진 바 있으나, 본 논문에서는 전자기적으로는 결합이 작으며 환기측면에서 효과적인 구조의 관점에서 살펴보고자 한다. 이러한 관점에서 전자파 해석 방법을 제시하고 배열 개수, 슬롯을 크기, 평행평판 도파관 두께에 따라 외부로 방출되는 전자파가 어떻게 변하는지를 계산하고 그러한 결과를 고찰하고자 한다.

II. 본 론

본 논문에서 다루고자 하는 구조는 아래의 그림 1과 같다. 그림을 보면 평행평판 도파관에서 윗면에 주기적 슬롯이 배열되어 있다. x축 방향으로는 주기 Tx 간격으로 무한한 배열로 되어 있으며, y축 방향으로는 주기 Ty 간격으로 유한하게 N개의 배열로

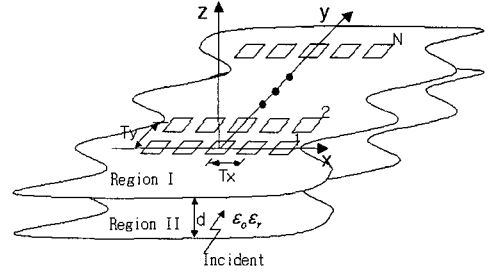


그림 1. 평행평판 도파관의 윗면에 주기적 슬롯배열이 있는 구조

Fig. 1. Geometry of periodic slot arrays in the upper wall of parallel plate.

구성되어 있다. 평행평판 도파관 내부에는 일단 균일한 유전체가 채워져 있는 것으로 두었다.

이러한 구조에 대해 전자파 해석을 하기 위해서는 등가 원리에 의해 슬롯을 단락시키고 $z=0^+$ 슬롯면의 전계 분포를 등가 자계면 전류로 대체할 수 있으며, 다음의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{M}_y(x', y') = \sum_{k=1}^N \bar{M}_k(x', y') e^{-j(k_x x' + k_y y')} \quad (1)$$

여기서 $\bar{M}_k(x', y')$ 는 k번째 줄의 자계면 전류를 나타내며, $k_{x,y}$ 는 평행평판 도파관 내에 입사되는 x, y 방향의 파수를 의미한다. k번째 줄의 자계면 전류 $\bar{M}_k(x', y')$ 는 x축 방향으로 무한 주기 배열이므로 Floquet 이론에 의해 다음과 같이 들 수 있다.

$$\bar{M}_k(x', y') = \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \tilde{\bar{M}}_{k,p}(k_{sp}, y') e^{-jk_{sp}x'} \quad (2)$$

여기서

$$\tilde{\bar{M}}_{k,p}(k_{sp}, y') = \frac{1}{T_x} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{M}_k(x', y') e^{jk_{sp}x'} dx' \quad (3)$$

이고, sp는 슬롯면에 해당되며, $k_{sp} = 2\pi p/T_x$ 이고, p는 Floquet 모드를 의미한다. 배열 슬롯을 통해 외부로 방사되는 자계 성분은 식 (1)의 자계 전류에 의해 다음식으로부터 계산할 수 있다.

$$\bar{F}'(x, y, z) = \iint \bar{F}'(x, y, z | x', y') \cdot \bar{M}_y(x', y') dx' dy' \quad (4)$$

여기서 \bar{F}' 은 윗쪽의 반무한공간($z > 0$)에 해당되는 영역 I에서의 다이아딕 그린함수(Dyadic Green's Func-

tion)이며 다음 식과 같이 정의된다.

$$\bar{F} = \frac{1}{4\pi^2} \iint \bar{\bar{F}}(k_x, k_y) e^{-jk_x z} e^{-jk_x(x-x')} e^{-jk_y(y-y')} dk_x dk_y \quad (5)$$

식 (1)과 식 (5)를 식 (4)에 대입시키고 적분 순서를 바꾼 다음 정리하면, 영역 I에서 자계 성분 \bar{H}^I 는 다음과 같이 k_y 에 대한 적분식으로 간단하게 표현된다.

$$\bar{H}^I(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^N \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{\bar{F}}^I(k'_p, k_y) \cdot \bar{\bar{M}}_{k,p}(k_{xp}, k'_y) e^{-jk'_p x} e^{-jk_y y} e^{-k'_z z} dk_y \quad (6)$$

여기서

$$k'_{xp} = k_x^i + \frac{2\pi p}{T_x}, \quad k'_y = k_y - k_y^i \quad (7)$$

$$k'_z = \sqrt{k_o^2 - k_{xp}^2 - k_y^2} \quad (8)$$

$$\bar{\bar{M}}_{k,p} = \frac{1}{T_x} \iint \bar{\bar{M}}_k(x', y') e^{jk_{xp} x'} e^{j(k_y - k_y^i) y'} dx' dy' \quad (9)$$

이미 언급한 바와 같이 배열 슬롯을 단락시키고 자계면 전류로 대치했으므로, 도파관 내부의 $z=0^-$ 에서 슬롯면의 자계면 전류는 식 (1)의 표현식과 크기는 같고 부호가 반대인 $-\bar{M}_s$ 로 둘 수 있다. 따라서 자계면 전류에 의한 도파관 내부의 자계 성분 \bar{H}^{II} 는 식 (1)~(9)에서 언급한 것과 같은 방법으로 정리하면 다음과 같다.

$$\bar{H}^{II}(x, y, z) = \frac{-1}{2\pi} \sum_{k=1}^N \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{\bar{F}}^{II}(k'_p, k_y) \cdot \bar{\bar{M}}_{k,p}(k_{xp}, k'_y) e^{-jk'_{xp} x} e^{-jk_y y} e^{-k''_z z} dk_y \quad (10)$$

여기서

$$k''_z = \sqrt{k_o^2 \epsilon_r - k_{xp}^2 - k_y^2} \quad (11)$$

그리고 식 (6)과 식 (10)에서 자기 벡터 포텐셜인 다이아덕 그린함수 $\bar{\bar{F}}$ 는 다음과 같이 유도된다.

$z=0^+$ 에서

$$\bar{F}_{xx}^I = \frac{\epsilon_o \omega}{k_o^2 k'_z} (k_x^2 - k_o^2) \quad (12a)$$

$$\bar{F}_{yx}^I = \bar{F}_{xy}^I = \frac{\epsilon_o \omega}{k_o^2 k'_z} k_x k_y \quad (12b)$$

$$\bar{F}_{yy}^I = \frac{\epsilon_o \omega}{k_o^2 k'_z} (k_y^2 - k_o^2) \quad (12c)$$

$z=0^-$ 에서

$$\bar{F}_{xx}^{II} = \frac{-j\epsilon_o \omega}{k_o^2 k''_z} (k_x^2 - k_o^2 \epsilon_r) \cot k''_z d \quad (13a)$$

$$\bar{F}_{yx}^{II} = \bar{F}_{xy}^{II} = \frac{-j\epsilon_o \omega}{k_o^2 k''_z} k_x k_y \cot k''_z d \quad (13b)$$

$$\bar{F}_{yy}^{II} = \frac{-j\epsilon_o \omega}{k_o^2 k''_z} (k_y^2 - k_o^2 \epsilon_r) \cot k''_z d \quad (13c)$$

이제 도파관에 입사되는 자계를 \bar{H}^I 라 두고, $z=0$ 인 슬롯면에서 자계의 연속조건을 적용하여 보면 다음과 같은 등식을 쓸 수 있다.

$$\bar{H}^I(\bar{M}_s) = \bar{H}^{II}(-\bar{M}_s) + \bar{H}^I \quad (14)$$

이러한 자계 연속조건에 의해 식 (6)과 식 (10)을 식 (14)에 대입하고 정리하면 다음과 같은 적분방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^N \sum_{p=-\infty}^{+\infty} e^{-jk'_{xp} x} \int_{-\infty}^{+\infty} (\bar{\bar{F}}^I - \bar{\bar{F}}^{II}) \cdot \bar{\bar{M}}_{k,p} e^{-jk_y y} dk_y = \bar{H}^I(x, y, z=0) \quad (15)$$

위의 식에서 등가 자계 전류는 미지의 계수와 기저함수와 곱의 선형적인 합으로 이루어지는 전개함수로 표현하고, Galerkin 방법을 이용하여 시험과정을 거치면 선형대수방정식을 얻을 수 있다. 선형대수방정식을 풀면 미지의 계수를 얻을 수 있어 슬롯면의 등가 자계 전류 \bar{M}_k 를 구할 수 있다. 본 논문에서는 전개함수는 임의의 슬롯 모양을 해석하기 위해 일반적으로 널리 사용되는 지붕 구조 기저함수 (roof-top basis function)를 사용하였다. 그리고 식 (15)의 Floquet 모드수는 충분히 여유를 두어 20개 두고 계산하였다.

위와 같은 해석 과정을 거치면 평행 평판 도파관 내부에서 입사파에 대해 슬롯 배열에 의해 되돌아 나오는 반사파와 슬롯영역을 통과하여 그대로 도파관 내부를 진행하는 진행파 그리고 주기적 슬롯 배

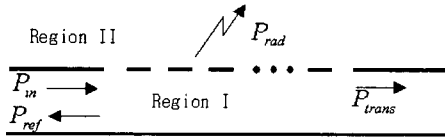


그림 2. 평행평판 도파관의 윗면에 주기적 슬롯배열 구조의 단면도
 Fig. 2. Side view of periodically perforated slot array structure in the upper wall of the parallel plate.

열을 통해 외부로 방사되는 복사파의 전자계 성분들을 모두 구할 수 있다. 따라서 아래 그림 2에서 보는 것처럼 입사파의 전력 P_{in} 은 반사파의 전력 P_{ref} , 진행파의 전력 P_{trans} 그리고 복사파의 전력 P_{rad} 의 합과 같아야 하고, 이러한 반사파의 상대 전력($=P_{ref}/P_{in}$)과 진행파의 상대 전력($=P_{trans}/P_{in}$) 그리고 복사파의 상대 전력($=P_{rad}/P_{in}$)의 합은 1이 되어 아래와 같이 주어지는 전력보전법칙이 성립시켜야 할 것이다.

$$P_{in} = P_{ref} + P_{trans} + P_{rad} \quad (16)$$

III. 수치 계산

앞에서는 평행평판 도파관에 주기적인 슬롯 배열이 놓여진 구조의 전자파 해석 방법을 기술하였다. 제안된 해석 방법에 대한 타당성을 조사하기 위해 먼저 도파관내 입사파의 전력이 반사파의 전력, 투과파의 전력 그리고 슬롯을 통해 방사되는 전력의 합과 같은가 하는 전력보전법칙의 성립을 먼저 조사하였다. 이를 위해 도파관 내부는 공기로 채워져 있다고 보고, 도파관의 높이를 20 mm로 두고, x, y축 방향의 주기 간격은 각각 40 mm, 단일 슬롯의 모양은 정사각형으로 가로 세로 35 mm이며, y축 방향으로 슬롯이 $N=6$ 개 배열되어 있을 때 수치 계산해서 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보면 y축 방향으로 입사되는 TEM파의 전력에 대한 상대적인 반사파의 전력, 진행파의 전력 그리고 외부로 복사되는 전력의 합이 1이 되어 전력보전법칙이 성립함을 알 수 있으며, 따라서 본 해석 방법이 타당함을 확인할 수 있다.

다음은 본 구조의 각 파라미터 변화에 대한 전자파의 영향을 알아보려고 한다. 먼저 평행평판 도파관에서 슬롯 배열이 한 줄만 있는 경우 도파관 높이

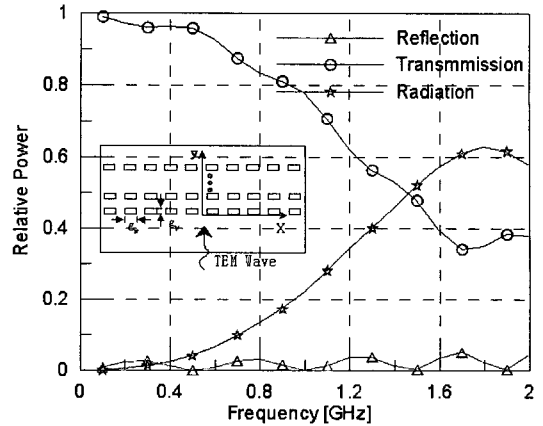
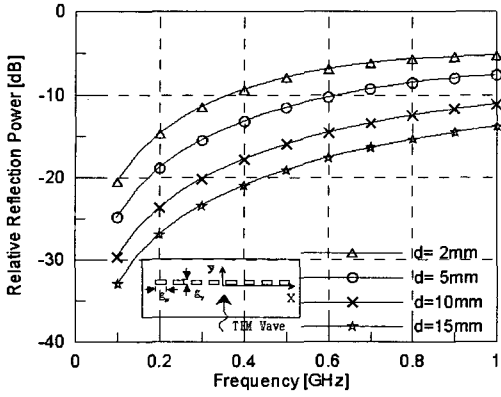


그림 3. 전력보전법칙 성립 조사($d=20\text{mm}$, $T_x = T_y = 40\text{mm}$, $g_x = g_y = 35\text{mm}$, $N=6$)
 Fig. 3. Investigation of the power conservation compatibility.

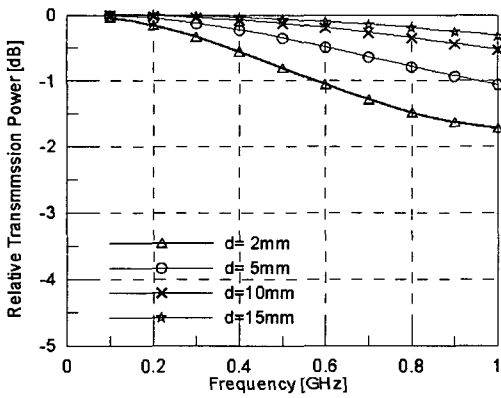
에 대한 변화를 그림 4에 나타내었다. 한 줄로된 슬롯 배열이 있는 경우 즉 x 방향으로 무한주기 슬롯 구조가 하나만 있는 경우, 도파관의 높이가 적을수록 반사파가 커짐을 알 수 있으며, 슬롯의 크기는 파장에 비해 매우 적으므로 외부로 방사되는 전력은 적고 대부분 전파는 도파관을 따라 그대로 진행함을 알 수 있다.

다음은 그림 4에 주어진 경우 중에서 도파관의 높이가 $d=10\text{mm}$ 인 경우에 대하여, y 방향으로 놓여져 있는 슬롯배열의 개수 N 을 13개까지 증가하면서 어떻게 변화되는지 알아보았다. 계산된 결과를 그림 5에 나타내었으며, 이때 반사파의 전력은 -11dB 이하로 떨어졌으며, y 방향의 슬롯 갯수가 증가함에 따라 슬롯을 통해 외부로 파가 복사되므로 투과파는 약간씩 줄어드는 모습을 볼 수 있다. 반면에 외부로 빠져나가는 복사파는 조금씩 증가하는 모습을 볼 수 있다. 슬롯 배열의 개수 N 에 관계없이 반사전력의 상한이 -11dB 로 주어지는 현상이 흥미롭다. 이는 평행평판 도파관의 높이가 파장에 비하여 충분히 작은 경우에 슬롯구조가 자계벽으로 작용한다는 관찰 결과^[11]로부터 기대할 수 있는 결과로 생각된다.

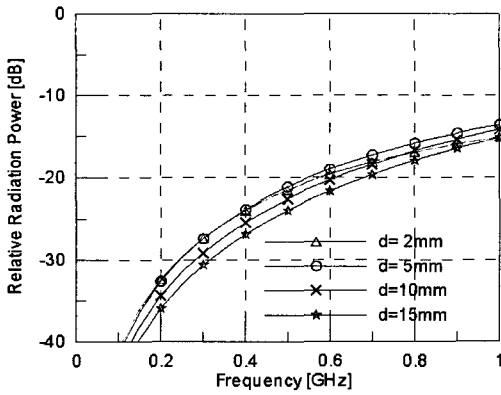
그리고 그림 5의 파라미터에서 y 방향의 슬롯배열 갯수를 $N=9$ 개로 두고, 다시 도파관의 높이 변화에 따른 상대전력을 계산해서 그림 6에 나타내었다. 계산 결과를 보면 도파관의 높이가 작을수록 반사파



(a) 반사파의 상대 전력
(a) Relative power of the reflected wave



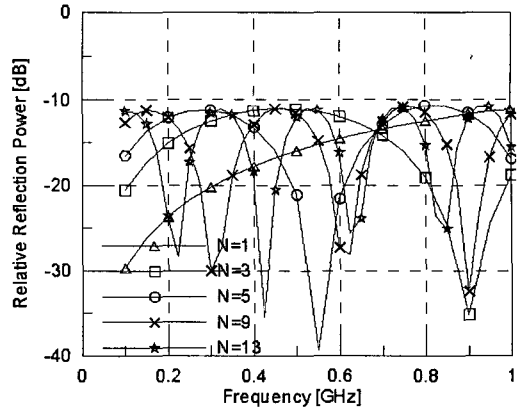
(b) 투과파의 상대 전력
(b) Relative power of the transmitted wave



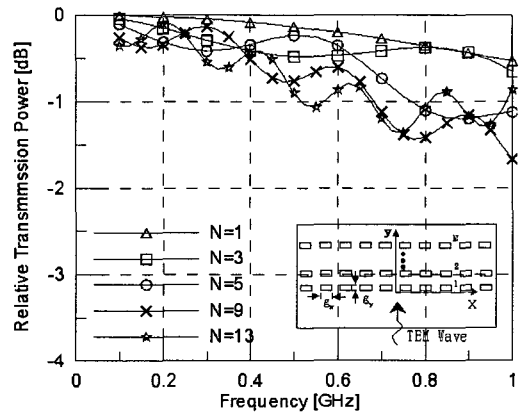
(c) 복사파의 상대 전력
(c) Relative power of the radiated wave

그림 4. 슬롯 배열이 한 줄 있는 경우의 도파관 두께 변화에 따른 상대전력($T_x = T_y = 40$ mm, $g_x = g_y = 35$ mm, $N = 1$)

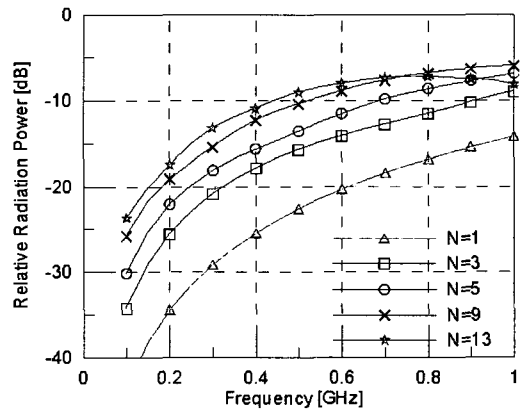
Fig. 4. Relative power versus the variation of the height of parallel plate with one slot array row.



(a) 반사파의 상대전력
(a) Relative power of the reflected wave



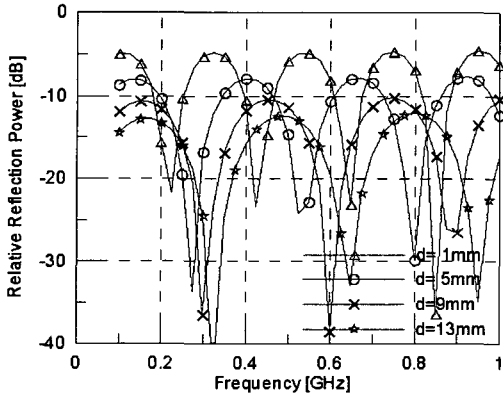
(b) 투과파의 상대전력
(b) Relative power of the transmitted wave



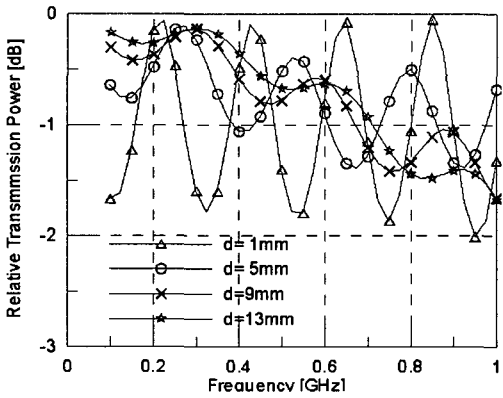
(c) 복사파의 상대전력
(c) Relative power of the radiated wave

그림 5. 슬롯배열의 줄수에 따른 상대전력($d = 10$ mm, $T_x = T_y = 40$ mm, $g_x = g_y = 35$ mm)

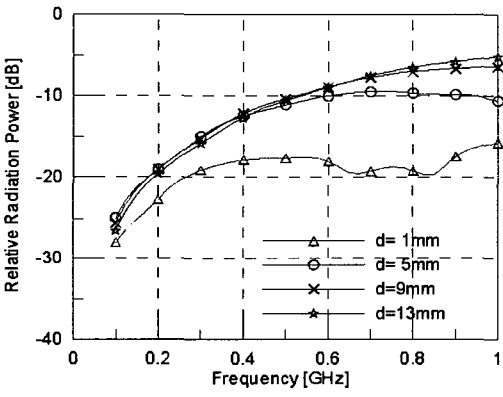
Fig. 5. Relative power versus the number of slot array row.



(a) 반사파의 상대전력
(a) Relative power of the reflected wave



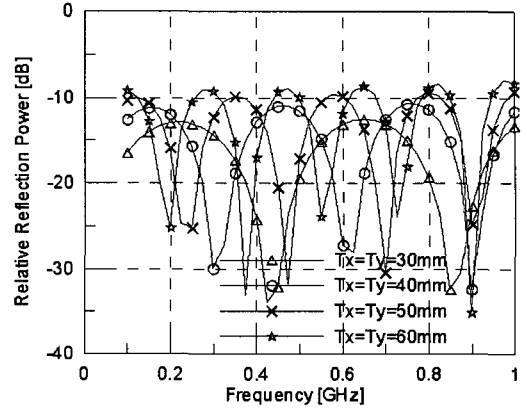
(b) 투과파의 상대전력
(b) Relative power of the transmitted wave



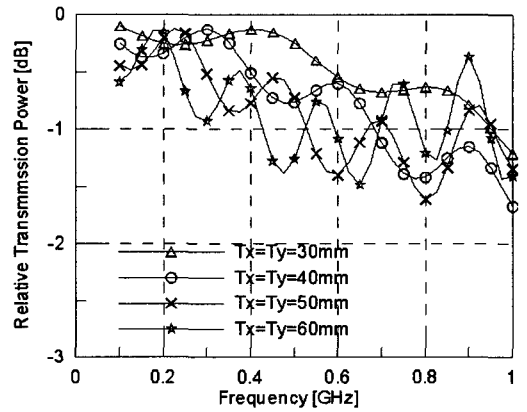
(c) 복사파의 상대전력
(c) Relative power of the radiated wave

그림 6. 슬롯배열 줄수가 $N=9$ 인 경우 평행 평판 도파관 두께 변화에 따른 상대전력($N=9, T_x = T_y = 40 \text{ mm}, g_x = g_y = 35 \text{ mm}$)

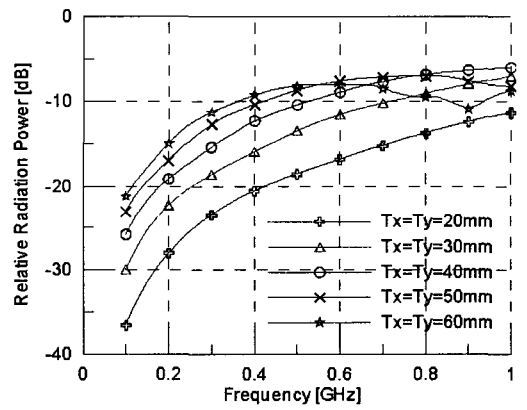
Fig. 6. Relative power versus the variation of the height of parallel plate with the slot array rows, $N=9$.



(a) 반사파의 상대전력
(a) Relative power of the reflected wave



(b) 투과파의 상대전력
(b) Relative power of the transmitted wave



(c) 복사파의 상대전력
(c) Relative power of the radiated wave

그림 7. 슬롯배열의 주기에 따른 상대전력($N=9, d=10 \text{ mm}, g_x = g_y = T_x \cdot 4/5$)

Fig. 7. Relative power versus the variation of the periodicity between slots.

는 점점 크게 되고, 외부로 방출되는 복사파도 적게 되는 모습을 볼 수 있다. 반대로 도파관 도파관 높이가 클수록 반사파는 적어지고 복사파는 점점 증가되지만 투과파는 조건에 따라 변화되는 모습을 볼 수 있다. 그리고 그림 6(c)를 보면 파장이 작을수록 슬롯을 통하여 복사파는 점점 증가함을 확인할 수 있다.

마지막으로, 도파관의 높이를 10 mm, 슬롯배열 갯수를 $N=9$ 개 그대로 두고 배열 주기 간격을 변화하여 보았다. 여기서 단일 슬롯의 크기는 주기의 4/5로 두고 계산하였다. 계산 결과인 그림 7을 보면 주기 간격이 커질수록 복사되는 전력도 조금씩 증가되고 투과파는 약간 작아지는 경향을 알 수 있다. 그러나 반사파는 주파수에 약 -9 dB 이하로 일정하게 유지되는 모습을 볼 수 있다.

따라서 TFT-LCD나 PDP와 같은 뒷면의 배열 구멍으로 열은 환기시키면서 전자파는 방출 못하도록 하기 위해 어느 정도 슬롯의 크기로 만들고, 어떻게 배열하는가 하는 설계에 본 결과는 유용하게 이용될 것이다.

IV. 결 론

최근에 관심을 끄는 구조로서 평행평판의 윗면에 일정 간격으로 슬롯(구멍)을 배열하여 회로에서 발생하는 열은 환기시키면서 전자파는 방출 못하도록 하는 구조가 여러 전자장비에 널리 사용되고 있다. 이러한 구조에서 슬롯을 통해 방출되는 전자파가 얼마인가에 관심을 가지게 되었고, 본 논문에서는 이러한 구조에 대한 전자파 해석 방법을 제시하였다.

본 논문의 전자파 해석은 평행평판 도파관에 2차원적 주기적인 슬롯 배열이 놓여진 것으로 보고 전자파 문제를 다루었다. 이런 주기적인 슬롯 배열 구조에서 한 축은 무한 슬롯 배열로 두고, 다른 축은 유한개의 배열로 모델링 하였다. 전자파 해석 방법으로 배열된 슬롯면을 자계면 전류로 대치하고, Floquet 이론을 적용하여 MoM 방법을 사용하였으며, 제안된 해석 방법의 타당성은 전력보전법칙으로 확인하였다. 수치 계산으로는 실제의 경우를 고려하여 파장에 비해 매우 작은 배열주기 간격과 슬롯 크기 및 평행평판 도파관 높이를 다루었으며, 도파관의 높이가 클수록 반사파는 작아지고 외부로 방출되

는 복사파는 커짐을 알 수 있었다. 그리고 슬롯 크기가 클수록 또한 복사파는 커짐을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 해석 방법을 사용하면 빠른 계산 시간으로 인해 실제 적용하고자 하는 배열 구조의 전자파 해석에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 이제까지는 배열 구멍(슬롯)을 통하여 일어날 수 있는 공기 순환에 의한 열의 배출이 어느 정도 되는지에 대한 연구는 하지 못했지만 일반적으로 설계 지침도 없이 제작되어지고 있는 디스플레이 장치(TFT-LCD나 PDP 같은) 뒷면에 붙이게 되는 전자파 차폐구조 설계 관련 연구에 도움이 될 것으로 생각한다. 그리고 본 논문의 결과는 배열에 가로질러 입사되는 경우만 다루었지만 향후에는 도파관 내에서 비스듬하게 입사하는 경우도 해석할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Montgomery, "Scattering by an infinite periodic array of thin conductors on a dielectric sheet", *IEEE Trans.*, vol. AP-23, no. 1, pp. 70-75, Jan. 1975.
- [2] C. C. Chen, "Transmission through a conducting screen perforated periodically with apertures", *IEEE Trans.*, vol. MTT-18, no. 9, pp. 627-632, Sep. 1970.
- [3] R. Mittra, C. H. Chan, and T. Cwik, "Techniques for analyzing frequency selective surfaces - a review", *Proc. of IEEE*, vol. 76, no. 12, pp. 1593-1615, Dec. 1988.
- [4] T. K. Wu, *Frequency Selective Surface and Grid Array*, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [5] 고지환, 엄만석, "격자 사각 루프 형태를 갖는 주파수 선택 반사기", 전자공학회논문지, vol. 34, no. 9, pp. 703-710, 1997년.
- [6] 고지환, 조영기, "원편파 변환 주파수선택반사기 설계", 전자공학회논문지, vol. 38TC, no. 1, pp. 34-42, 2001년.
- [7] F. S. Johansson, L. R. Lagerholm, and P. S. Kildal, "Frequency-Scanned reflection gratings with integrated polarizer", *IEEE Trans.*, vol. AP-40, no. 3, pp. 331-334, Mar. 1992.

[8] A. Y. Niazi, T. S. Moore, "Millimeter wave twist reflector scanning antenna", Marconi Sapce and Defence Sys. Ltd., Stanmore, UK.

[9] Bruce Archambeault, "EMI modeling of vents and slots in shielded cabinets", *IEEE 1992 Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 44-51, Aug. 1992.

[10] M. Sato, Y. Konishi, and S. Urasaki, "A traveling-wave fed parallel plate slot array antenna

with inclined linear polarization at 60 GHz", *10th Int. Conference on Antennas and Propagation*, Apr. 1997.

[11] Jong-Ig Lee, Ji-Hwan Ko, and Young-Ki Cho, "A note on diffraction and equivalent admittance properties of a transverse slit in a parallel plate waveguide filled with a homogeneous dielectric", *IEICE Trans. Commun.*, vol. 86, pp. 3600-3605, Dec. 2003.

박진택



1980년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1981년 2월~1991년 2월: 미육군

정보체계사령부 국방통신 대구통제국 선임통제관
 1991년 3월~현재: 창신대학 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] 전자파의 개구결합 문제, 마이크로파 및 안테나이론

고지환



1982년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년~2000년: 한국전자통신연구원 연구원

2000년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계, 초고주파 도파관 및 부품 설계, 전자파 산란, 위성통신

홍재표



1981년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1989년: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 3월~현재: 경일대학교 전자정보공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 전자기산란 및 전자기이론

조영기



1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1981년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 교수

1992년~현재: 국제전파연합(URSI) 한국대표
 2000년~현재: 한국전자파학회 학술이사
 2002년~현재: 경북대학교 공과대학 BK사업 단장
 [주 관심분야] 전자기 산란 및 복사, 주기구조, 안테나 이론