

마이크로 스트립라인을 이용한 스롯트 안테나의 방사패턴에 관한 연구

권 동 승* 윤 영 중* 김 남 수* 박 한 규*

*연세대학교 전자공학과

A study on the Radiation Pattern of the Slot Antenna using Microstripline

D. S. Kwon* Y. J. Yoon* N. S. Kim* H. K. Park*

*Dept. of Electronics Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this paper, the Slot antennas and the slot array antenna with 4 elements and $\lambda/2$ equi-spaces are designed at 10 GHz. The slot antennas are experimented with the variations of offset displacements between the slot and the feeding line, and of the slot length, and show good results in cases of offset displacement $\delta = 1.625$ mm and length $L = 12.75$ mm respectively. The gain of slot antenna is increased by making $\lambda/4$ distances between the back of the slot and the reflector, obtaining 3 dB gain increase. The slot array antennas with 4 elements show that 3 dB beamwidth is $26 \pm 1^\circ$, gain is the maximum 9.35 dB and the level of sidelobe is -9.5 ± 0.5 dB.

1. 서 론

각종 전자전 장비나 항공기, 우주선, 인공위성 등의 전자장비가 점차 소형화 됨에 따라 소전력, 현대역의 단점이 있으나, 가볍고 소형이며 경제적으로 제작 설치가 용이하여 대량생산이 가능한 마이크로 스트립 안테나에 대한 많은 연구가 행해지고 있다.

스트립 선로 스롯트 안테나는 Oliner, Sommers, Breithaupt 등에 의해 연구되었으며 1968년 Breithaupt와 Rohm은 각각 스트립 선로에서의 스롯트 특성과 유전체 기판에서의 스롯트 특성에 대해 발표하였다. 1972년 Y. Yoshimura는 마이크로 스트립 스롯트 안테나를 제작, 실험적으로 급전점 위치와 스롯트 크기에 따른 임피던스를 측정하여

Dolph-Chebyshev 스롯트 배열 안테나를 설계하였다. 본 연구에서는 1982년 B. N. Das가 발표한 마이크로 스트립 스롯트 안테나의 임피던스에 관한 식들로부터 중심주파수 10GHz에서의 스롯트 공진 길이를 컴퓨터를 이용하여 구하고 급전점의 위치와 스롯트의 길이 변화에 따른 방사패턴을 측정하여 스롯트 안테나의 최적치를 실험적으로 구하고 이를 이용하여 4단 E-평면 배열 안테나를 구성하였다. 또한 스롯트 안테나의 특성중 하나인 양방향성을 한쪽 방향으로 방사시키기 위해 반사판을 스롯트 반대편에 부착하여 반사판 간격 및 주파수 변화에 따른 방사 패턴과 이득을 측정하였다.

2. 마이크로 스트립 스롯트 안테나

2차원 면적을 지닌 개구면으로부터 전계가 방사되는 안테나를 선형 안테나와는 달리 개구면 안테나라 하며 open-ended waveguide, 스롯트 안테나, 혼 안테나 등이 있다. 특히 마이크로 스트립 스롯트 안테나는 그림 1과 같이 마이크로 스트립 양면기판의 한쪽 면에 급전선을 설계하고, 반대쪽 접지면에 급전선에 수직으로 스롯트를 잘라 낸 것으로, 급전선을 통해 전파되는 에너지가 스롯트를 여기시킴으로써 방사가 이뤄지며, 양 방향 또는 한 방향으로의 방사패턴을 만들 수 있다. 스롯트는 유전체기판을 통해 급전선과 단락시키거나 또는 급전선이 스롯트를 지나 $\lambda/4$ 길이로 개방되어 효과적인 단락회로를 만듦으로써 단락된 스롯트에서의 End-effect를 얻는다.

(1) 방사패턴

마이크로 스트립 스롯트 안테나의 방사패턴은 접지면

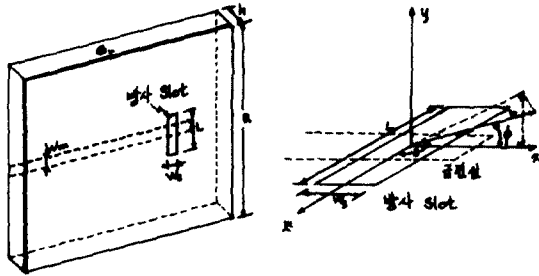


그림 1. 마이크로 스트립 슬롯트 안테나

상 슬롯트에서의 전류밀도로부터 Vector Potential Method 를 사용하여 얻을수 있다. 이때 다음의 가정이 필요하다.

가정: 1. 접지면의 크기는 일정하다.

2. 슬롯트 길이 방향으로서는 전계성분이 없다.

그림 2에서와 같이 슬롯트가 xz 평면 상에 있다면, 스롯트에서의 전계는 다음과 같이 가정한다.

$$\vec{E}_s = \hat{x} E_m^s \sin [k(L/2 - |z|)] \quad |x| < Ws/2, |z| < L/2 \quad (1)$$

이에 의한 자기전류 \vec{M} 은

$$\vec{M} = -2 \hat{n} \times \vec{E}_s = \hat{z} 2E_m^s \sin [k(L/2 - |z|)] \quad (2)$$

이고, $\vec{J} = 0$ 이다. \vec{M} 과 \vec{J} 로부터 Vector Potential 을 구하고 Maxwell 방정식과 Lorentz condition 을 이용하여 스롯트에서 거리 r 만큼 떨어진 far-field에서의 전계와 자계는

$$\begin{aligned} E_\theta &= -j \frac{k e^{jkr}}{2r} E_m^s L F(\theta, \phi) \\ H_\phi &= E_\theta / Z_0, \quad E_\phi = H_\theta = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

이고, 이때 $F(\theta, \phi)$ 는

$$F(\theta, \phi) = \frac{\sin(kWs/2 \sin\theta \cos\phi) [\cos(kL/2 \cos\theta) - \cos(kL/2)]}{kWs/2 \sin\theta \cos\phi \cdot kL/2 \sin\theta} \quad (4)$$

이 된다. 따라서 방사패턴은

E-평면 패턴 ($\theta = \pi/2$):

$$F(\phi) = \frac{\sin(kWs/2 \cos\phi) [1 - \cos(kL/2)]}{kWs/2 \cos\phi \cdot kL/2} \quad (5)$$

H-평면 패턴 ($\phi = \pi/2$):

$$F(\theta) = \frac{\cos(kL/2 \cos\theta) - \cos(kL/2)}{kL/2 \sin\theta} \quad (6)$$

이 된다.

Narrow 슬롯트인 경우는 $Ws \ll \lambda_0$ 이므로 식(4)는

$$F(\theta, \phi) = \frac{\cos(kL/2 \cos\theta) - \cos(kL/2)}{kL/2 \sin\theta} \quad (7)$$

로 쓸수 있으며, 이때 H-평면 패턴은 식 (6)과 같으나 E-평면 패턴은

$$F(\phi) = [1 - \cos(kL/2)] / (kL/2) \quad (8)$$

이 된다.

급전선은 특성 임피던스 50Ω 에 맞게 설계하므로 폭은 슬롯트 길이에 비해 매우 작게 된다. 따라서 급전점 근처에서 급전점에 의한 영향은 far-field에서 거의 무시되며, 유전체두께 h 는 $h \ll \lambda_0$ 이므로 유전체에 의한 영향도 far-field에서는 무시된다. 마이크로 스트립 슬롯트 안테나의 특징인 양방향의 방사특성은 급전선이 있는면에 $\lambda_0/4$ 만큼 떨어져 반사판을 설치하면 한 방향으로 만의 방사가 가능하다.

(2). 슬롯트 배열 안테나의 방사패턴

일반적으로 N 개의 등방성 안테나가 동일한 크기 I_0 와 동일한 간격 d 로 선형 배열시 원거리 점에서의 전계 E 는

$$E = I_0 \frac{1 - \text{EXP}(jN\psi)}{1 - \text{EXP}(j\psi)} = I_0 \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \text{EXP}(j(N-1)\psi/2) \quad (9)$$

$$\psi = kd \cos(\theta) + \alpha$$

이고, 위상성분은 배열의 중앙을 원점으로 취하면 상쇄되고, $\psi = 0$ 일때의 최대값으로 정규화하면

$$E = \frac{\sin(N\psi/2)}{N \sin(\psi/2)} \quad (10)$$

이 된다.

식 (10)은 N 개의 등간격 배열 안테나에 대한 정규화된 배열 성분(normalized array factor) 이 된다.

슬롯트 안테나의 선형 배열시의 방사패턴은 패턴 적의 원리에 따라 식 (10)의 배열성분에 슬롯트 안테나의 방사 패턴을 곱하면 된다.

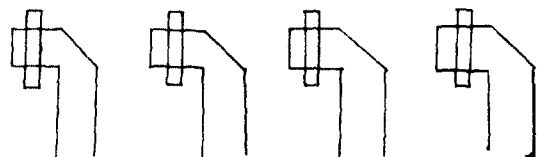


그림 2. E-평면 배열 안테나

그림 (2) 와 같이 스로트를 E - 평면 배열을 이루면, 방사 패턴은 다음과 같다.

E - 평면 패턴 ($\theta = \pi/2$) :

$$F(\phi) = \frac{\sin(kW \cos\phi/2) \cdot \cos(kL/2) \cdot \sin(N\psi/2)}{kW \cos(\phi/2) \cdot 2 \cdot kL/2 \cdot N \sin(\psi/2)} \quad (11)$$

H - 평면 패턴 ($\phi = \pi/2$) :

$$F(\theta) = \frac{\cos(kL \cos(\theta/2)) \cdot \cos(kL/2)}{kL \cos(\theta/2)} \quad (12)$$

$$\psi = kd \cos(\phi) + \alpha$$

식 (11) 과 (12) 를 이용하여 이론적인 방사패턴을 구할 수 있다

3. 실험 및 결과고찰

본 연구에서는 비전율($\epsilon_r=2.45$, 유전체 두께 $h=1.53\text{mm}$ 인 Teflon fiber glass에 포토에칭 기법을 사용하여 중심 주파수 140GHz에서 폭 $W_s=1.5\text{mm}$ 일때 공진길이 $L=11.5\text{mm}$ 인 경우에 대해 offset간격및 스로트 길이 변화에 따른 방사 패턴을 측정하여 표 1에 비교하였으며, 그림 (3) 은 몇가지 경우에 대한 E - 및 H - 평면 방사패턴을 나타내었다. 스로트의 급전선은 모두 50 Ω 으로하였으며, 스로트로부터 44만클 연장된 개방회로를 사용하였다. 스로트의 반대면에 반사판을 부착시켜 간격 변화에 따른 특성을 표 (2) 에 나타내었다.

표 (1) 에서 스로트 1 - 6은 offset 간격을 조정한 경우이며, 7 - 11은 스로트 길이를 조정한 경우로 공진길이의 중앙 급전시킨 경우(1.9)에 대해 offset 간격 $\delta = 0.375\text{mm}$ 인 경우와 길이 $L = 10.65\text{mm}$ 인 경우 특성이 더 좋음을 알 수 있다.

표 (2)에서의 반사판 간격에 따른 변화는 간격이 44일때 back lobe 가 크게 줄어들음을 알 수 있으며, 이득도 반사판이 없을 때에 비해 + 4 dB 정도 증가했다.

표 (3)에서는 주파수 변화에 따른 이득을 측정 했으며, 모든 이득은 Nadar Standard Gain Horn 안테나와 비교 측정하였다.

그림 (그림 4) 는 $\delta = 0.05\text{mm}$, $L = 12.75\text{mm}$; $\delta = 0.07\text{mm}$, $L = 11.5\text{mm}$; $\delta = 1.65\text{mm}$, $L = 11.5\text{mm}$ 일경우에 대해 간격 $\lambda/2$ 의 4단 E - 평면 배열 안테나에 대한 방사 패턴이다. 각 폭은 각각 25°, 26°, 27° 이며 이득은 9 dB, 9.5dB, 9.35dB 이다. (표 4)

No	폭 (mm)	길이 (mm)	offset 간격 (mm)	3dB 빔폭	max Gain (dB)	이득률
1	1.0	11.70	0.100	23.5°	0.85	2.45
2	1.5	11.50	0.050	29°	2.85	-
3	1.5	11.45	0.225	46°	4.85	2.55
4	1.5	11.40	0.675	51°	1.35	-
5	1.5	11.425	1.625	51°	6.85	-
6	1.5	11.55	2.300	21°	2.35	2.45
7	1.5	11.50	2.125	24°	1.85	2.55
8	1.0	11.70	0.275	48°	4.85	2.45
9	1.5	10.65	0.375	31°	1.85	-
10	1.5	10.80	0.475	81°	2.85	-
11	1.5	12.50	0.400	56°	3.85	-
12	1.5	12.75	0.175	81°	5.35	-

표 1. 스로트 안테나의 특성 비교

간격 (λ)	3dB 빔폭	max Gain (dB)	Side lobe level (dB)	back lobe level (dB)
0	70°	4.35	-11	-4
0.06	20°	6.85	-2	-1
0.12	31°	5.85	-1	-6.5
0.18	88°	4.85	-15	-7
0.24	81°	5.35	-17	-9.5
0.30	83°	5.35	-12.5	-7.5
0.36	86°	5.35	-11.5	-7.5
0.42	77°	5.85	-13	-8
0.48	20°	7.85	-1	-2.5
0.50	103°	4.35	-4	-4

표 2. 반사판과의 간격에 따른 스로트 안테나의 특성 비교

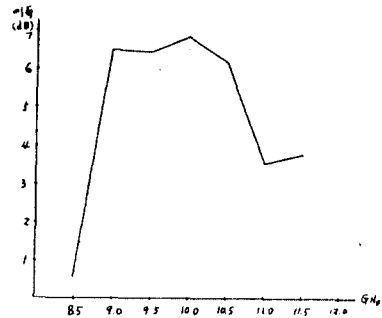


표 3. 주파수 변화에 따른 스로트 안테나의 이득

No.	3dB 빔폭	max Gain (dB)	VSWR	Side lobe level (dB)	비고 (mm)
1	25°	9.0	1.55	-10	$\delta=0.05, L=12.75$
2	26°	8.5	1.7	-9	$\delta=0.07, L=11.5$
3	27°	9.35	1.65	-9.5	$\delta=1.65, L=11.5$
이론치	26°			-11	

표 4. 4단 스로트 배열 안테나의 특성 비교

4. 결 론

본 연구에서는 각종 전자통신장비의 소형 안테나 소자로 사용될 수 있는 스롯트 안테나에 대한 특성을 비교 실험하였다. 임피던스의 리액턴스 성분이 0 이 되는 공진점보다는 offset 인 경우 \int 와 L 을 변화시키고, 중앙 급전인 경우 W 와 L 을 변화시켜 얻은 스롯트가 더 좋은 특성을 나타냈으며, $\lambda/4$ 간격의 반사판을 사용하여 한쪽 방향으로 방사시킴으로써 더 큰 이득을 얻었다. 또한 9 - 10.5 GHz 사이에서는 거의 균일한 이득을 얻었다. 4단 E-평면 스롯트 배열 안테나의 경우 빔폭은 이론치와 거의 유사하게 $26 \pm 1^\circ$ 로 나타났으며, 부 로브 레벨(SLL)은 -9.5 ± 0.5 dB 가 된다. 이득도 단일 스롯트보다 약 3 dB 정도 더 큰, 최대 9.35 dB 를 얻었다.

참 고 문 헌

1. D.R. Rhodes, "On a fundamental principle in the theory of planar antennas," Proc. IEEE , vol.52, pp.1018-1021, Sep. 1964.
2. Y. Yoshimura, "A microstripline slot antenna," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-20, pp.760-762, Nov. 1972.
3. J.S. Rao and B.N. Das, "Impedance characteristics of transverse slots in the ground plane of a stripline," Proc. IEE, vol.125, pp.29-31, Jan. 1978.
4. B.N. Das and K.K. Joshi, "Impedance of a radiating slot in the ground plane of a microstripline," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-30, no.5, pp. 922-926, Sep. 1982.

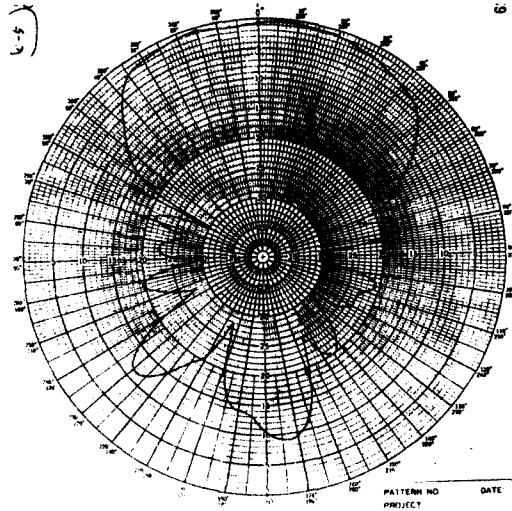


그림 3. 스롯트 안테나의 방사패턴

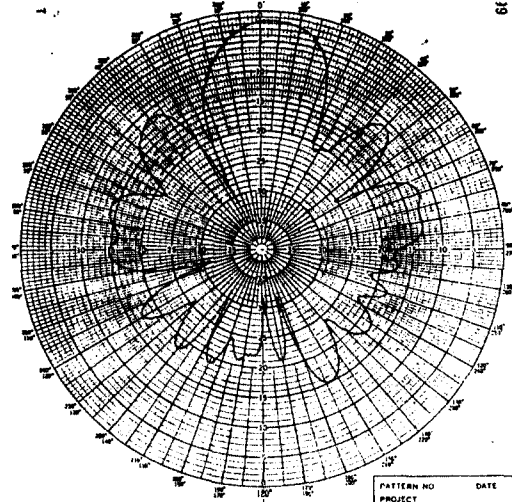
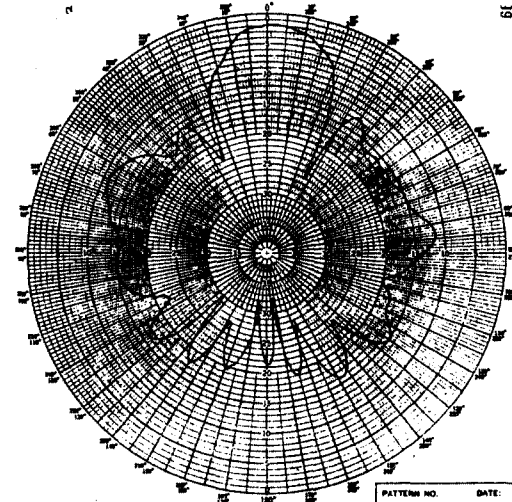


그림 4. 스롯트 배열 안테나의 방사패턴

