

마이크로스트립 슬롯 배열 안테나 설계에 관한 연구

한 석 진(韓碩振), 박 익 모(朴益模), 신 철 재(愼哲宰)
아주대학교 전자공학부
전화 : (0331) 219-2374 / 팩스 : (0331) 212-9531

A Study On The Microstrip Slot Array Antenna Design

Seok-Jin Han, Ikmo Park, Chull-Chai Shin
School of Electronics Engineering, Ajou University
E-mail : joy26@madang.ajou.ac.kr

Abstract

A T-shaped microstripline-fed printed slot array antenna having wide bandwidth, high gain, and narrow beamwidth is presented in this paper. The proposed antenna is analyzed by using the transmission line model method. We fabricated 4×1 microstrip slot array antenna and measured its return loss and radiation pattern. The maximum bandwidth of this array antenna is from 1.43 GHz to 2.60 GHz, which is 58.1% for the VSWR ≤ 2.

I. 서론

최근 국내의 셀룰라, PCS 등 이동 통신과 위성통신 시장의 수요가 급격히 증가함에 따라 빔폭이 좁고, 높은 지향성 이득을 요구하는 안테나가 필요하게 되었다. 단일 소자로 이러한 요구를 충족시키기 어려우며, 소자의 배열을 통해 이를 만족시킬 수 있다[1]. 본 연구에서는 선형이나, 평면 배열로 만들기가 쉬운 뿐만 아니라 초고주파 회로와 집적화하기가 쉬운 마이크로스트립 안테나를 선택하였다. 여러 모양의 마이크로스트립 안테나 중 패치 안테나에 비하여 대역폭이 넓고 낮은 교차편파를 갖으며, 비교적 제작이 용이한 마이크로스트립 슬롯 안테나를 사용하여 배열 안테나를 설계하였다.

마이크로스트립 안테나가 널리 사용되어지면서 이에 따라 마이크로스트립 안테나를 해석하는 연구들이 많

이 행하여지고 있다. 현재 널리 알려진 MoM (Method of Moments)이나 FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 등의 full wave 해석법은 정확한 해석을 할 수 있지만 복잡함과 계산량이 많으므로 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. Munson[2]에 의해 제안이 되어진 전송선로 이론은 다른 해석방법에 비해 계산량이 적고 다소 쉬운 식으로 표현할 수 있는 장점이 있다. 또 마이크로스트립 안테나는 전송선로 이론을 토대로 한 구조로서 비교적 정확한 공진 주파수를 찾을 수가 있어 간단하면서도 정확한 결과를 제공하므로 초기설계에 유용하다.

본 논문에서는 T-모양 마이크로스트립 슬롯 안테나 [3]를 여러 해석 방법 중 전송선로 해석 방법을 이용하여 단일소자 안테나, 2×1, 4×1 배열 안테나를 수치적 모델링을 하였다[4]. 이러한 결과로부터 최대의 대역폭을 갖는 4×1 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나를 제작하였으며 입력 임피던스와 방사패턴을 측정하여 이론치와 비교분석 하였다.

II. 슬롯 배열 안테나의 구조 및 설계

2.1 단일소자

단일 소자로 광대역 특성을 갖는 T-모양 마이크로스트립 슬롯 안테나를 사용하여 중심주파수 1.81 GHz를 갖도록 단일 소자를 최적화 하였다. 그림 1에서와 같이 접지면에 직사각형 모양의 방사소자인 슬롯이 있으며, 밑면에 T-모양 마이크로스트립 급전선이 위치

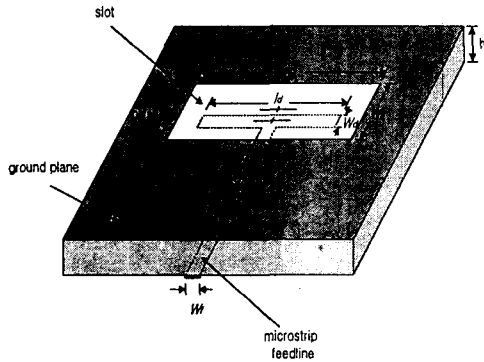


그림 1. T-모양 마이크로스트립 슬롯 안테나 구조.

하게 된다. T-모양 급전선을 통하여 전자기파가 급전되어 슬롯을 여기시켜 방사하게 된다. 설계 변수로서 l_s 는 슬롯의 길이, W_s 는 슬롯의 폭, l_d 는 T-모양 급전선의 가로길이, W_d 는 T-모양 급전선의 폭, W_f 는 급전선의 폭, offset은 슬롯 중심에서 T-모양 급전선 중심 사이의 간격을 나타낸다.

슬롯의 길이는 공진 주파수를 맞추는데 가장 큰 변수로 작용을 한다. 슬롯의 길이가 점차 커질수록 슬롯의 공진 주파수는 점차 낮은 주파수 쪽으로 이동하고 입력 임피던스는 감소하게 된다. 슬롯의 공진 길이와 공진 주파수 사이의 관계는 다음과 같다[4].

$$l_s = l_{eq} - 2\Delta \quad (1)$$

$$l_{eq} = \frac{150}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot f_{GHz}} \quad [mm] \quad (2)$$

그림 2에서는 T-모양 마이크로스트립 단일 슬롯 안테나를 전송선로 모델을 사용하여 등가화 하여 나타냈다. Z_m 과 Z_s 는 각각 마이크로스트립 선로와 슬롯 선로의 특성 임피던스이고, C_o 는 마이크로스트립 선로의 개방 종단에서 발생하는 커패시턴스이다. 본 논문에서는 마이크로스트립 선로와 슬롯 선로 사이의 커플링량을 나타내는 n 값은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$n = (0.37 + \frac{0.27}{W_s}) \times (1 - \frac{offset}{W_s}) \quad (3)$$

그림 2의 R_o 는 T-모양 급전선이 슬롯 중심에서 offset될 때 offset에 따른 방사저항을 나타내며, 식(4)와 같다.

$$R_o = 169(1 - 2.6 \frac{offset}{W_s}) \quad (4)$$

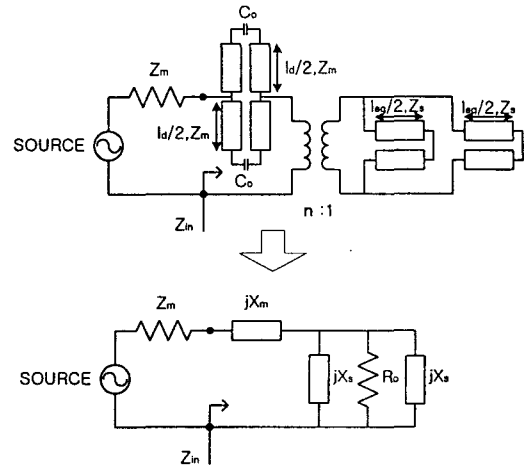


그림 2. T-모양 급전선을 갖는 마이크로스트립 슬롯 안테나 등가모델

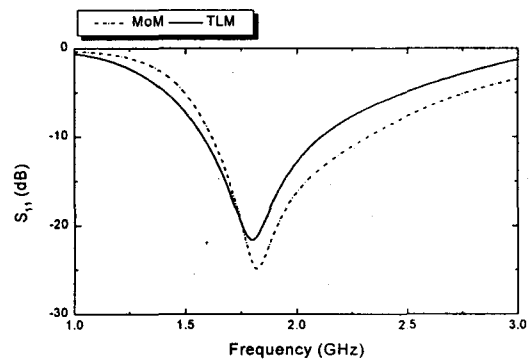


그림 3. 단일 소자 T-모양 급전선을 갖는 마이크로스트립 슬롯 안테나 S_{11} 값.

jX_m 은 $l_d/2$ 의 길이를 갖는 개방 마이크로스트립 급전선로의 입력 임피던스이고, jX_s 는 $l_{eq}/2$ 의 길이를 갖는 단락 슬롯 선로의 입력 임피던스이다. 그림 3에서는 MoM을 사용한 상용 소프트웨어인 Ensemble 시뮬레이션과 전송선로 모델의 S_{11} 값을 비교하였으며 근접한 결과를 나타내고 있다.

2.2 배열 안테나

최적화 된 단일 소자 안테나를 수평으로 2개, 4개까지 배열하였다. 13 dB 이상의 주엽과 부엽의 레벨 차이를 유지하면서 최대의 이득을 얻도록 방사소자간의 거리(d)를 설계했으며, $0.52\lambda_0$ 간격씩 선형으로 배열했다. 급전하는 방식으로는 방사소자에 동일한 크기와 위상으로 급전하는 병렬 방법을 사용하며, 설계 변수를 최적화 하여 광대역 특성, 최대 이득, 왜곡이 없는

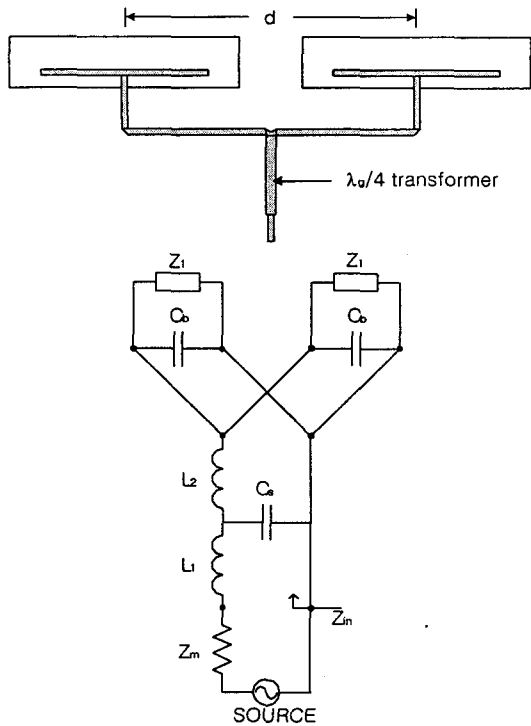


그림 4. 2×1 T-모양 급전선을 갖는 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나 등가모델.

방사패턴을 갖도록 설계를 하였다[5],[6],[7].

그림 4는 2×1 선형 배열 안테나를 전송선로 모델로 등가화 한 것이다. 여기서 Z_1 은 단일 슬롯 안테나의 입력 임피던스를 나타내며, 배열에 의한 상호결합으로 인해 offset에 의한 영향이 단일 소자일 때와는 조금 다르게 나타났다. C_0 는 마이크로스트립 급전선의 90도 구부러진 부분을 등가화 한 커패시턴스이며, L_1 , L_2 , C_0 는 $\lambda/4$ 트랜스포머로 인한 불연속 부분을 등가화 한 인덕턴스와 커패시턴스를 나타낸다.

그림 5는 2×1 배열 안테나의 시뮬레이션과 전송선로 모델의 S_{11} 비교이며, 오차가 조금 있지만 전체 모양은 유사한 것을 볼 수 있다.

III. 실험결과 및 분석

광대역, 고이득, 좁은 빔폭을 갖기 위해 설계변수를 최적화 하여 제작하였다. 유전상수가 4.3이며, 두께가 1 mm인 FR-4 기판을 사용하였으며 중심주파수가 1.81 GHz로 되게 설계를 하였다. 실제 제작하는데 있어 안테나 크기가 제한이 되어지기 때문에 그림 6처럼

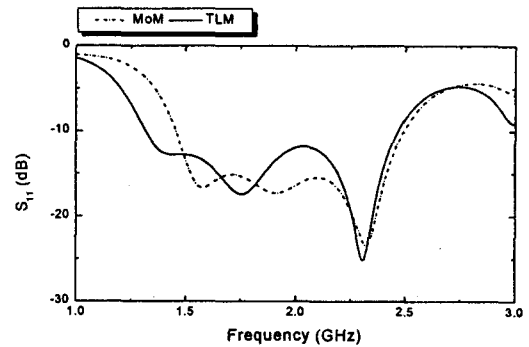


그림 5. 2×1 T-모양 급전선을 갖는 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나 S_{11} 값.

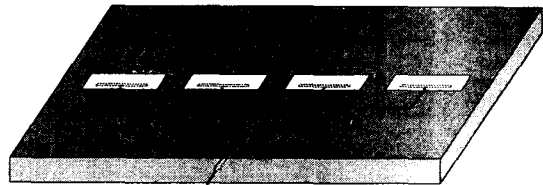


그림 6. 4×1 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나

4×1까지 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나를 제작하였다. 접지면의 크기는 가로 400 mm, 세로 190 mm이다. 그림 7에서는 제작한 4×1 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나의 반사손실 측정치와 전송선로 모델과 비교하였다. 배열에 의해 만들어지는 방사소자간의 상호결합과 표면파 등의 손실 때문에 오차가 조금 있으나 전체 결과는 유사한 것을 알 수 있다. 그림 8은 4×1 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나의 방사패턴을 측정한 결과이다. E-평면과 H-평면에 각각 동일편파와 교차편파를 나타낸 것으로 H-평면에서 주빔의 3 dB 빔폭은 약 26도를 갖으며 이론치와 근사한 값을 가졌다.

표 1에 단일, 2×1, 4×1 안테나의 최적화 되었을 때의 각각의 설계변수와 이론치의 대역폭을 나타내고 있다. 소자의 수가 많을수록 대역폭이 좀 더 넓어지는 것을 알 수 있다. 실제 제작한 4×1 배열 안테나의 사용주파수 대역폭은 1.17 GHz로 중심주파수에서 58.1%의 넓은 대역폭을 가졌다.

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 슬롯 안테나를 1.81 GHz에서 약 반 파장 간격씩 선형으로 배열하여 안테나를 설계하였으며, 계산량이 적고 다소 쉬운 식으로

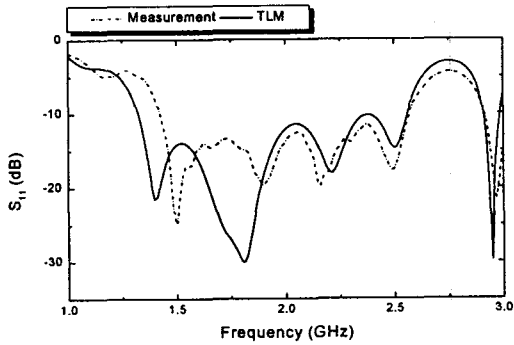
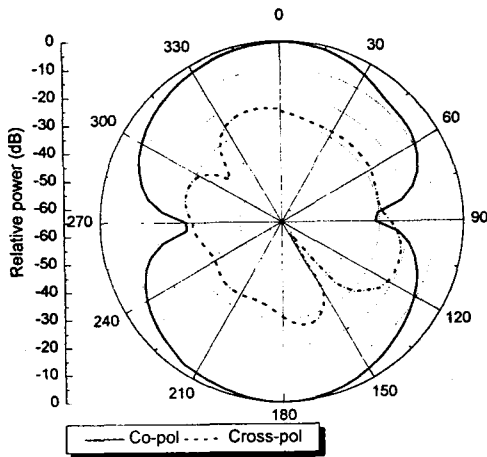
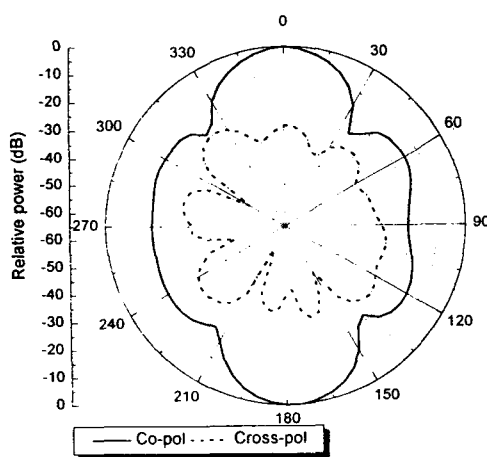


그림 7. 4×1 T-모양 급전선을 갖는 마이크로스트립 슬롯 배열 안테나 S₁₁ 값.



(a)



(b)

그림 8. 방사패턴 측정; (a) E-평면, (b) H-평면.

표 1. 배열에 따른 최적의 설계변수와 대역폭

	single	2 array	4 array
l_s (mm)	63	63	63
W_s (mm)	16	16	16
offset(mm)	4.0	2.4	2.4
l_d (mm)	44.5	44.5	44.5
W_d (mm)	2	2	2
BW(%)	35.5	59.2	62.8
HPBW(도)	82	46	24

표현할 수 있는 전송선로 해석방법을 이용하여 수치적 모델링을 하였다. 4×1 배열 안테나의 실제 제작을 통해 비교분석 하였으며, 그 때의 대역폭이 VSWR ≤ 2 를 기준으로 하여 58.1%였다.

본 안테나는 빔폭이 좁고 높은 지향성 이득을 요구 하는 곳에 사용되어 질 수 있으며, 스마트 안테나같은 차세대 기지국용 안테나로도 사용되어질 수 있다. 그 외에 가볍고, 평면 구조로 대량생산에 용이하며, 이동통신용 및 위성용 송수신 안테나 그리고 그 밖의 통신 시스템에 유용하리라 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. J. Mailloux, J. F. McIlvanna, and N. P. Kernweis, "Microstrip array technology," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, pp. 25-37, Jan. 1981.
- [2] R. E. Munson, "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-22, pp. 74-78, Jan. 1974.
- [3] 장용웅, 윤종철, 박익모, 신철재, "광대역성을 위한 장방형 스테리브를 갖는 T-모양 급전선 마이크로스트립 슬롯 안테나의 해석," 전자공학회 논문지 제 35 권 D편 제 9호, pp. 833-839, 1998년 9월.
- [4] A. Axelrod, M. Kisliuk and J. Maoz, "Broadband microstrip-fed slot radiator," *Microwave J.*, pp. 81-94, June 1989.
- [5] E. Levine, G. Malamud, and S. Shtrikman, "A study of microstrip array antennas with the feed network," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-37, no. 4, pp. 426-434, April 1989.
- [6] D. M. Pozar and B. Kaufman, "Design consideration for low sidelobe microstrip arrays," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-38, no. 8, pp. 1176-1185, Aug. 1990.
- [7] C. J. Ong, R. L. Ooi, M. s. Leong, and T. S. Yeo, "Analysis and design of microstrip-fed slot antenna arrays by an improved transmission line model," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 19, no. 4, Nov. 1998.