

유니플래너 급전구조를 갖는 테이퍼드 슬롯 안테나의 설계

김혜리* · 박노준** · 강영진**

Design of a Tapered Slot Array Antenna with Uniplanar Feed

Hye Ri Kim* · Noh Joon Park** · Young Jin Kang**

요 약

본 논문에서는 유니플래너 급전구조를 갖는 V형 선형 테이퍼드 슬롯 안테나를 설계하였다. 설계에 사용한 유전체 기판은 두께가 0.762mm이고 비유전율이 3.0인 PTFE 기판이며 손실 탄젠트는 0.001이다. 또한 중심 주파수는 5.8GHz로 설계하였으며 급전선로의 실현은 Hammerstad에 의한 식을 사용 하였다.

V-LTSA의 S11과 VSWR의 시뮬레이션 결과를 얻었으며 -10dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 4.3GHz이었고 VSWR은 약 1.8 Octave의 광대역 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, a design of V-type Linearly Tapered Slot Antenna(V-LTSA) with uniplanar microstrip-to-coplanar stripline(CPS) transitions is presented. The effect of reducing and increasing with taper width G, taper length L and opening angle are also considered at 5.8 GHz.

In the result of a simulation by using CST-MWS, the return loss characteristic came very wide band about 4.3GHz, or 1.8 Octave. Proposed V-LTSA design schemes are expected to be a good antenna for microwave and millimeter-wave communications.

키워드

Tapered slot, Broadband antenna, CPS transition, Multi-octave

I. 서 론

최근 마이크로파와 밀리미터파 시스템에서 평판 안테나의 사용에 대해 관심이 증가하고 있다. 현재 사용되고 있는 평판 안테나의 다양한 종류는 크게 broadside 복사소자와 end-fire 복사소자로 분류 할 수 있는데 평판 다이폴, 슬롯 그리고 마이크로스트립 패치와 같은 공진소자들은 모두 broadside 방향으로 복사한다.

Gibson에 의해 vivaldi anatenna로 소개된 TSA는 마이

크로파와 밀리미터파 시스템 둘 다에서 쓰일 수 있고 이것은 microstrip-to-slot line 급전을 이용하여 마이크로파 회로와 쉽게 집적화 될 수 있으며 이러한 선형 테이퍼드 슬롯 안테나(Linearly Tapered Slot Antenna: LTSA)는 다른 인쇄 회로 안테나에 비해서 높은 이득, 넓은 대역폭 그리고 단순한 구조의 장점을 갖는다[1-3].

따라서 본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 유니플래너(uniplanar) 급전 구조를 사용하여 시스템을 조밀하게 제작할 수 있고 패키징과 MMIC 응용 및 위상배열 안테나의

* 목포과학대학 보건의료기과

** 원광대학교 공과대학 전기전자 및 정보공학부

급전부에 있어서 많은 장점을 갖는 microstrip-to-coplanar strip (CPS) 급전구조의 V-LTSA에 대하여 연구하였다[4].

II. LTSA의 복사원리

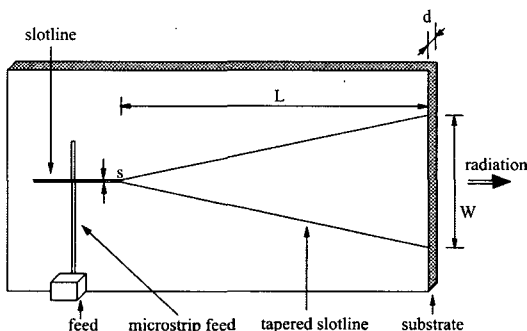


그림 1. 마이크로스트립 라인으로 급전되는 TSA
Fig. 1. TSA with a microstrip line feed

유전체 기판 받침을 포함하거나 포함하지 않을 수도 있는 평면 LTSA는 사진 식각 기술을 사용하여 제작될 수 있고 복사 슬롯과 접지판이 모두 기판의 같은 면 상에 존재하며 안테나는 슬롯라인(slotline)으로 급전되는 특징을 갖는다.

마이크로스트립으로 급전되는 기본적인 LTSA의 구조는 그림 1과 같다. 안테나는 급전점으로부터 일반적으로 $\lambda/2$ 보다 큰 폭의 테이퍼 끝단까지 슬롯 라인의 폭이 점차적으로 증가함으로써 형성된다[4].

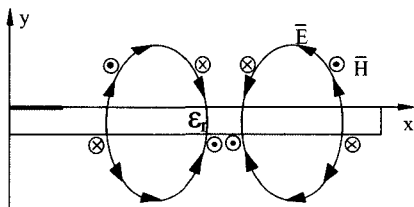


그림 2. LTSA의 전자기 분포
Fig. 2. Field distribution of LTSA

LTSA에 의한 전자기 에너지의 전송은 마이크로스트립 라인에서 슬롯으로 유기된 관내파(guided wave)가 평면파로 변환되어 자유공간으로 전파되는데 있다.

TSA에 관한 거의 모든 이전의 연구들이 복사 특성에

초점이 맞추어졌기 때문에 안테나의 임피던스 특성은 오늘날까지 잘 이해되지 않고 있다[4]. 이전의 연구에서는 유전체가 없는 fm 안테나의 측정치 입력 임피던스가 LTSA의 입력 임피던스로 사용 되어진 바 있다[1].

$$\begin{aligned}
 Z_0 = & 60 + 3.69 \sin \left[\frac{(\epsilon_r - 2.22)\pi}{2.36} \right] \\
 & + 133.5 \ln(10\epsilon_r) \sqrt{W/\lambda_0} \\
 & + 2.81 (W/d) \ln(100d/\lambda_0) \\
 & \cdot [1 - 0.011\epsilon_r (4.48 + \ln\epsilon_r)] \\
 & + 131.1 (1.028 - \ln\epsilon_r) \sqrt{\frac{d}{\lambda_0}} \\
 & + 12.48 (1 + 0.18 \ln\epsilon_r) \\
 & \cdot \frac{W/d}{\sqrt{\epsilon_r - 2.06 + 0.85 (W/d)^2}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

또한 슬롯 임피던스를 최소화하기 위해서는 슬롯 폭을 가능한 좁게 만들어야 하는데 50 μ m 슬롯은 물리적으로 구현하기 매우 어려운 문제가 있다. 따라서 제작환경이 허용하는 최소한의 슬롯 폭을 먼저 정한 후 Janaswamy의 실험식을 통하여 슬롯의 임피던스를 구하게 된다[9].

식 (1)은 비유전율이 2.22~3.8인 경우 W/λ_0 의 값이 0.0015~0.075 한도내에서 유효한 설계식이며 그림 3은 비유전율이 3.0이고 유전체의 두께가 0.762mm인 PTFE 기판을 5.8GHz 대역에서 사용할 경우의 슬롯 폭에 대한 슬롯 임피던스이다.

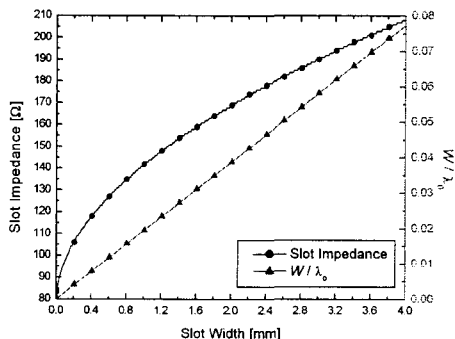


그림 3. 슬롯 폭에 대한 슬롯 임피던스
Fig. 3. Slot impedance versus slot width

III. V-LTSA의 설계

그동안 소개되어온 급전방식은 전기적 결합의 형태에 따라 전자기적 결합방식과 직접 결합방식으로 나눌 수 있는데 microstrip-to-slotline [5], fin line-to-slotline[6], coplanar waveguide (CPW)-to-slotline[7] 그리고 microstrip-to-anti podal slotline[8] 등이 이들에 속하며 antipodal 기하구조를 제외하면 모든 TSA가 슬롯 라인으로 급전된다.

최근에 소개된 microstrip-to-coplanar 급전방식은[4] 위의 두가지 범주에 속하지 않는 새로운 방법이며 결합의 대상이 되는 슬롯을 CPS로 변환하였고 따라서 직접결합 방식에서 흔히 볼 수 있는 본딩 와이어가 필요 없다.

이와같은 급전구조가 제안된 실제적인 배경으로는 100Ω 보다 작은 임피던스를 갖는 슬롯 라인이 단지 수천분의 1인치의 슬롯 폭을 갖기 때문에 기존의 에칭기법으로는 정확하게 제작할 수 없다는 것을 생각해 볼 수 있다.

TSA의 성능은 안테나 기판의 두께와 유전상수에 민감하다. 기판의 전기적 두께를 나타내는 유효 유전체 두께는 다음식으로 정의된다.

$$t_{eff} = t(\sqrt{\epsilon_r} - 1) \tag{2}$$

유전체의 유효두께가 너무 크게 되면 불필요한 substrate mode가 발생하게되고 또 너무 작게 되면 지향성이 떨어지는 효과가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 Yngvesson[3]이 실험적으로 제시한 아래식의 범위를 넘지 않도록 하였다.

$$0.005 \lambda_0 \leq t_{eff} \leq 0.03 \lambda_0 \tag{3}$$

비유전율이 3.0이고 기판 두께가 0.762mm인 경우 주파수에 대한 유효유전체 두께의 범위는 그림 4와 같으며 진행파 특성을 만족하고 있음을 알 수 있다.

기존에 사용되었던 대칭형 단일 평면 micro strip-to-coplanar 스트립라인 급전의 구조에서는 특성 임피던스 $Z_0 = 50\Omega$ 이고 폭이 W 인 마이크로스트립 라인은 폭이 $W1$ 인 $\lambda/4$ 임피던스 매칭 트랜스포머를 통하여 특성임피던스가 70Ω 이고 폭이 $W2$ 인 2개의 직교 마이크로스트립 라인에 결합된다. 이상적인 고리모양 루프의 평균 경로 길이는 $0.5\lambda g$ 이고 여기서 λg 는 설계주파수 f_0 에서 $Z_0 =$

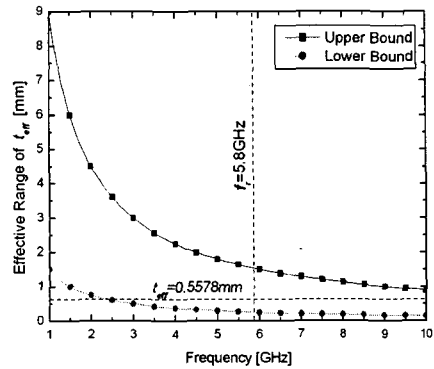


그림 4. 유효유전체 두께의 허용범위
Fig. 4. Limited range of effective dielectric thickness

70Ω의 마이크로스트립 라인 내에서의 관내과장이다. 그러나 실제적인 급전구조에서는 오른쪽으로 굽혀진 기생 소자가 보정되어야만 한다.

이 문제에 대한 해법으로서 그림 5와 같이 마이크로스트립 라인의 평균 경로길이를 $0.683\lambda g$ 로 늘려 커플드 마이크로스트립 라인에 대한 입력위치 a와 b에서의 신호 위상이 180° 차가 나도록 하는 방법을 생각해 볼 수 있다[4]. 커플드 마이크로스트립 라인에서는 갭 S1을 가로지르는 전계를 갖는 odd mode가 도미넌트 모드로서 여기된다.

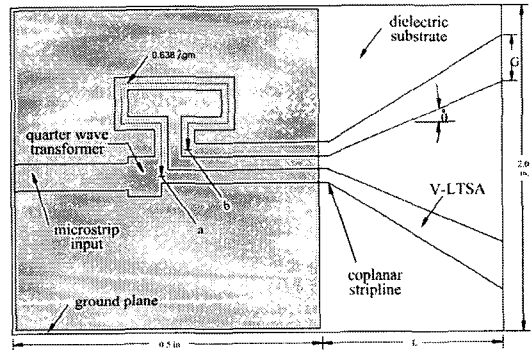


그림 5. 유니플래너 급전구조를 갖는 V-LTSA
Fig. 5. V-LTSA with a uniplanar feeding structure

그러나 이 방법은 평균경로길이에 대한 경험적 결과가 필요하고 정확한 180° 위상차를 얻는데 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 6과 같은 대칭구조를 고려하였다 [10].

여기에서 $L3 - L3 = \lambda g/4$ 이므로 CPS 급전점에서는 위상차가 정확히 180° 가 되고 bending 부분에서의 기생소자

도 상쇄된다. 갭 치수 S_1 은 커플드 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스 Z_0 가 50Ω 이 되도록 선택하였다.

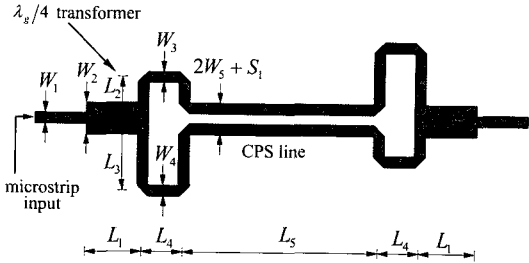


그림 6. 정확한 180° 위상차를 갖는 대칭구조
Fig. 6. Symmetrical structure with phase difference of 180° degree

V-LTSA는 유한한 너비의 접지면을 갖는 구조인데 이것은 접지면을 이루는 도체 사이의 surface wave와 parallel plate mode를 억제함으로써 안테나의 성능을 높이는 장점이 된다.

그림 7은 유니플래너 구조의 microstrip-to-coplanar 스트립라인 급전을 갖는 V-LTSA이다. 길이 L_6 과 폭 W_6 은 각각 임의로 $1.7\lambda_0$ 와 $0.32\lambda_0$ 로 선택하였고 그 값을 변화에 따른 안테나 특성을 관찰하였다.

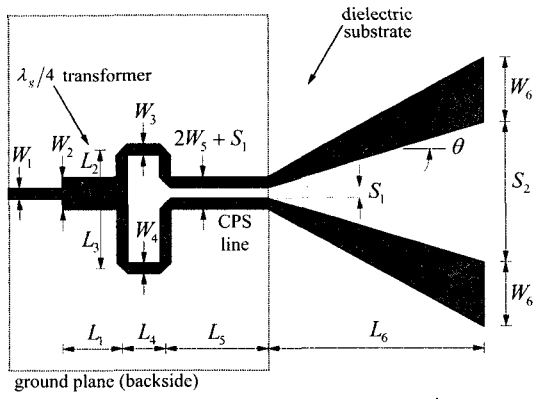


그림 7. 제안된 V-LTSA 구조
Fig. 7. Geometry of the proposed V-LTSA

Yngvesson에 의하면 LTSA의 개구각이 11.2° 일때 E-면과 H-면 빔폭이 거의 같아지는데[3] 이것은 두께가 1.270 mm이고 비유전율이 2.22인 duroid 기판상에 제작된 LTSA에서 얻은 결과이며, 본 논문에서는 개구각 θ 는 임의로 12.5° 를 선택한 후 변화시켜 보았다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

설계에 사용한 유전체 기판은 두께가 0.762mm 이고 비유전율이 3.0인 PTFE 기판이며 손실 탄젠트는 0.001이다. 또한 중심 주파수는 5.8GHz로 설계하였으며 급전선로의 실현은 Hammer stad에 의한 식을 사용 하였다[9].

설계된 안테나의 치수는 표 1과 같고 시뮬레이션 결과는 그림 8, 9, 10에 보였다.

표 1. V-LTSA 설계치수
Table 1. Design parameters for V-LTSA

Z_0	$W[\text{mm}]$	$\lambda_g[\text{mm}]$	$\Delta l[\text{mm}]$
50.0000	0.7544	19.6401	0.1192
100.0000	0.2165	19.6401	0.0957
108.9951	0.1771	19.6401	0.0912
70.7107	0.4305	19.6401	0.1101
104.4007	0.1962	19.6401	0.0935
73.8225	0.3985	19.6401	0.1086

그림 8과 9는 각각 V-LTSA의 S_{11} 과 VSWR 계산 결과이며 -10dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 4.3GHz이었고 VSWR은 약 1.8Octave의 광대역 특성을 나타내었다.

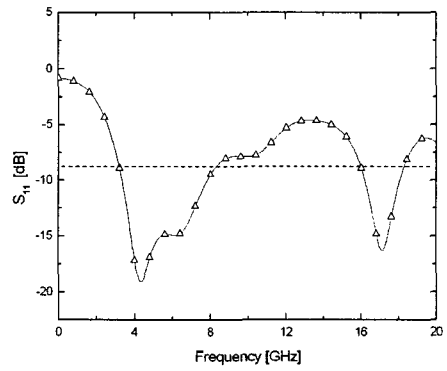


그림 8. 반사손실 특성
Fig. 8. Characteristic of return loss

그림 10은 공진주파수 10 GHz에서 azimuth 방향 복사 패턴이다. aperture angle $\theta = 23.5^\circ$ 로 두고 $L:W = 2:1$ 보다

작아지는 경우에는 HPBW는 약 65° 이상으로 증가하여 지향성이 많이 떨어지는 결과를 나타내었다.

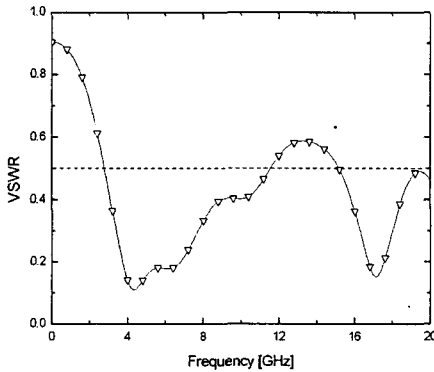


그림 9. VSWR 특성
Fig. 9. Characteristic of VSWR

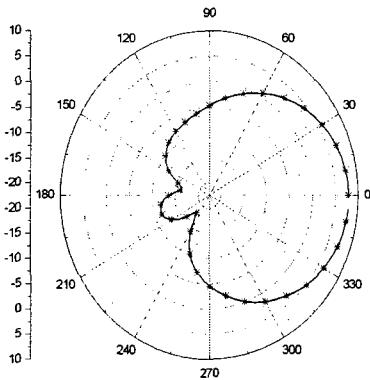


그림 10. 5.8GHz 복사패턴 특성
Fig. 10. Radiation pattern at 5.8GHz

V. 결 론

본 연구에서는 V-LTSA를 설계하고 공진주파수와 복사특성을 검토하였다. 안테나의 해석은 CST-MWS를 사용하였고 피드 네트워크 구조로는 단일평면 microstrip-to-coplanar 스트립라인을 이용 하여 급전선로에서 발생하는 대역폭 손실을 최소화하고 안테나의 기하학적 구조가 갖는 멀티옥타브 특성이 극대화 될 수 있음을 검증하였다.

이러한 형태의 V-LTSA는 BWLL, LMDS 등을 포함하는 마이크로파 및 밀리미터파 주파수 대역에서 격자구조를 갖는 위상 배열 시스템에 우수한 적용성을 갖을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] R. Janaswamy and D. H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna", *IEEE AP-35*, No.9, 1987, pp.1058~1065
- [2] P. J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," *9th European Microwave Conference*, Brighton, UK, September 1979, pp.101~105
- [3] R. N. Simons, N. I. Dib, R. Q. Lee, and L. P. B. Katehi, "Integrated Uniplanar Transition for Linearly Tapered Slot Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.43, No.9, pp. 998~1002, 1995
- [4] R. N. Simons, R. Q. Lee, and T. D. Perl, "New Techniques for Exciting Linearly Tapered Slot Antenna with Coplanar Waveguide," *Electron. Lett.*, Vol. 28, No.7, pp.620~621, 1992
- [5] R. N. Simons, R. Q. Lee, and T. D. Perl, "Non-planar Linearly Tapered Slot Antenna with Balanced Microstrip Feed," *IEEE AP-S International Symposium*, Vol.4, Chicago, IL, pp.2109~2112, 1992
- [6] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, *Microstrip Lines and Slotlines*, Artech House, 1996
- [7] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda and T. Itoh, "A microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics," *Electronics Lett.*, vol.34, no.23, pp.2194~2196, Nov. 1998.
- [8] 김혜리, 박노준, 강영진, "선형 테이퍼드 슬롯 안테나의 설계 및 실험," 1998년도 한국통신학회 하계종합 학술대회 논문집 Vol. 17, No.2, pp.711~713, 1998
- [9] 김혜리, 김남현, 박노준, 강영진, "Microstrip-to-Coplanar Strip Line 급전구조를 갖는 V-LTSA의 설계 및 실험," 1998년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집 제21권 제2호, pp.395~398, 1998
- [10] 박노준, 김남현, 김혜리, 강영진, "V형 테이퍼드 슬롯 배열 안테나의 설계," 2002년도 한국 통신학회 하계

학술발표회 논문집, Vol.25, 17D- 38, 2002

- [11] 박노준, 이중기, 정찬권, 김남현, 강영진, “테이퍼드 슬롯 배열 안테나의 설계 및 제작,” 2003년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제26권 제1호, pp.266 ~ 269, 2003

저자소개

김혜리(Hye Ri Kim)



1975년 2월 광운대학교 무선통신과 졸업
1980년 8월 연세대학교 산업대학원 전자공학 석사

2006년 2월 현재 원광대학교 전자공학과 박사과정
1980년 8월 ~ 현재 목포과학대학 보건의료기기과 교수
※ 관심분야: RF 수동소자 및 안테나 설계



박노준(Noh Joon Park)

1993년 2월 원광대학교 전자공학과 졸업
1995년 2월 원광대학교 전자공학과 공학석사

2004년 8월 원광대학교 전자공학과 공학박사
1995년 8월 ~ 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 시간강사/강의교수
※ 관심분야: RF 수동소자 및 안테나 설계, 전파 측정 및 채널 모델링

강영진(Young Jin Kang)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제8권 2호 참조