
인쇄회로형 폴디드 슬롯 안테나 설계 · 제작

송면규*, 한중호*, 이종녕*, 양규식*

Design and Fabrication of the Printed Type Folded Slot Antenna

Myun-Kyu Song*, Jung-Ho Han*, Joung-Nyung Lee*, Gyu-Sik Yang*

요 약

일반적인 인쇄회로형 안테나는 사용가능 주파수 대역폭이 협소하여 여러 가지 복잡한 과정을 거쳐 대역폭 확장을 위한 대책을 강구하고 있으나, 기존의 실린더형 폴디드 다이폴 안테나의 특성이 단일 다이폴 보다 우수함을 이용하여 이를 인쇄회로형 폴디드 안테나로 개량함으로써 기존의 일반적인 인쇄회로형 보다 넓은 대역폭을 간단한 구조에서 실현할 수 있었다.

급전선로로서는 최근 관심의 대상이 되고 있는 코플레나 도파관(CPW)의 장점을 활용하기 위하여 CPW 선로를 이용하여 급전하도록 하였으나, 인쇄회로형 폴디드 다이폴 안테나의 경우 CPW 선로를 이용할 경우 급전이 복잡하게 때문에, 폴디드 다이폴을 폴디드 슬롯 형태로 바꾸어 설계를 하고, 바비넷 원리를 이용하여 설계 데이터를 간단히 대처할 수 있는 방법을 활용하였다.

설계하고 제작된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나의 특성을 측정한 결과 주파수 대역폭은 약 20% 정도로 기존의 일반적인 형태의 인쇄회로형 안테나보다 현저히 개선됨을 확인할 수 있었다.

Abstract

In general, printed antennas have a narrow bandwidth characteristic and many people want to find out the method of bandwidth improvement through complicated procedures.

So we want to reform the conventional printed antenna characteristic by using the folded dipole's superiority to unit dipole. But it is hard to feed the printed folded dipole antenna, we use the CPW, which is widely used in microwave IC or MMIC applications and have many advantages to the conventional microstrip line, to feed the printed folded slot antenna.

It is confirmed that the improvement in the bandwidth characteristic of CPW fed folded slot antenna, as much as 20%, through the measurement of designed and implemented antenna

* 한국해양대학교 전자통신공학과

접수일자 : 1999년 5월 17일

I. 서론

인쇄회로형 안테나는 종래의 입체형 안테나에 비해 가볍고, 크기가 작으며, 제작이 간편하여 제작 비용도 저렴할 뿐만 아니라, 부착면의 형상에 따라 융통성 있게 안테나를 설치할 수 있다는 등 여러가지 장점을 갖고 있다.^{[1], [2]}

일반적으로 널리 사용되고 있는 마이크로스트립 패치 안테나나 마이크로스트립 다이폴 안테나 등은 이러한 장점 외에도 사용가능한 주파수 대역이 좁고 이득이 낮다는 단점도 있으나, 이러한 단점 보다는 장점이 요구되는 분야, 즉 미사일이나 인공위성 등과 같은 고속 이동체에서의 안테나로서 효용 가치를 높게 인정 받아 많은 연구가 행해져 왔다.^[3]

최근에는 TV 수신용 안테나 혹은 휴대용 무선장치에도 널리 활용되고 있다.

한편 인쇄회로형 마이크로 회로의 급전선으로는 마이크로스트립 선로가 가장 널리 사용되어 왔으나, 최근 들어 마이크로 집적회로의 발전과 더불어 코플레나 도파관(이하 CPW라고 함)을 이용한 사례가 많이 발표되고 있다.

CPW 선로는 능동소자나 수동소자의 접속이나 접지가 편리하며, 낮은 방사손실 및 사용기판의 두께와 무관하게 스트립 도체의 폭과 슬롯의 비에 따라 폭넓은 임피던스의 변화를 실현 할 수 있다는 점 등 여러가지 장점이 있다.

본 연구에서는 기존의 실린더형 폴디드 다이폴이 개별 다이폴 소자 보다는 훨씬 특성이 우수함을 인쇄회로형으로 실현하여 기존의 마이크로스트립 패치나 다이폴 안테나의 단점인 협대역 특성을 개선하고자 하였다.

CPW 선로의 장점과 폴디드형 안테나의 장점을 활용하기 위하여 인쇄회로형 폴디드 다이폴 안테나를 실현할 경우 급전구조가 복잡해지기 때문에, CPW로 급전되는 폴디드 슬롯 안테나를 설계하고 제작하였으며, 그 특성 측정을 통하여 기존의 마이크로스트립 패치형이나 다이폴형 안테나의 경우 수%에 지나지 않은 주파수 대역특성을^[1] 약 20% 정도까지 향상시킬 수 있었다.

II. 폴디드 슬롯 안테나 설계

본 연구에서는 CPW 선로의 장점을 활용하고, 폴디드형 안테나의 장점을 활용하기 위하여 CPW에 의해 급전되는 폴디드 슬롯 안테나를 대상으로 하였다

폴디드 슬롯 안테나는 바비넷 원리에 입각하여 폴디드 다이폴 안테나에 대하여 완전 대응 구조이므로, 그 해석에는 기존의 폴디드 다이폴 안테나에 대한 많은 해석자료를 그대로 활용할 수 있기 때문에 우선 인쇄회로형 폴디드 다이폴 안테나를 살펴보기로 한다.

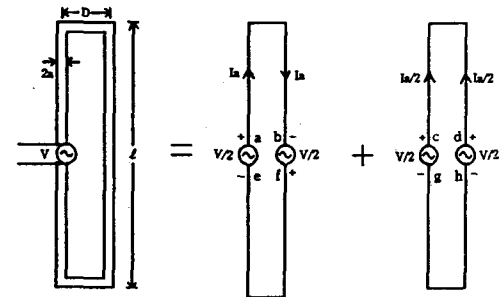


(a) Folded Dipole (b) Folded Slot

그림 1. 폴디드 다이폴과 폴디드 슬롯 안테나

CPW에 의해 급전되는 폴디드 슬롯 안테나는 바비넷 원리에 따라 코플레나 스트립(이하 CPS라고 함)에 의해 급전되는 폴디드 다이폴과 완전 대응 관계가 성립하므로, 우선 폴디드 다이폴 안테나를 설계하고 그 설계 데이터로부터 Booker의 정리를 이용하여 폴디드 슬롯 안테나에 적용하기로 한다.

즉 인쇄회로형 폴디드 슬롯 안테나와 대응관계에 있는 인쇄회로형 폴디드 다이폴 안테나를 살펴보면 그림 2와 같이 전송선로 모드와 안테나 모드로 분해하여 해석할 수 있음을 알 수 있다.^[4]



(a) 폴디드 다이폴 안테나 (b) 전송선로 모드 (c) 안테나 모드

그림 2. 폴디드 다이폴 안테나의 등가해석

다만 제작의 편이를 위하여 폴디드 슬롯 안테나의 구조는 슬롯의 폭을 0.4 mm, 슬롯 간의 간격을 0.8 mm로 고정하는 것으로 하였다.

전송선로 모드에서 CPS 선로의 특성 임피던스를 Z_0 라고 할 때, 급전점에서 단락된 끝점을 바라본 입력 임피던스는 $Z_i = j Z_0 \tan(kl/2)$ 가 되며, 안테나 모드에서 반경 a 의 선형 다이폴의 임피던스를 Z_d 라고 하면 급전부에서의 입력 임피던스 Z_{fd} 는 다음 식과 같이 표현 된다.^[5]

$$Z_{fd} = \frac{2Z_i * 4Z_d}{2Z_i + 4Z_d} \dots\dots\dots (1)$$

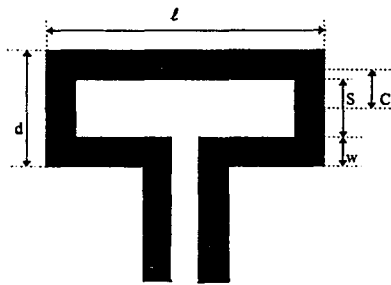


그림 3. 폴디드 다이폴 안테나의 제원

CPS 선로의 특성 임피던스 Z_0 및 반경 a 의 선형 다이폴의 유효유전율 $\epsilon_{r,eff}$ 와 임피던스 Z_{fd} 를 구하는 식은 다음과 같다.^{[5], [6]}

$$\epsilon_{r,eff} = 1 + \frac{(\epsilon_r - 1) \cdot K(k_1) \cdot K(k)}{2 \cdot K(k_1) \cdot K(k')} \dots\dots\dots (2)$$

단 $k = s/(s+2w)$

$$k' = \sqrt{1 - k^2}$$

$$k_1 = \frac{\tanh\{\pi s/(4h)\}}{\tanh\{\pi d/(4h)\}}$$

위의 식에서 $K(k)$ 는 1차 완전 타원적분 값이며, $K(k')/K(k)$ 는 스트립형 전송선로 해석에 자주 이용되는 값으로서 k 값의 범위에 따라 Hilberg에 의해 다음과 같은 근사식으로 구해진다.

$$\begin{aligned} K(k')/K(k) &= 4/\pi \ln(2/\sqrt{k}) \quad 0 \leq k \leq 0.173 \\ &= \frac{\pi}{\ln(2) + 2 \tanh^{-1}(\sqrt{k})} \quad \dots\dots\dots (3) \\ &\quad 0.173 \leq k \leq 1 \end{aligned}$$

$$Z_0 = \eta_0 \cdot K(k) / \{\sqrt{\epsilon_{r,eff}} \cdot K(k')\} \dots\dots\dots (4)$$

한편 폴디드 다이폴 안테나의 임피던스는 다음과 같은 식에 의하여 구할 수 있다.^[5]

$$Z_{fd} = R_{in} + X_{in} \dots\dots\dots (5)$$

$$R_{in} = \frac{R_r}{\sin^2(kl/2)} \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} R_r &= \frac{\eta}{2\pi} \{C + \ln(kl) - C_i(kl) + \frac{1}{2} \sin(kl) \\ &\quad * [S_i(2kl) - 2S_i(kl)] + \frac{1}{2} \cos(kl) \\ &\quad * [C + \ln(kl) - C_i(2kl) + 2C_i(kl)]\} \quad \dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$X_{in} = \frac{X_m}{\sin^2(kl/2)} \dots\dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{\eta}{4\pi} \{2S_i(kl) + \cos(kl) [2S_i(kl) + S_i(2kl)] \\ &\quad - \sin(kl) [2C_i(kl) - C_i(2kl) - C_i(2ka^2/l)]\} \quad \dots (9) \end{aligned}$$

이렇게 폴디드 다이폴 입력 임피던스가 계산되면 폴디드 슬롯의 임피던스 Z_{fs} 는 Booker의 관계에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.^[5]

$$Z_{fs} = \frac{\eta_c^2}{4Z_{fd}} \dots\dots\dots (10)$$

여기서 η_c 는 자유공간 임피던스의 유효유전율 $\epsilon_{r,eff}$ 인 경우의 변형이다.

안테나의 공진 길이는 다음과 같은 실험식에 의해 구할 수 있다.^[7]

$$l_r = \frac{0.48 \lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}} (1 + W/L)} \dots\dots\dots (11)$$

여기서 W 와 L 은 안테나의 폭과 길이이다.

제기된 안테나의 제원과 사용할 유전체 기판을 ($\epsilon_r = 2.1$, 기판 두께 $h = 1.575$ mm, $\tan\delta = 0.001$) 기준으로 계산된 CPS 선로의 유효 비유전율 $\epsilon_{r,eff}$ 는 1.5064, 특성임피던스 Z_0 는 240.2 Ω 이었다.

따라서 실험식에 의해 구해진 공진길이 l_r 11.04 mm에 따라 계산된 폴디드 다이폴의 임피던스 Z_{fd} 는 $49.42 + j 0.077$ 이고, 이로부터 유도된 폴디드 슬롯 안테나의 입력임피던스 Z_{fs} 는 $119.32 - j 4.70$ 이었다.

급전선로 부분은 CPW 구조를 택하여, 안테나의 급전점에서의 입력임피던스 119 Ω 를 만족하고, 신호원에서의 임피던스 50 Ω 을 만족하도록 하였다.

이를 위해서 안테나와 신호원 사이에 77.1 Ω 선로로 이루어진 1/4 변환기 부분을 두도록 설계하였다. CPW 선로의 설계식은 참고문헌¹⁶⁾의 식을 이용하였으며, 계산된 제원은 다음 표와 같고, CPW 급전부를 포함하여 설계된 전체의 안테나 도면은 그림4와 같다.

표 1. CPW 선로부분의 설계 데이터

저항값	도체폭	슬롯폭	ϵ_{eff}	λ_g
119	0.35	0.49	1.48	24.67
77.1	0.69	0.26	1.51	24.37
50	1.60	0.16	1.51	24.38

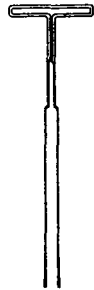


그림 4. 설계된 안테나 도면

III. 제작 및 특성 측정

제작의 정확성을 기하기 위하여 설계된 제원에 따라 10배 확대된 상태에서 도면을 그리고, 이를 다시 1/10 으로 축소 촬영하여 음화를 만든 뒤 준비된 마이크로파용 유전체 기판에 포토 에칭 기법을 사용하여 안테나를 제작하였다.

제작된 안테나의 반사손실을 벡터 회로망 분석기로 반사손실을 측정하여 공진특성을 확인할 수 있었다.

설계 중심 주파수는 10 GHz 였으나 실제 안테나의 공진특성은 9.3GHz에서 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 설계주파수를 중심으로 상하로 상당히 넓은 범위(약 20%)에 걸쳐 사용가능함을 알 수 있었다.

이와 같은 주파수 특성은 기존의 패치형 안테나나 다이폴형 안테나의 수% 정도에 비하면 훨씬 개선된 것을 알 수 있다.

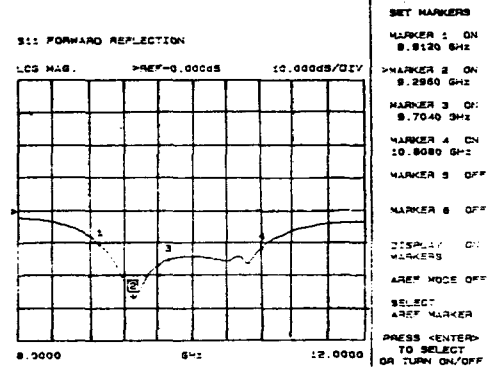
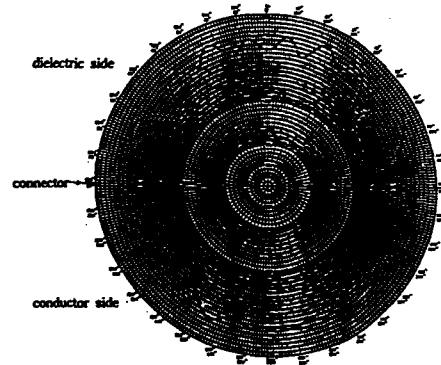
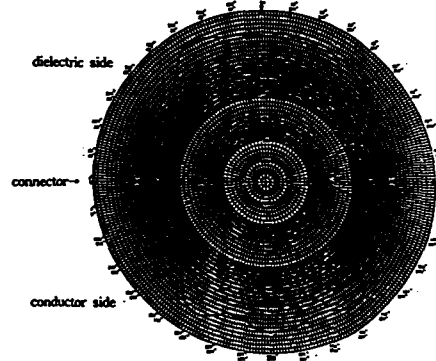


그림 5. 제작된 안테나의 반사 손실 특성

제작된 안테나의 방사특성은 전파무향실에서 각각 E-plane 특성과 H-plane 특성을 측정하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다.



(A) E-plane 패턴



(B) H-plane 패턴

그림 6. 제작된 안테나의 방사특성

방사패턴에 리플이 있는 것은 제작된 안테나의 접지면의 크기가 한정되어 생긴 원인으로 생각되며, 좌우 특성이 완전히 일치하지 않은 것은 패턴 측정 장치에 연결된 케이블과 컨넥터의 영향으로 생각된다.

IV. 결 론

일반적인 인쇄회로형 안테나로서 패치형이나 다이폴의 경우 사용가능 주파수 대역이 좁은데 반해, 기존의 실린더형 폴디드 다이폴 안테나의 경우 단일 다이폴 안테나에 비해 훨씬 좋은 특성을 나타내고 있음을 감안하여, 폴디드형 인쇄회로 안테나로 개량하고자 하였다.

급전 선로로서는 최근 관심의 대상이 되고 있는 CPW 전송선로의 장점을 활용하고, CPW 선로와 쉽게 매칭 시킬수 있는 폴디드 슬롯형 안테나를 대상으로 하여 CPW로 급전하였다.

이미 잘 알려진 폴디드 다이폴 안테나에 관한 설계식을 평면형 안테나에 적용하여 설계하므로써 쉽게 설계할 수 있었고, 인쇄회로 제작기법을 통해 쉽게 제작할 수 있었다.

제작된 안테나의 주파수 특성을 벡터 회로망 분석기로 측정을 하여 사용가능 주파수 대역이 약 20% 정도임을 알수 있었으며, 이는 수 %에 지나지 않은 기존의 패치형이나 다이폴 형태의 안테나 보다 그 특성이 우수함이 입증되었다.

다만 방사특성에 있어서 리플과 같은 현상이 나타났는데, 이는 안테나의 접지면이 제한됨으로 인하여 생긴 결과로 추측되지만 정확한 해석을 필요로 하는 연구과제로 추후 더욱 관심을 갖고 연구를 할 예정이다.

참고문헌

[1] KR. Carver, J.W. Mink, "Microstrip antenna technology", IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol AP-29, pp. 2-24 Jan, 1981

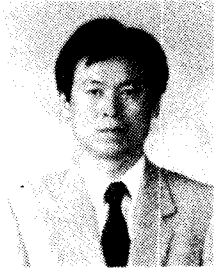
[2] I.J. Bahl, Microstrip antennas, pp 2, Artech House, 1980
 [3] R.E. Munson, "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays", IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. AP-22, pp 74-78, Jan., 1974
 [4] G.A. Thiele, E.P. Ekelman, L.W.Henderson "On the accuracy of the transmission line model of the folded dipole," IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. AP-33, pp 1028-1031, Sept., 1985
 [5] C. A. Balanis, Antenna Theory, pp 124, 294, John Wiley & sons, 1982
 [6] R.K. Hoffman, Handbook of Microwave Integrated Circuits", pp 351-366, Artech House, 1987
 [7] M. Kominami, D.M. Pozar, D.H.Schaubert, "Dipole and slot elements and arrays on semi-infinite substrates", IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol AP-33, pp. 600-607, June., 1985
 [8] J. Huang, "The finite ground plane on the microstrip antenna radiation patterns", IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. AP-31, pp 649-653, July., 1983



송 면 규(Myun-Kyu Song)
 1978년 2월 목포해양대학교 통신공학과
 1991년 2월 서울산업대학교 전자통신공학과(공학사)
 1993년 8월 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)

1997년 3월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학박사 과정)

*주관심분야 : 무선통신망, 안테나, 통신정책



한 중 호(Jung-Ho Han)
1972년 광운대학교 무선통신과
졸업(공학사)
1984년 광운대학교 전자통신공
학과(공학석사)
1975년 3월~1979년 2월 부산
대양공고 교사
1979년~현재 영진전문대학 전
자정보계열 교수

* 주관심분야 : 안테나, 해상이동통신



양 규 식(Gyu-Sik Yang)
1974년 2월 한국항공대학교 통신
공학과 졸업
1984년 2월 건국대학교 대학원
전자공학과 졸업(석사)
1991년 8월 동 대학원 전자공학과
졸업(박사)
1986년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 교수



이 중 념(Joung-Nyung Lee)
1972년 영남대학교 전자공학과
(공학사)
1982년 영남대학교 전자공학과
(공학석사)
1999년 한국해양대학교 전자통
신공학과 박사과정수료
1999년~현재 영진전문대학교

전자정보계열 교수

* 주관심분야 : 멀티미디어 통신