

CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나에 미치는 유한 접지면의 효과

양 현 포¹⁾, 양 규 식²⁾

An Effect of the Finite Ground Plane in
the CPW fed Folded Slot Antenna

Hyun-Po Yang , Gyu-Sik Yang

Abstract

In comparison with the conventional microwave cubic antenna, the printed circuit antenna has several disadvantages such as lower gain and narrower usable bandwidth.

But it is widely used in high speed vehicle, missile, aircraft, satellite, which require the more importances of small, light weight, easy construction and conformability to the mounting surface in disregard of some disadvantages.

In this thesis the characteristics of finite ground plane effects in the CPW(Coplanar Waveguide) fed folded slot antenna was studied by theoretical analyzation and experimental investigation.

As CPW line has several advantages of wider bandwidth, better impedance matching possibilities, smaller mutual coupling between two adjacent lines to the microstrip line, and also the folded dipole antenna has wider bandwidth, better impedance matching and higher gain to the conventional dipole antenna, the CPW fed folded slot antenna was used in this paper to overcome the disadvantages of

1) 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정

2) 한국해양대학교 전자통신공학과 부교수

conventional microstrip antenna.

After making 3 antennas with each different ground plane size, the radiation pattern of those antennas were measured in the anechoic chamber.

It can be proposed that suitable ground plane size which can be ignored the finite ground plane effects, in the CPW fed folded slot antenna is over 10 wavelenghtes.

1. 서 론

인쇄 회로형 안테나는 종래의 입체형 마이크로웨이브 안테나와 비교하여 가볍고 크기가 작으며, 제작이 간편하고 또한 얇게 만들 수 있어 안테나를 부착해야 할 표면에 융통성 있게 부착시킬 수 있는 장점들이 있다.

다만, 일반적으로 많이 사용되는 마이크로스트립 패치형 안테나, 마이크로스트립 다이폴 안테나 혹은 마이크로스트립 슬롯 안테나의 경우 사용 가능한 주파수 대역이 좁고, 이득이 낮으며 표면파 여기에 따른 간섭 현상등 단점도 있으나, 이러한 단점을 감수하고라도 장점을 더욱 필요로 하는 미사일·로켓·인공위성등 고속 이동체의 안테나로서 각광을 받아 왔으며, 최근에는 위성 TV 수신용 안테나 혹은 기타 휴대용 무선 장치의 안테나 등에 이용되고 있다.

본 논문에서는 CPW(Coplanar Waveguide) 선로에 의해 급전되는 폴디드 슬롯 안테나를 설계하여, 일반적인 평면형 인쇄 회로 안테나의 단점인 사용 주파수 대역의 확장이나 이득 향상을 도모할 수 있도록 하였으며, 이와 같은 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나에서 접지면 크기가 방사 패턴에 미치는 영향을 연구하였다.

설계된 안테나의 제원에 따라 제작된 동일한 안테나에 대하여 접지면의 크기가 다른 경우의 방사 패턴에 나타나는 영향을 분석하여, 접지면의 크기에 대한 영향을 무시할 수 있는 최소한의 필요한 접지면의 크기는 10 파장 이상임을 제시하였다.

2. 폴디드 슬롯 안테나의 이론적 해석

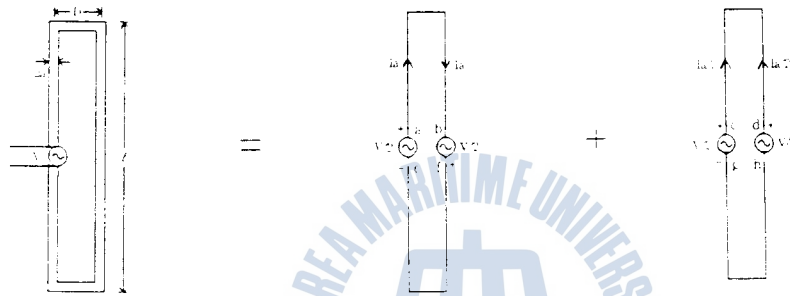
2.1 폴디드 다이폴 안테나(Folded Dipole Antenna)

좋은 지향 특성을 얻고, $50[\Omega]$ 혹은 $70[\Omega]$ 동축 선로(coaxial line)와 매칭이 잘되

도록 하기 위해 보통 단일 선로 안테나의 길이는 1/4 파장과 1 파장 사이의 길이가 되도록 한다.

높은 값의 특성 임피던스를 갖는 급전선과의 좋은 임피던스 매칭을 위해 단일 다이폴을 변형시킨 폴디드 다이폴 안테나가 개발되었다.

폴디드 다이폴 안테나는 [그림 1]에서와 같이 기본적으로 비대칭 전송선로로 동작되며, 그 전류는 전혀 다른 2가지 특성의 전송선로 모드와 안테나 모드로 구성된다고 가정하여 해석할 수 있다.



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

[그림 1] Folded dipole 안테나의 구조와 그 등가 해석

폴디드 다이폴 안테나의 입력 임피던스는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{4Z_1 Z_d}{Z_1 + 2Z_d} = \frac{2Z_1(4Z_d)}{2Z_1 + 4Z_d} \quad (1)$$

여기서, Z_d 는 길이 l 과 식(2), (3), (4) 및 (5)를 이용하여 계산된 wire 반경이 a 인 선형 다이폴의 입력 임피던스이다.

$$R_d = \frac{R_r}{\sin^2(kL/2)} \quad (2)$$

$$X_d = \frac{X_i}{\sin^2(kL/2)} \quad (3)$$

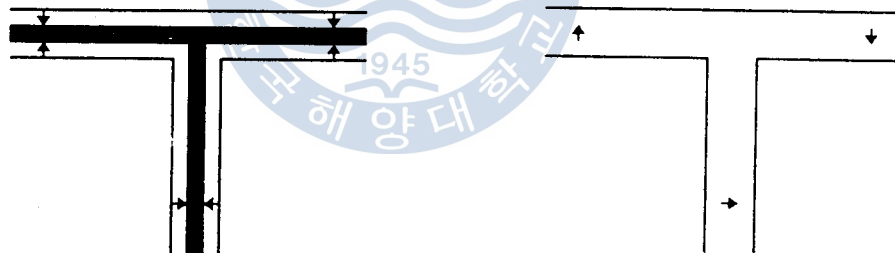
$$\begin{aligned} R_r = & \frac{\eta_c}{2\pi} \left\{ C + \ln(kL) - C_i(kL) + \frac{1}{2} \sin(kL) \right. \\ & \times [S_i(2kL) - 2S_i(kL)] + \frac{1}{2} \cos(kL) \\ & \left. \times \left[C + \ln\left(\frac{kL}{2}\right) + C_i(2kL) - 2C_i(kL) \right] \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

$$X_r = \frac{\eta_e}{4\pi} \{ 2S_i(kL) + \cos(kL) [2S_i(kL) - S_i(2kL)] - \sin(kL) \times [2C_i(kL) - C_i(2kL) - C_i(\frac{2ka^2}{L})] \} \quad (5)$$

여기서, R_d 와 X_d 는 다이폴의 입력 저항과 입력 리액턴스(reactance), R_r 과 X_r 은 방사 저항과 방사 리액턴스를 의미하며, $c = 0.5772$ (Euler's constant)이고, $C_i(x)$, $S_i(x)$ 는 cosine 및 sine 적분 함수를 나타내며, a 는 안테나 선로의 반경, η_e 는 매질의 임피던스이다.

2.2 폴디드 슬롯 안테나(Folded Slot Antenna)

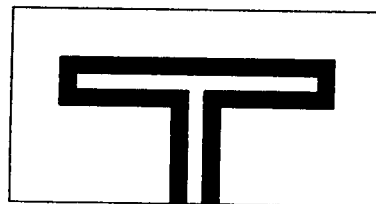
CPW나 슬롯 라인(slot line)에 의해 급전되는 폴디드 슬롯 안테나를 살펴보면 CPW와 슬롯 라인은 폴디드 슬롯 안테나의 슬롯 라인과 T형 분기점에서 180° 서로 다른 전송 특성을 보인다.



(a) CPW T junction.

(b) Slot line T junction.

[그림 2] T 분기점에서의 전계분포



(a) Folded Dipole



(b) Folded Slot

[그림 3] Folded Dipole 안테나와 Folded Slot 안테나

CPW나 Slot line이 slot line과 T 분기를 이룰 때, 입력 전송선로가 CPW이면 동상 분배, Slot line이면 역상 분배가 이루어지는 관계를 CPW와 Slot line으로 급전되는 폴디드 슬롯 안테나에 적용하였다.

폴디드 슬롯 안테나는 마이크로스트립 폴디드 다이폴 안테나와 서로 상보관계를 이루므로 Booker의 정리에 따라 마이크로스트립 폴디드 다이폴 안테나의 설계식을 활용할 수 있다.

$$Z_s = \eta_c^2 / (4Z_d) \quad (6)$$

여기서, Z_s 는 폴디드 슬롯 안테나의 임피던스, Z_d 는 폴디드 다이폴 안테나 임피던스이고, 고유 임피던스 η_c 는 $\sqrt{\mu_0 / (\epsilon_e \cdot \epsilon_0)}$ 이며, ϵ_e 는 유효 유전율이다.

반경 a 인 도선으로 간격 D 만큼 떨어져 구성된 폴디드 다이폴 안테나는 Even, Odd mode로 동작하는 대칭 결합 전송선과 같이 동작하며, 그 급전점에서의 입력 임피던스는 전송선로 모드와 안테나 모드의 임피던스에 의해 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

이때 원형 단면을 갖지 않는 안테나의 경우 등가 반경을 갖는 원형 단면의 안테나로 대체시킬 수 있으며, 폭 W 인 스트립 선로일 경우에 그 등가 반경은 $W/4$ 로 볼 수 있다.

2.3 CPW 급전선

마이크로스트립 선로는 기판의 양면을 사용하여야 하며, 회로를 구성하는 소자의 접지를 위해서는 기판에 구멍을 뚫어야 하므로 제조 공정 상의 어려움이 따르게 된다.

아울러 이러한 구멍을 통한 배선이 높은 주파수에서는 인덕턴스 효과를 일으켜 뜻하지 않은 성능의 열화를 초래할 가능성도 있다. 이에 비하여 CPW(Coplanar Waveguide) 선로는 기판의 한쪽면 만을 필요로 할 뿐이며, 필요한 부품 등의 접지가 급전 선로와 같은 면에서 이루어지기 때문에 급전선로와 필요 부품 및 안테나를 동일면 상에 배치할 수 있고, 인쇄 회로 기술을 이용하여 동시에 제작할 수 있으므로 제조 공정이 간단해지며, 제작 비용도 저렴해지는 등 여러가지 장점을 갖는다.

또한 CPW는 좁은 중앙 스트립과 밀접하게 위치한 접지면 사이에서 여진되기 때문에 마이크로스트립 라인보다 프링징 효과(fringing effect)의 영향을 덜 받으며, 따라서 근접한 선로 사이에서도 상호 결합의 영향이 작으며 급전선으로 부터의 교차 편파 방사(cross polarized radiation)도 대폭 감소된다.

2.4 기하학적 회절 효과

2.4.1 표면파 효과

인쇄 회로형 안테나의 접지면 위에 덮인 유전체는 공기-유전체 간에 평행인 방향으로 전파하는 제한된 수의 표면파 성분(Surface Wave Mode)을 발생시킨다.

일반적으로 표면파의 크기는 기판의 전기적인 두께에 따라 증가하고, 절단된 접지면의 끝에서 이들 표면파 전계는 부분적으로 반사가 일어나게 되는데, 이러한 효과는 입력 임피던스나 방사패턴들을 상당히 변화시킬 수 있다.

이 표면파 성분은 방사효율에 있어서 궁극적인 감소를 일으키는 방사 전계에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

대부분의 연구 결과들은 무한히 긴 접지 유전체 기판을 가진 안테나를 기초로 하고 있으나, 방사 패턴에 있어서 smooth한 유전체 절단의 효과는 특히 end fire 방향에서 방사 패턴이 매우 불안정하게 된다는 것이 밝혀졌다.

사실상 유전체 기판에서나 또는 접지면에서의 어떤 불연속은 표면파 회절의 원인이 되기도 한다.

2.4.2 기하학적 회절 효과

GTD(Geometrical Theory of Diffraction)는 고전적인 GO(direct, reflect, refracted rays)의 확장으로 회절 메카니즘(diffraction mechanism)을 도입함으로써 적용하기가 간단하고, 구조의 여러 부분들로 부터의 분산 메커니즘과 방사에서 물리적인 통찰력을 제공한다.

실험값 및 다른 방법들과 잘 비교되는 정확한 결과를 산출하며, 다른 기법들(Moment Method, Modal Expansion Theory 등)과 결합되어질 수 있다.

3. 실험 및 고찰

3.1 Folded Slot Antenna 설계

안테나 설계를 위한 기판은 $\epsilon_r = 2.1$, 기판두께 62[mil] (1.575[mm])인 마이크로파용 기판을 사용하였다.

폴디드 슬롯 안테나를 설계하기 위한 제원은 폴디드 다이폴 안테나의 제원으로부터 유도하였으며, 폴디드 다이폴 안테나의 스트립 폭은 0.4[mm]로, 스트립 간격은 0.8[mm]로 제작의 편의를 위해 임의로 정하였으며 설계 중심주파수 10[GHz]에서 동작하도록 설계하였다.

주어진 제원에 의해 구해진 유효 유전율은 1.5064, 선로 특성임피던스는 240.2[Ω]이다.

안테나의 공진 길이는 식(4)로부터 계산할 수 있으며, 실험적인 계산식 (7)에 의해 계산할 수 있다.

$$l = 0.48 \lambda_g - 2a_e \quad (7)$$

여기서 a_e 는 double strip을 단일 도체의 다이폴로 보았을 때의 등가 반경으로 식(8)에 의해 계산할 수 있으며 그 값은 0.3452[mm]이다.

$$a_e = \left[\left(\frac{w}{4} \right) \times \left(c + \left[c^2 - \left(\frac{w}{4} \right)^2 \right]^{1/2} \right) \right]^{1/2} \quad (8)$$

따라서, 실험식에 의한 공진 길이는 11.04[mm], 식(4)에 의해 계산된 값에 의한 단일 다이폴 안테나의 특성임피던스(Z_0)와 전송선로 모드의 임피던스(Z_l)를 구하면 각각 (49.42 - j 0.077)[Ω], (j 2411.07)[Ω]이 된다. 따라서, 이 값들을 기준으로 식(1)에 의해 폴디드 다이폴 안테나의 임피던스(Z_{fd})를 계산할 수 있으며, Booker의 정리에 의해 폴디드 슬롯 안테나의 임피던스(Z_{fs})를 식(9)에 의해 계산할 수 있다.

$$Z_{fs} = \frac{\eta_0^2}{4 Z_{fd}} \quad (9)$$

구해진 폴디드 슬롯 안테나의 임피던스(Z_{fs})는 (119.32 - j 4.70)[Ω] 이었다.

| 임피던스 | 스트립 폭 | 슬롯 폭 | 유효유전율 | 관내과장 | 1/4과장 |
|---------|----------|----------|-------|-----------|-----------|
| 50 [Ω] | 1.60[mm] | 0.10[mm] | 1.46 | 24.82[mm] | 6.205[mm] |
| 77.1[Ω] | 0.69[mm] | 0.21[mm] | 1.49 | 24.56[mm] | 6.140[mm] |
| 119[Ω] | 0.30[mm] | 0.41[mm] | 1.50 | 24.47[mm] | 6.118[mm] |

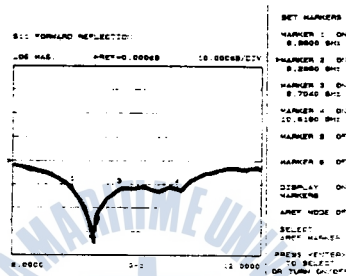
[표 1] CPW 급전선의 설계 파라메타

따라서 급전부의 특성임피던스가 119[Ω]되는 CPW 급전선을 설계하고 50[Ω]소스와 임피던스 매칭을 위한 1/4 파장 변환 부분(77.1[Ω])을 설계하였다.

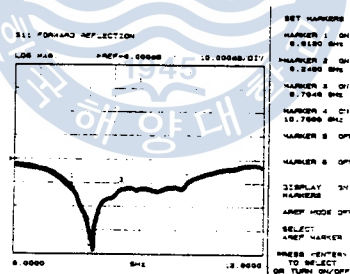
3.2 반사손실 특성 측정

제작의 정확성을 기하기 위해 먼저 설계된 제원에 따라 10배 확대된 도면을 그리고, 이를 다시 1/10로 축소 촬영하여 음화를 만든 뒤, 준비된 마이크로파용 기판에 photo etching 기법을 통하여 안테나를 제작하였다.

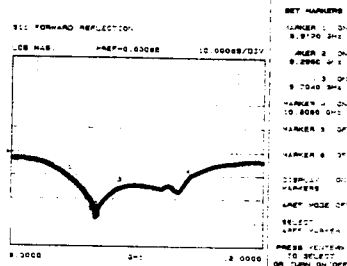
제작된 안테나의 반사손실 특성을 Vector Network Analyzer로 측정하여 공진 주파수를 확인하였다.



(a) $8.5 \times 8.5 \text{ cm}^2$ 접지면 크기일 때



(b) $13.5 \times 13.5 \text{ cm}^2$ 접지면 크기일 때



(c) $24.5 \times 24.5 \text{ cm}^2$ 접지면 크기일 때

[그림 4] 제작된 안테나의 반사손실 특성

설계 중심 주파수는 10[GHz] 였으나 실제 안테나의 공진 특성은 9.3[GHz]로 다소 낮은 주파수에서 나타나, 7% 정도의 오차를 보이고 있는데 이는 이론적인 공진 주파수 계산식에 의해 설계된 수치가 다소 부정확함을 확인 할 수 있었다.

따라서 실제적인 경우, 이론적인 공진 주파수 계산 식보다는 실험적인 계산식에 의한 설계 값이 오히려 정확함을 알 수 있었으며, 접지면의 크기에 따른 임피던스 특성의 차이는 거의 없는 것으로 확인되었다.

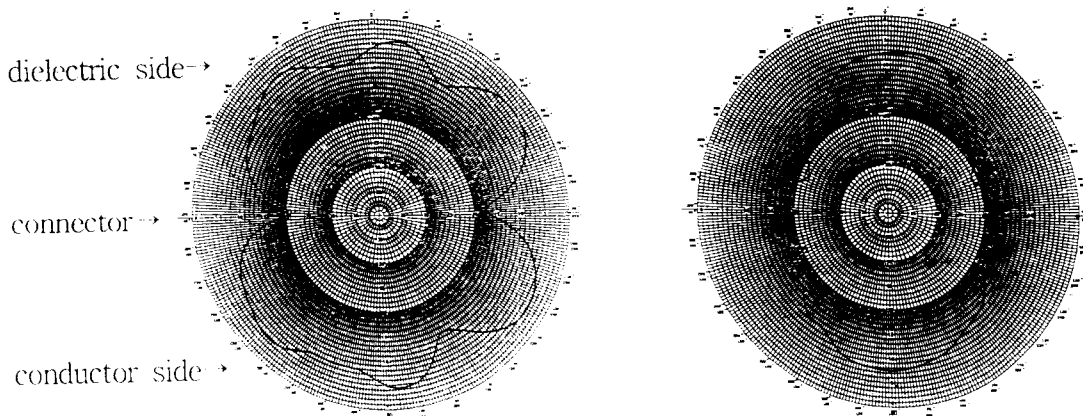
3.3 방사 특성 측정

실제 방사 특성의 측정은 전파무향실에서 Scientific Atlanta사의 안테나 패턴 측정기를 이용하여 제한된 접지면($8.5 \times 8.5 \text{ cm}^2$)을 갖는 안테나의 E면 패턴과 H면 패턴을 측정하고, 이어서 접지면의 확장을 위해 폭 5cm정도의 동박을 붙여 접지면의 크기를 넓힌 뒤($13.5 \times 13.5 \text{ cm}^2$) 같은 과정을 반복하여 측정하였다.

또한 접지면을 더욱 넓힌 뒤 ($24.5 \times 24.5 \text{ cm}^2$) 패턴을 측정하여 다음 그림과 같은 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

이러한 측정 결과로부터 접지면의 크기가 넓을수록 패턴의 리플(ripple)이 현저히 개선되고 있음을 확인할 수 있었다.

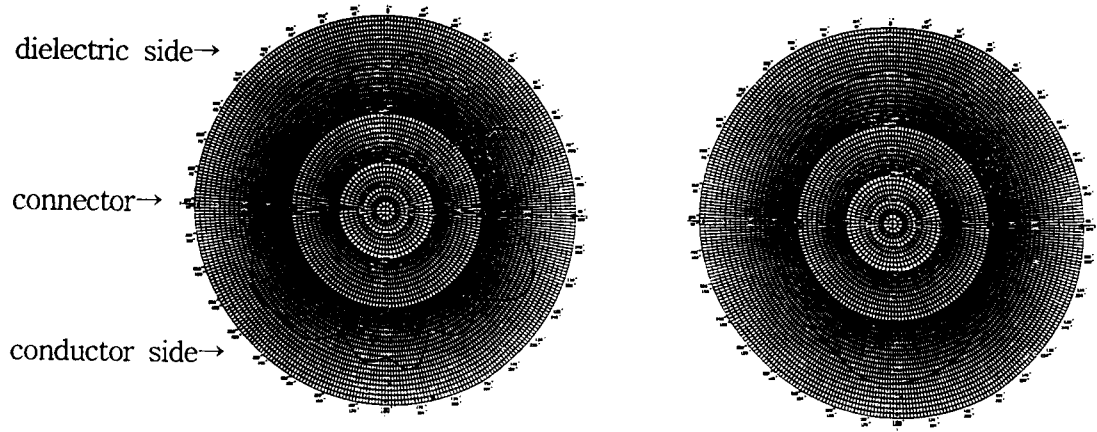
방사 패턴의 좌우 특성이 완전히 대칭을 이루지 못한 이유는 소스 컨넥터(source connector)의 영향이 다소 영향을 미치는 것으로 생각된다.



(a) E - plane pattern

(b) H - plane pattern

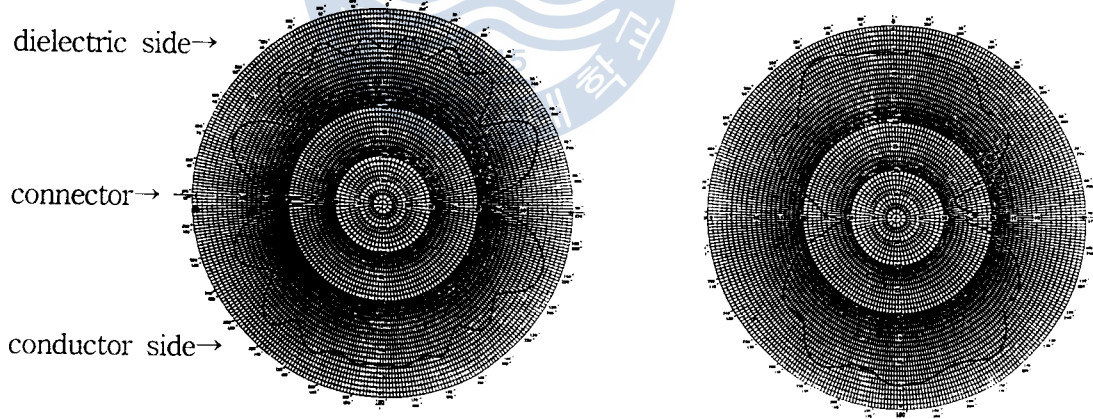
[그림 5] $8.5 \times 8.5 \text{ cm}^2$ 접지면일때의 방사 패턴



(a) E - plane pattern

(b) H - plane pattern

[그림 6] $13.5 \times 13.5 \text{ cm}^2$ 접지면일때의 방사 패턴



(a) E - plane pattern

(b) H - plane pattern

[그림 7] $24.5 \times 24.5 \text{ cm}^2$ 접지면일때의 방사 패턴

4. 결 론

인쇄 회로형 안테나는 인쇄 회로 기술을 활용하여 소형, 경량, 경박하고, 저렴하게 생산할 수 있다는 장점 때문에 고속 이동체에서 널리 활용되고 있으나, 이득이 낮고 사용 가능 주파수 대역이 좁다는 단점도 있다.

이러한 단점을 일부라도 극복하기 위하여 폴디드 다이폴 형태의 안테나를 활용한다면 안테나의 방사 임피던스 조절도 용이하고, 사용 가능 주파수 대역도 훨씬 넓게 할 수 있을 것이라는 가능성 때문에 인쇄 회로형 안테나에 적용하였다.

그러나, 폴디드 다이폴의 경우는 마이크로스트립 선로에 의한 급전 방식을 필요로 하는데, 마이크로스트립 선로의 여러 가지 단점 때문에 최근에는 이보다 우수한 전송 특성을 갖고 있는 CPW 급전선이 이용되기 시작하고 있음을 감안하여 CPW 급전선에 의한 급전 방식을 채택하였다.

CPW 급전선을 이용하게 됨에 따라 안테나의 형태를 폴디드 다이폴 대신 폴디드 슬롯 형태로 바꾸는 것이 훨씬 설계도 용이하며 인쇄 회로형 안테나의 장점을 충분히 활용할 수 있을 것으로 사료되어, CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나를 연구 대상으로 삼았다.

일반적으로 인쇄 회로형 안테나를 설계할 때는 접지면의 크기를 무한히 넓은 경우로 가정하지만, 실제 안테나를 제작할 때는 접지면의 크기가 유한함에 따라 설계시 고려되지 않은 특성이 나타나게 된다.

따라서 설계 단계에서부터 접지면의 크기를 고려하여 설계를 하든지, 아니면 접지면의 효과를 무시할 수 있도록 제작하여 무한 접지면을 가정한 이론이 적용될 수 있도록 하든지 할 필요가 있었다.

접지면의 크기를 고려한 설계를 하기 위해서는 GTD 이론을 적용하여 해석을 할 수 있으나, 절차가 훨씬 복잡하므로 접지면 크기의 영향을 무시할 수 있는 적당한 크기를 산정하여 제작하는 것이 효과적일 것으로 평가되었다.

실제로 접지면의 크기를 달리한 몇 종류의 안테나를 설계, 제작하여 방사 특성을 측정한 결과 접지면의 크기가 최소한 사용 파장의 10배 이상이어야 접지면의 효과가 무시될 수 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 연구 결과는 인쇄 회로형 안테나 제작과 올바른 사용에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] I. J. Bahl, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1980.
- [2] Fred Gardiol, *Microstrip Circuits*, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [3] J. Huang, "The Finite Ground Plane on the Microstrip Antenna Radiation Patterns," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 31, no. 4, pp. 649-653, July 1983.
- [4] G. A. Thiele, E. P. Ekelman, and L. W. Henderson, "On the Accuracy of the Transmission Line Model of the Folded Dipole," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-28, no. 5, pp. 700-703, September 1980.
- [5] R. W. Lampe, "Design formulas for an asymmetric coplanar strip folded dipole," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-33, pp. 1028-1031, September 1985.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1982.
- [7] 양규식, "평면형 준 광학적 믹서에 관한 연구," 한국해양대학교 산업기술연구소 연구논문집 제 11집, pp. 95-101, 1993.
- [8] Reinmut K. Hoffmann, *Handbook of Microwave Integrated Circuits*, Artech House, 1987.
- [9] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [10] J. B. Keller, "Geometrical Theory of Diffraction," *Journal Optical Society of America*, vol. 52, no. 2, pp. 116-130, February 1952.
- [11] A. K. Bhattacharyya and R. Garg, "Effect of Substrate in Efficiency of an Arbitrarily Shaped Microstrip Patch Antenna," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-34, no. 10, pp. 1181-1188, October 1986.
- [12] R. G. Kouyoumjian, "The Geometrical Theory of Diffraction and Its Applications," in *Numerical and Asymptotic Techniques in Electromagnetics* (R. Mittra, ed.), Springer-Verlag, 1975.
- [13] A. K. Bhattacharyya, "Effects of Ground Plane and Dielectric Truncation on the Efficiency of a Printed Structure," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 39, no. 3, pp. 303-308, March 1991.