

論文2000-37TC-12-5

T-모양 급전선을 갖는 개구 결합 광대역 마이크로스트립 안테나의 설계 및 그 특성

(The Design and Characteristics of Aperture Coupled Wideband Microstrip Antenna with the T-shaped Feedline)

張用雄 *

(Yong-Woong Jang)

요 약

T-모양 급전선을 갖는 개구-결합 마이크로스트립 안테나인 새로운 방법을 제안하였다. 시간영역 유한차분(FDTD) 법을 적용하여 안테나의 특성들을 해석하고, 최대 대역폭을 갖는 안테나를 설계하였다. 안테나를 모델링하여 파의 진행과정과 전계분포를 시간 영역에서 계산하였다. 그리고 FDTD 법으로 얻은 값들을 Fourier 변환시켜 반사손실, 전압 정재파비, 입력 임피던스를 주파수 영역에서 각각 계산하였다. 패치의 길이와 폭, 슬롯의 길이와 폭, T-모양 급전선의 길이, offset에 따라 대역폭이 변하였다. 측정된 % 대역폭은 중심 주파수 2.5 GHz에서 49.2 %의 광대역 특성을 얻었으며, 이들 결과들은 계산값과 비교적 잘 일치하였다.

Abstract

We proposed to a new method of the aperture coupled microstrip antenna with T-shaped feeding slot. We analyzed method of enhancing the bandwidth of the antenna using FDTD. And the antenna parameters are optimized to get maximum bandwidth. We also calculated the progress process of waves and the distribution of electric field in the time domain. We also calculated return loss, VSWR, input impedance, radiation pattern in the frequency domain by Fourier transforming the time domain results, respectively. It was found that the bandwidth of this antenna changes length and width of the patch, length and width of the slot, length of T-shaped feedline, position of the offset. Measured % bandwidth was 49.2 % in the center frequency 2.5 GHz. These results were in relatively good accordance with calculated values.

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 단면적이 작으며, 여러 유형의 구조에 적합하게 제작이 가능하고, 소형, 경량으로

제작이 용이하여 생산 단가가 낮고, 설계 변수를 다양화시킬 수 있는 등 여러 가지 장점이 있는 반면에 주파수 대역폭이 좁기 때문에 실제 적용할 때 많은 제한을 받는다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 다양한 방법¹⁻²⁾이 연구되고 있다. 전자기 결합 마이크로스트립 안테나의 급전선로에 짧은 동조 스텝브를 연결하면 10~15 %정도의 대역폭 특성³⁻⁴⁾을 가진다.

지금까지 개구-결합 마이크로스트립 안테나는 1985년 Pozar에 의해 제안된 이후 국내외에서 많은 연구가

* 正會員, 極東情報大學 電子通信科

(Dept. of Electronics Communication Eng., Keuckdong College)

接受日字:2000年2月24日, 수정완료일:2000年5月4日

진행되고 있다. 그러나 급전시키는 일반적인 방법⁵⁻⁶⁾은 마이크로스트립 급전 선로를 슬롯 중심에 수직하게 가로지르게 하는 급전 방식이나 정합을 좀 더 용이하게 급전하기 위해 슬롯 중심에서 슬롯의 양 끝단 쪽으로 오프셋(offset)시키는 방법이었다. 그러나 이런 두 경우에서는 비교적 슬롯 폭이 좁은 경우에 한하여 협대역에 걸쳐 좋은 정합을 이룰 수 있지만, 슬롯 폭이 커지면 이러한 급전점을 오프셋시키는 것으로는 정합이 어려울 뿐만 아니라, 광대역성이 어려웠다.

본 논문에서는 넓은 슬롯 구조에서는 복사저항이 매우 커서 정합하기가 매우 힘들었던 기존의 급전구조 대신에, T-모양 마이크로스트립 급전선을 사용하므로 슬롯 폭이 증가하여도 복사저항이 일정한 특성을 얻을 수 있고, 넓은 슬롯 구조에 대해서도 별다른 정합회로를 사용하지 않고 좋은 정합 특성을 보였다. 그리고 T-모양 급전선을 갖는 슬롯과 마이크로스트립 패치 안테나를 개구 결합시키므로 더욱 대역폭을 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. FDTD 법을 적용하여 안테나의 특성을 해석하여 파의 진파 과정, 전계의 분포를 시간영역에서 각각 계산하였고, FDTD 법을 사용하여 얻은 값들을 Fourier 변환하여 최적화된 슬롯 안테나의 반사손실, 전압 정재파비, 입력 임피던스, 그리고 복사 패턴을 주파수 영역에서 각각 계산하였다. 그리고 최적화된 설계값을 가지고, 안테나를 제작한 후에 실험 및 분석하고자 한다.

II. FDTD 해석 이론

시간영역 유한 차분법은 전자기 산란문제를 해결하기 위한 방법으로서 1966년 Yee에 의하여 제시되었다. 이러한 유한차분 근사식은 모든 증분에서 2차적인 절단 에러를 내포하고 있다.

단위격자 상에 전계성분 E와 자계성분 H를 배치하고, E 성분과 H 성분을 반 시간스텝 간격으로 유한차분 방정식으로 나타낼 수 있다. 시간축상의 이산간격은 각 계산 스텝과의 오차를 축적하지 않기 위해, 위의 차분 방정식이 안정적으로 동작할 수 있는 시분할 간격의 안정조건을 결정해야 한다⁷⁻⁸⁾.

마이크로스트립 안테나와 같은 구조는 전계, 자계 성분을 무한 경계영역까지 계산해야 하는 개방구조이다. 이와 같은 개방 구조에 대한 FDTD 해석은 컴퓨터 처

리속도와 기억용량의 한정 때문에 해석 대상영역을 제한하고, 제한영역에 구조와 동일하도록 흡수경계조건을 부여한 계산영역의 경계면에서, 전자파의 반사가 일어나지 않도록 한다. 마이크로스트립 안테나 구조의 해석에서 Mur의 1차 흡수경계조건을 적용한다⁷⁻⁸⁾.

시간영역 유한차분법에 의해 계산된 시간영역에서의 계산값은 Fourier 변환에 의한 주파수 영역의 응답을 구할 수 있다. 마이크로스트립 안테나의 산란 계수는 마이크로스트립 급전선로가 개방종단으로 되어 있으므로 1 port 회로가 되며, 이때 반사 계수 S_{11} ⁹⁾은

$$S_{11}(W) = \frac{\mathcal{F}[V'(t)]}{\mathcal{F}[V(t)]} \quad (1)$$

이다. 여기서 $V_{ref}(t)$ 는 기준점에서 반사전압을 나타내며, $V_{inc}(t)$ 는 기준점에서 입사전압을 나타낸다. \mathcal{F} 는 Fourier 변환을 나타낸다. 안테나의 입력 임피던스는 기준점에서의 산란 계수 계산 결과를 마이크로스트립 안테나 급전 종단점에 변환시킴으로 구할 수 있다

$$Z_i = Z_0 \frac{1 + S_{11}e^{-2kl}}{1 - S_{11}e^{-2kl}} \quad (2)$$

여기서, Z_0 는 급전 선로의 특성 임피던스(50 Ω), k 는 파수(wave number : $2\pi/\lambda_g$), l 은 급전선로 종단으로부터 기준점까지의 길이를 나타낸다. FDTD 계산 결과로부터 식 (2)을 적용하여 안테나의 입력 임피던스 값을 계산할 수 있다.

계산된 반사계수로부터 전압 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)는 다음과 같이 구해진다.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |S_{11}(\omega)|}{1 - |S_{11}(\omega)|} \quad (3)$$

이다.

원거리에서 총 전자계 E, H는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_\theta \approx -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\phi + \eta N_\theta) \quad (4)$$

$$H_\phi \approx -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} \left(N_\theta + \frac{L_\phi}{\eta} \right) \quad (5)$$

여기서, N_θ , N_ϕ 는 전계 복사벡터이고, L_θ , L_ϕ 는 자계

복사벡터이다.

III. 안테나의 해석 및 최적화 설계

1. 안테나의 구조 및 FDTD 적용

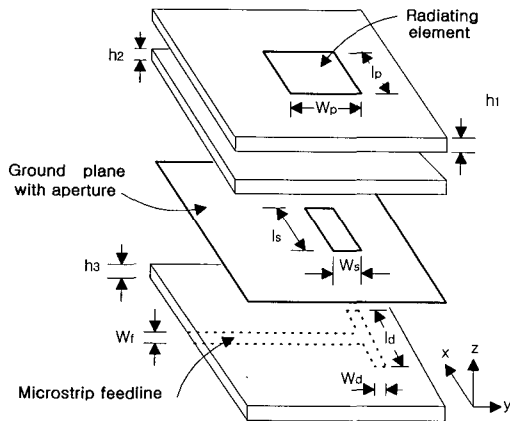


그림 1. 안테나의 구조 및 설계 변수
Fig. 1. Structure and design parameters of the antenna.

그림 1은 T-모양으로 급전한 슬롯에 개구 결합된 마이크로스트립 안테나의 해석 구조이며, 이 안테나를 FDTD 방법으로 3차원 공간에서 해석하였다. 해석에 사용한 기판은 첫 번째의 유전율(ϵ_{r1})은 2.2, 두께(h_1)는 3.15 mm인 RT/Duroid 5880 기판이며, 두 번째의 유전율(ϵ_{r2})은 1, 두께(h_2)는 2.61 mm인 스티로폴 층이며, 세 번째의 유전율(ϵ_{r3})이 6.15, 유전체의 두께(h_3)는 두께(h_3)는 0.635 mm인 RT/Duroid 6006 기판을 대상으로 시뮬레이션 하였다. 사용한 공간분할 간격은 $\Delta x=0.385$ mm, $\Delta y=0.43$ mm, $\Delta z=0.25$ mm이고, 전체 해석공간은 x, y, z 방향으로 각각 $135 \times 172 \times 84$ 개의 격자로 구성하였다. 본 안테나의 경우, 패치의 길이(l_p)는 $91\Delta x$ 이고, 패치의 폭(W_p)은 $63\Delta y$ 로 설정하였다. 그리고 슬롯의 길이(l_s)는 $104\Delta x$ 이고, 슬롯의 폭(W_s)은 $37\Delta y$ 이며, 수평부 급전선의 길이(l_d)는 $78\Delta x$ 이며, 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset)은 $7\Delta y$ 이며, 그리고 급전선의 폭(W_f)은 $5\Delta x$ 로 설정하여 슬롯 안테나를 FDTD 방법으로 3차원 공간에서 해석하였다. 그림 2는 크기가 1인 Gaussian 펄스를 인가할 때, $96\Delta y$ 떨어진 지점에서 관측할 때, 입사파형과 반

사펄스 파형을 FDTD 방법으로 시간영역에서 계산한 것이다.

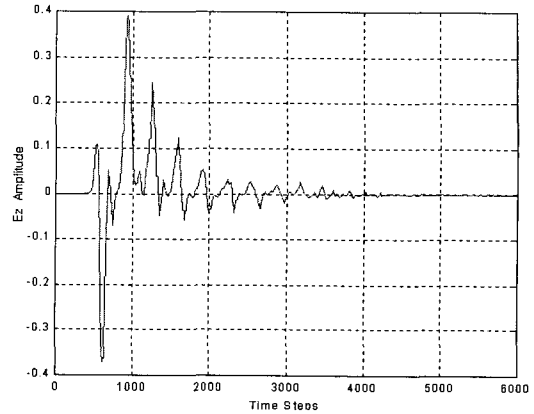


그림 2. 급전선로의 관측점에 대한 반사 파형
Fig. 2. Reflected waveform for the observation of feed line.

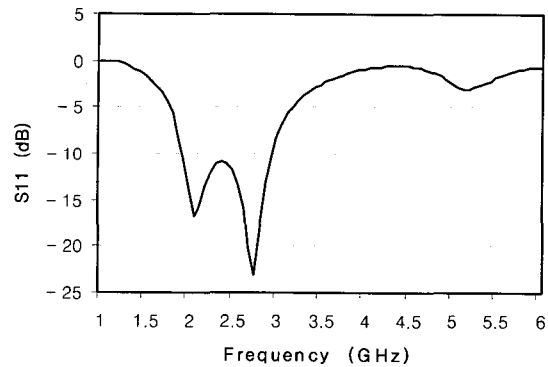


그림 3. 계산된 반사 손실
Fig. 3. Calculated return loss.

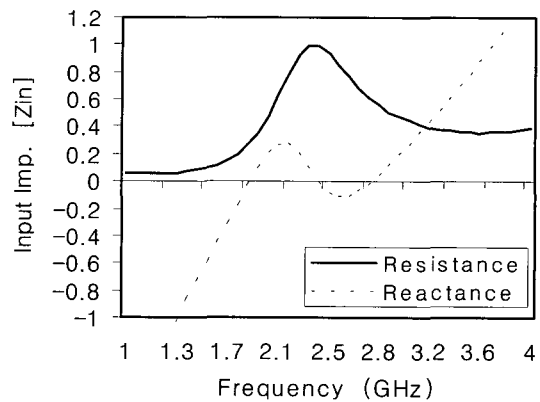


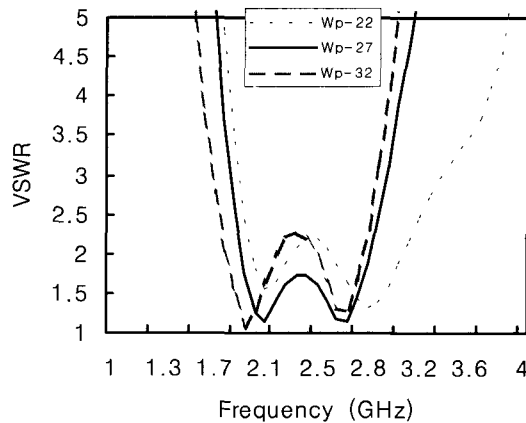
그림 4. 계산된 입력 임피던스
Fig. 4. Calculated input impedance.

안테나를 FDTD 계산 결과, 시간에 따른 전압 파형의 결과를 Fourier 변환하여 주파수 상에서 반사손실 값(S11)은 식 (1)을 이용하여 계산한 것으로 그림 3에 나타내었다. 공진 주파수 2.5 GHz를 중심으로 2중 공진이 발생하였으며, 2 GHz와 2.75 GHz에서도 각각 공진이 발생하는 것을 알 수 있다.

안테나의 입력 임피던스는 식 (2)로 부터 구할 수 있고, 계산된 그래프는 50Ω으로 정규화하여 나타냈으며 그림 4와 같다.

2. 설계변수에 따른 전압 정재파비와 최적화 설계

그림 1의 구조를 갖는 안테나에서 패치의 길이(l_p), 패치의 폭(W_p), 슬롯의 폭(W_s), 슬롯의 길이(l_s), 수평부 급전선의 길이(l_d), T-모양 급전선의 폭(W_d), 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset), 급전선의 폭(W_f)등의 변화에 따라 안테나의 특성이 변하게 된다.

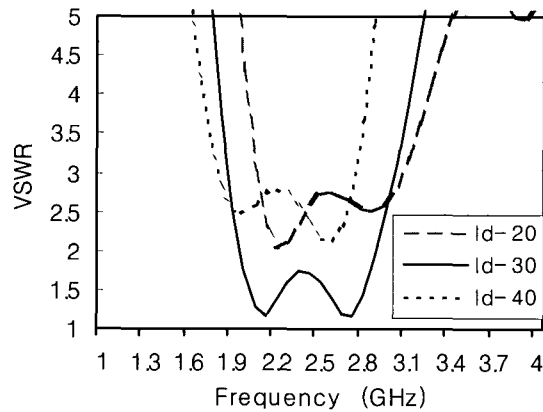


$l_p=35$ mm, $l_s=40$ mm, $W_s=16$ mm, $l_d=30$ mm, $W_d=2$ mm, offset=3 mm, $W_f=1.94$ mm, $\epsilon_{r1}=2.3$, $h_1=3.15$ mm, $\epsilon_{r2}=1$, $h_2=2.61$ mm, $\epsilon_{r3}=6.15$, $h_3=0.636$ mm

그림 5. 패치 폭(W_p) 변화에 따른 전압 정재파비 계산
Fig. 5. Calculated VSWR as a function of the patch width(W_p) .

패치의 폭(W_p) 변화에 따라 전압 정재파비를 계산하기 위해서 패치의 폭을 제외한 다른 파라메타들은 기본 값으로 고정시키고, FDTD의 최소격자($\Delta y=0.43$ mm)에 12배를 곱한 $12\Delta y$ 만큼씩 패치의 폭을 변화시켜 전압 정재파비를 계산하였다. 패치의 폭을 22 mm, 27 mm, 32 mm로 변화시키면서 계산된 전압 정재파비의 결과는 그림 5와 같다.

T-모양 급전선의 길이(l_d) 변화에 따른 전압 정재파비를 계산하기 위해서 T-모양 급전선의 길이를 제외한 다른 파라메타를 기본 값으로 고정시키고, T-모양 급전선의 길이를 20 mm, 30 mm, 40 mm 크기로 변화시켜서 전압 정재파비를 계산하였으며, 그 계산결과는 그림 6과 같다.



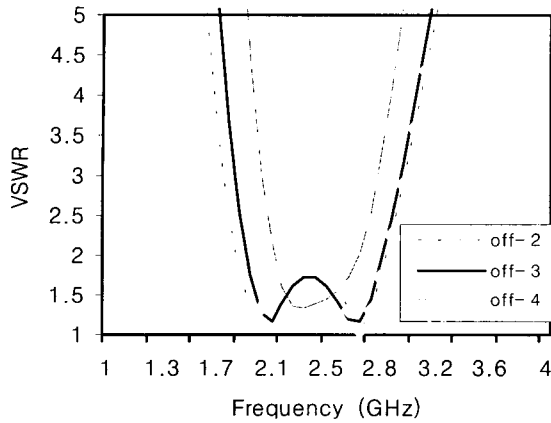
$l_p=35$ mm, $W_p=35$ mm, $l_s=40$ mm, $l_s=40$ mm, $W_s=30$ mm, offset=3 mm, $W_f=1.94$ mm, $\epsilon_{r1}=2.3$, $h_1=3.15$ mm, $\epsilon_{r2}=1$, $h_2=2.61$ mm, $\epsilon_{r3}=6.15$, $h_3=0.636$ mm

그림 6. T-모양 급전선의 길이 변화에 따른 전압 정재파비 계산

Fig. 6. Calculated VSWR as a function of horizontal part length(l_d) of cross shaped feed line.

슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset) 변화에 따라 전압 정재파비를 계산하기 위해서 슬롯 중심에서 offset을 제외한 다른 파라메타를 기본 값으로 고정시키고, 슬롯 중심에서 T-모양 급전선 중심 사이의 간격을 2 mm, 3 mm, 4 mm로 변화시키면서 전압 정재파비를 계산한 결과는 그림 7과 같다.

최적화된 파라메타 값을 계산한 결과, 패치의 길이(l_p)는 35 mm, 패치의 폭(W_p)은 27 mm, 슬롯의 길이(l_s)는 40 mm, 슬롯의 폭(W_s)은 16 mm, T-모양 급전선의 길이(l_d)는 30 mm, T-모양 급전선의 폭(W_d)은 2 mm, 슬롯 중심에서 수평부 급전선 중심 사이의 간격(offset)은 3 mm, 급전선의 폭(W_f)은 1.94 mm로 최적화되었으며, 2중 공진이 발생하면서 광대역 특성을 얻었으며, 정재파비 2 이하에서 사용 가능한 주파수 영역은 1,100 MHz(1.95 GHz ~ 3.05 GHz) 정도이고, 중심 주파수 2.5 GHz에서 % 대역폭은 약 44 %의 광대역 특성을 얻었다.



$l_p=35$ mm, $W_p=35$ mm, $l_s=40$ mm, $l_5=40$ mm, $W_s=30$ mm, $l_d=30$ mm, $W_d=2$ mm, $\epsilon_{r1}=2.3$, $h_1=3.15$ mm, $\epsilon_{r2}=1$, $h_2=2.61$ mm, $\epsilon_{r3}=6.15$, $h_3=0.636$ mm

그림 7. 오프셋(offset) 변화에 따른 전압 정재파비 계산

Fig. 7. Calculated VSWR as a function of offset.

IV. 실험 결과 및 분석

그림 8은 T-모양 급전선을 갖는 슬롯과 개구 결합된 마이크로스트립 안테나를 최적화한 후 제작 및 측정할

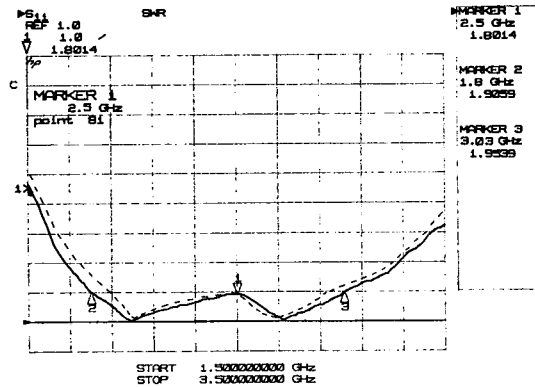


그림 8. 전압 정재파비(--- : 계산치, — : 측정치)

Fig. 8. VSWR (--- : Calculation, — : Measurement).

전압 정재파비 특성을 나타낸 것으로서, 전압 정재파비 2이하를 기준으로 중심 주파수 2.5 GHz에서 약 49.2%(1.8 GHz ~ 3.03 GHz)의 광대역 특성을 얻었다.

개구 결합 마이크로스트립 안테나의 복사 패턴을 측정하기 위해 1.8 GHz - 2.6 GHz의 대역폭을 갖는 측

정용 혼 안테나를 사용하여 Calibration을 한 후, 20 m 거리에서 안테나의 복사 패턴을 측정하였으며, 그림 9(a)과 (b)에 나타내었다. E-평면 동일 편파 복사패턴의 -3 dB 빔폭은 약 200° 정도이며, H-평면 동일 편파 복사패턴의 -3 dB 빔폭은 약 100° 정도였다. 그림 10은 측정된 이득을 나타낸 것으로 최대 4.1 dBi의 특성을 보였다.

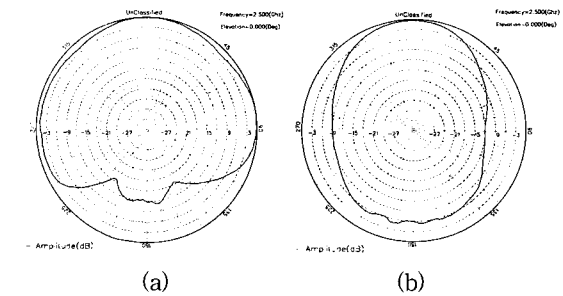


그림 9. 복사패턴 측정치 (a) E-평면, (b) H-평면

Fig. 9. Measured radiation pattern. (a) E-plane, (b) H-plane

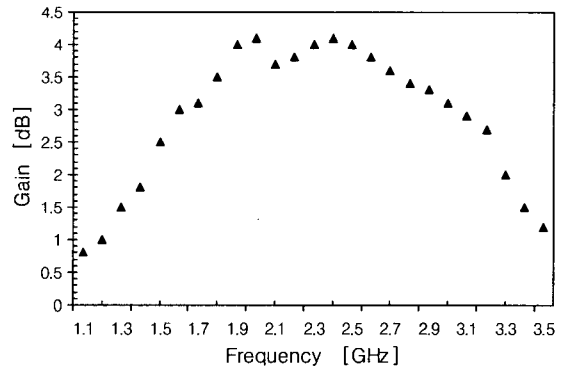


그림 10. 측정된 E-편의 이득 Fig. 10. Measured E-plane gain.

V. 결 론

본 논문에서는 시간영역 유한차분법(FDTD)을 적용하여 T-모양의 급전선을 갖는 개구 결합 마이크로스트립 안테나의 특성을 해석하고, 최대 대역폭을 갖는 안테나를 최적화하여 설계한 후에 제작 및 실험하였다. FDTD 법으로 안테나를 해석하여 전계분포를 시간 영역에서 계산하였고, 이를 Fourier 변환시켜 슬롯 안테

나의 반사손실, 전압 정재파비, 입력 임피던스를 주파수 영역에서 각각 계산하였다. 패치의 길이와 폭, 슬롯의 길이와 폭, T-모양 급전선의 길이, offset에 따라 대역폭이 변하였다. 측정된 결과, 전압 정재파비는 2이하에서 사용 가능한 주파수 영역은 1,230 MHz이며, % 대역폭은 약 49.2 %의 광대역 특성을 얻었다. 이들의 계산치와 측정치는 비교적 잘 일치하였다.

본 연구에서 제안한 안테나는 소형이고 경량이면서 광대역을 필요로 하는 이동통신 및 위성통신 수신용 안테나, 그 외 통신 시스템에 적용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Zhang-Fa Liu, Pang-Shyan Kooi, Le-Wei Li, Mook-Seng Leong, Tat-Soon Yeo, "A Method for Designing Broad-Band Microstrip Antennas in Multilayered Planar Structures," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 47, no. 9, pp. 1416-1420, Sept. 1999.
- [2] B.L. Ooi and C.L. Lee, "Broadband air-filled stacked U-slot patch antenna," Electronics Letters, vol. 35, no. 7, pp. 515-517, April 1999.
- [3] J. R. Kim, H. B. Yoon, "Analysis of the broadband microstrip antenna by the Finite Difference Time Domain Method," Asia Pacific Microwave Conference(APMC'95), pp. 324-327, Oct. 1995.
- [4] M. Kahrizi, T. K. Sarkar, and Z. H. Maricevic, "Analysis of a wide radiating slot in the ground plane of a microstrip line," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-41, pp. 29-37, Jan. 1993.
- [5] D. M. Pozar, "Reciprocity method of analysis for printed slot and slot-coupled microstrip antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 34, pp. 1439-1446, Dec. 1986.
- [6] P. L. Sullivan, D. H. Schaubert, "Analysis of an aperture coupled microstrip antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 34, No.8, pp. 977-984, August 1986.
- [7] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra and J. A. Kong, "Application of Three-Dimensional Finite-Difference Time Domain Method to the Analysis of Planar Microstrip Circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 38, No.7, pp. 849-857, Jul. 1990.
- [8] 장용웅, 신호섭, 김 남, 박익모, 신철재, "FDTD법을 이용한 광대역 전자기 결합 마이크로스트립 안테나의 해석," 한국전자파학회 논문지, vol. 9, No. 4, pp. 473-482, 1998년 8월.

저 자 소 개



張用雄(正會員)

1989년 2월 명지대학교 전자공학과(공학사). 1991년 8월 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1999년 2월 이주대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1994년 3월 ~ 현재 극동정보대학 조교수. [주 관심분야] :

안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석