

# 인쇄회로형 광대역 이중 미앤더드 슬롯 안테나 설계

## A Design of Wideband Printed Dual Meandered Slot Antenna

이윤경 · 임계재\* · 이재용\*\* · 윤현보

Yun-Kyung Lee · Gye-Jae Lim\* · Jae-Yong Lee\*\* · Hyun-Bo Yoon

### 요 약

무선 LAN 단말기 내부에 집적하기에 적합한 초소형 인쇄회로 형태의 안테나 개발을 위해 미앤더드 슬롯 안테나를 연구하였으며, 인쇄회로형 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위하여 이중 미앤더드 슬롯 안테나를 제안하였다. FDTD 방법으로 수치 해석하였으며, 설계된 안테나의 측정치는 해석 결과와 잘 일치하였다. 측정결과, 단일 미앤더드 슬롯 안테나와 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 대역폭(VSWR<2)은 각각 115 MHz 와 164 MHz 이며, 단일 미앤더드 슬롯 안테나와 비교한 결과, 제안한 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 대역폭이 43 % 증가됨을 확인하였다.

### Abstract

This paper designed a compact printed meandered slot antenna which to integrate in wireless LAN and proposed a printed dual meandered slot antenna for improving bandwidth. A printed dual meandered slot antenna is calculated by using the method of FDTD. The calculated results showed good agreement with the measured results. As a result of measurement, the bandwidth(VSWR < 2) of single meandered slot antenna is 115 MHz and the bandwidth of dual meandered slot antenna is 164 MHz. The dual meandered slot antenna bandwidth has been improved to that of 43 % comparing to single meandered slot antenna.

Key words : wideband antenna, printed antenna, meandered slot antenna.

### I. 서 론

21세기를 맞이하여 국내 모빌 컴퓨팅 시장이 확산됨에 따라 이동환경에서 처리할 수 있는 업무 영역이 점점 확대되고 있으며, 특히 휴대폰이 새로운 이동 업무 단말기로 자리잡음에 따라 이 시장이 더욱 활기를 띠고 있다. 따라서 PCMCIA(Personal Computer Memory Card International Association) 및 위치추적단말기 뿐만 아니라 휴대폰에도 적용 가능한 안테나로 소형, 경량이며 경제성을 갖는 상

용화가 가능한 내장형 안테나와 안테나의 물리적 크기를 줄임으로써 발생되는 대역폭, 이득 감소의 문제점을 해결할 수 있는 효율적인 구조와 안테나 장착시 별도 공정이 필요 없는 인쇄회로형 안테나의 개발이 요구되어 왔다.

안테나의 크기를 줄이는 방법으로 유전상수가 높은 기판을 사용하거나<sup>[1]</sup> 단락핀을 이용하는 경우<sup>[2]</sup> 패치 모양을 최적화하여 전기적 길이를 증가시키는 경우<sup>[3]</sup> 그리고 이들 방법을 조합하는 등 여러 가지 방법이 있으나 소형화에 의한 대역폭이 줄어들고,

동국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Dongguk Univ.)

\* 관동대학교 정보통신학과(Dept. of Information & Communication Eng., Kwandong Univ.)

\*\* (주)벨웨이브(Bellwave Co., Ltd)

· 논문 번호 : 20010917-123

· 수정완료일자 : 2002년 1월 10일

이득이 감소하는 단점이 있다. 또한, 최근에는 안테나의 구조 자체를 변화시켜 크기를 줄이면서도 대역폭 및 이득 감소의 문제점을 해결할 수 있는 연구가 진행되고 있다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 안테나의 크기를 줄이기 위하여 직사각형 슬롯을 구부린 단일 미앤더드 슬롯 안테나를 설계하였으며, 안테나의 소형화에 의한 제한된 대역폭을 향상시키기 위하여 두 개의 미앤더드 슬롯이 마주보는 구조인 이중 미앤더드 슬롯 안테나를 제안하였다. 미앤더드 슬롯 아래 면에 마이크로스트립 급전선로를 삽입하여 슬롯 면의 적절한 급전 점과 전자적 결합을 이루게 하였으며, 슬롯의 폭과 길이를 변화시킴으로써 안테나의 공진 주파수를 쉽게 조절할 수 있었다. 특히, PCB 기판 제조시 단말기 내 회로와 안테나를 동시에 제작할 수 있기 때문에 추가 부품 및 제조 공정이 불필요하여 자동화 공정을 통해 대량 생산이 가능하다. 단일 및 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 해석에는 다른 해석방법들보다 다양한 구조의 해석이 용이하고, 광대역 주파수 응답특성을 구할 수 있는 시간영역 유한차분법(Finite Difference Time Domain : FDTD)을 사용하여<sup>[5]</sup> 해석한 후, 제작 및 측정된 결과를 비교하였다.

## II. 미앤더드 슬롯 안테나

무선 LAN 단말기 내부에 집적화하기에 적합한 초소형 안테나는 안테나의 크기가 줄어들수록 발생하는 대역폭의 감소를 개선하기 위하여 마이크로스트립 패치 안테나 대신에 슬롯 안테나를 설계하였으며 급전구조로 microstrip-to-slot transition을 사용하였다.

Microstrip-to-slot transition은 마이크로스트립 선로에 입력된 전·자계를 유전체를 통해 슬롯선로로 손실이 거의 없이 전달하는 방법을 말한다. 이 구조는 마이크로스트립 선로와 슬롯선로가 서로 직교하며, 작고, 구조에 비하여 손실이 적으며, 배열 구조에 적용이 가능한 특징을 가진다.

그림 1은 microstrip-to-slot transition의 기본구조와 등가회로도이다. 마이크로스트립 선로는 윗면의 슬롯의 중심에서  $\lambda_m/4$  길이를 갖는 개방회로이고

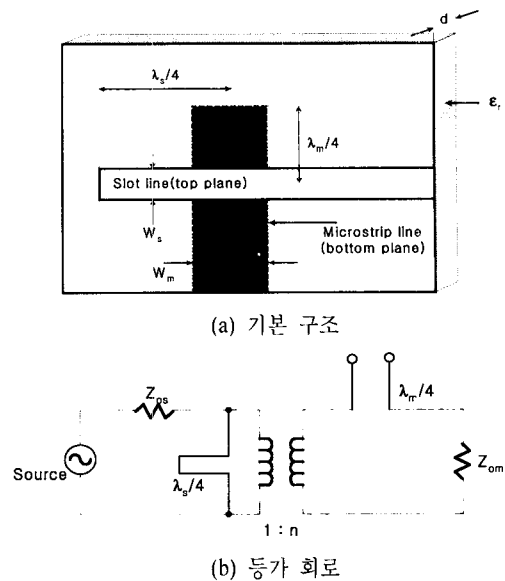


그림 1. Microstrip-to-slot transition의 구조 및 등가 회로

Fig. 1. Configuration of microstrip-to-slot transition and equivalent circuit.

슬롯 선로 역시 아래 면의 마이크로스트립 선로의 중심에서  $\lambda/4$  길이를 갖는다<sup>[6],[7]</sup>.

그림 1(a)에서  $\lambda_m/4$ 의 구형 스테브의 길이는 마이크로스트립 선로의 가장자리 효과에 의한 선로 길이의 변화  $\Delta l$ 를 고려해 주어야 한다. 유전체의 두께가 d이고 유전상수가  $\epsilon_r$ 일 경우 확장선로  $\Delta l$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\Delta l = (0.412d) \frac{\epsilon_r + 0.3}{\epsilon_r - 0.258} \frac{W_m/d + 0.264}{W_m/d + 0.8} \quad (1)$$

$$\text{여기서 } \epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{12d}{W_m} \right)^{1/2}$$

이고,  $W_m$ 은 마이크로스트립 선로의 폭이다.

유전체 내의 파장  $\lambda_m$ 은 실효 유전상수  $\epsilon_c$ 에 의해 다음과 같다.

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_c}} \quad (2)$$

슬롯선로의 관내파장  $\lambda_s$ 는 수식에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.045 - 0.365 \ln \epsilon_r + \frac{6.4 (W_s/d) \epsilon_r^{0.945}}{238.64 - 100 W_s/d}$$

$$-\left[0.148 - \frac{8.81(\epsilon_r + 0.95)}{100\epsilon_r}\right] \ln \frac{d}{\lambda_0} \quad (3)$$

여기서  $W_s$ 는 슬롯 선로의 폭이다.

### 2-1 단일 미앤더드 슬롯 안테나

인쇄회로형 슬롯 안테나의 기본 구조는 얇은 유전체층의 한 면에는 미앤더드 형태의 슬롯을 만들고, 다른 한 면에는 마이크로스트립 선로를 이용하여 슬롯 면의 적절한 급전 점과 전자기적 결합을 이루게 하였다<sup>8)</sup>. 그림 2는 설계 주파수가 2440 MHz 인 단일 미앤더드 슬롯 안테나를 FDTD로 해석하기 위한 계산영역이다.

인쇄회로형 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 FDTD 계산영역에서 사용한 공간 분할 간격은  $\Delta x = 0.2$  mm,  $\Delta y = 0.2$  mm,  $\Delta z = 0.262$  mm이고, 총 격자는 x, y, z 방향으로 각각  $114 \times 210 \times 32$ 이다. 여기서 유전체 두께  $d$ 는 0.7874 mm 이고, 유전체의 유전상수  $\epsilon_r$ 은 4.6이다.

입력신호는 가우시안 펄스를 TEM 여기방법으로 여기 하였고, 여기 면으로부터 슬롯 선로 중심까지 급전선로의 길이는 진행펄스의 안정화 시간을 고려하여  $60\Delta x$ 로 설정하였으며, 시간 간격  $\Delta t$ 는 Taflv에 의해 유도된 Courant의 안정 조건<sup>9)</sup>에 만족 되도록 약 0.333 ps로 하였다. FDTD 계산 후 Fourier 변환시 주파수 영역에서 응답 특성에 대한 해상도를 약 100 MHz로 하기 위하여 반복계산을 수행하였다. FDTD 계산결과, 이 안테나의 반사손실은 그림 3과 같으며 -10 dB를 기준으로 할 때 대역

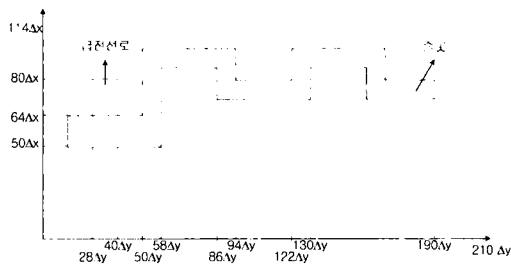


그림 2. 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 FDTD 계산영역  
Fig. 2. The computational region of FDTD for single meandered slot antenna.

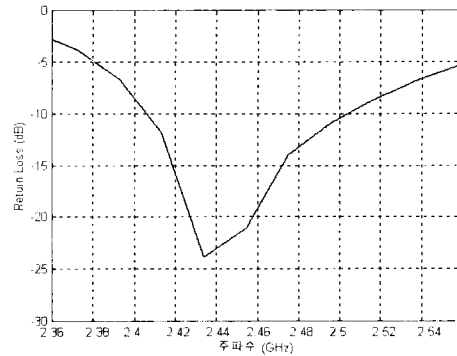


그림 3. FDTD 해석에 의한 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 반사손실

Fig. 3. Return loss of single meandered slot antenna by the FDTD analysis.

폭은 약 100 MHz이다.

### 2-2 이중 미앤더드 슬롯 안테나

안테나가 소형화 됨에 따라 제한된 대역폭을 향상시키기 위하여 두 개의 미앤더드 슬롯이 마주보는 구조인 인쇄회로형 이중 미앤더드 슬롯 안테나를 제안하였으며, FDTD 계산영역은 그림 4와 같다.

앞에서와 마찬가지로 방법으로 FDTD로 해석한 결과, 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 반사손실은 그림 5와 같으며, -10 dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 175 MHz이다.

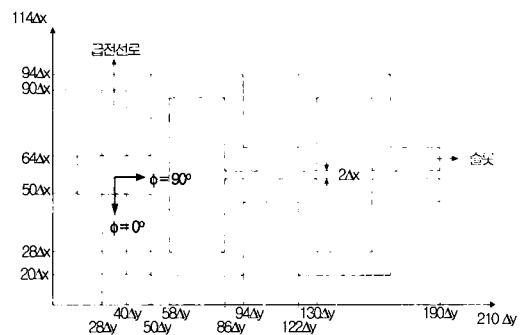


그림 4. 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 FDTD 계산영역  
Fig. 4. The computational region of FDTD for dual meandered slot antenna.

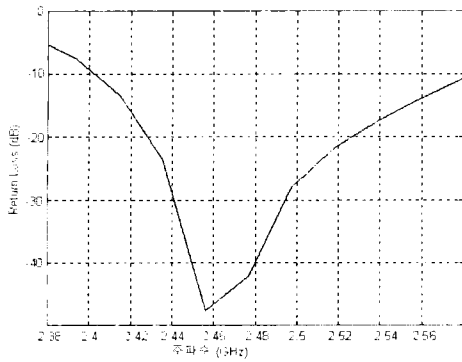


그림 5. FDTD 해석에 의한 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 반사손실

Fig. 5. Return loss of dual meandered slot antenna by the FDTD analysis.

### Ⅲ. 실험 및 결과고찰

#### 3-1 제작 및 측정

FDTD 방법에 의해 최적화된 인쇄회로형 미앤더드 슬롯 안테나를  $\epsilon_r = 4.6$ ,  $h=0.7874$  mm, 동박두께 0.5 oz( $18\mu\text{m}$ )인 기판을 이용하여 사진 감광법으로 안테나를 제작하였으며, 그림 6과 그림 7은 제작된 슬롯 안테나의 양화필름(positive film)이다.

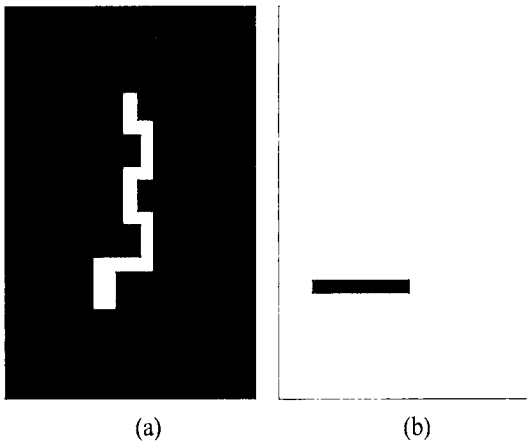


그림 6. 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 양화필름. (a) 복사체(윗면), (b) 급전선로(아랫면)

Fig. 6. The positive film of the single meandered slot antenna. (a) Radiator, (b) Feeder line.

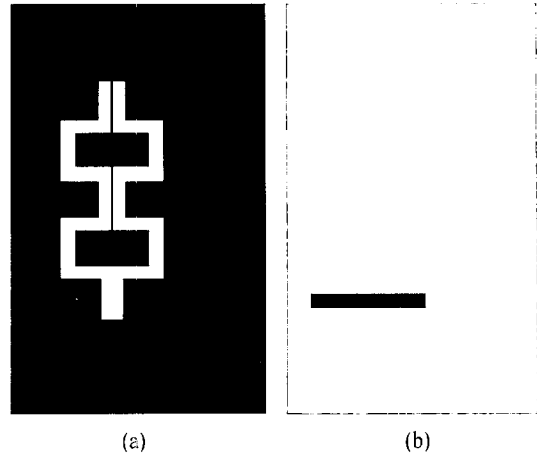


그림 7. 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 양화필름.

(a) 복사체(윗면), (b) 급전선로(아랫면)

Fig. 7. The positive film of the dual meandered slot antenna. (a) Radiator, (b) Feeder line.

제작된 단일 미앤더드 슬롯 안테나와 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 반사손실, 입력임피던스는 HP8722A Vector Network Analyzer로 측정하여 그 결과를 그림 8과 그림 9에서 비교하였다. 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 공진 주파수는 2,446.6 MHz, 대역폭은  $-10$  dB를 기준으로 114.9 MHz이고, 이

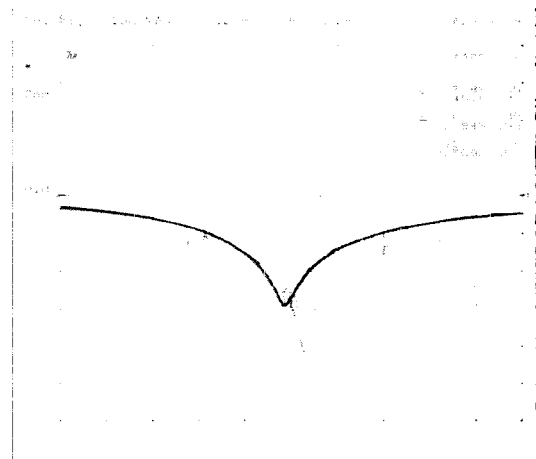


그림 8. 슬롯 안테나의 반사손실 측정값

—— ; 단일 미앤더드 슬롯

- - - ; 이중 미앤더드 슬롯

Fig. 8. The measured return loss of meandered slot antenna.

—— ; single meandered slot

- - - ; dual meandered slot

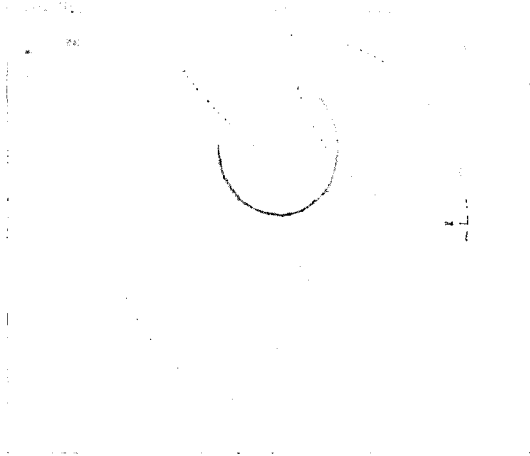


그림 9. 슬롯 안테나의 임피던스 측정값

—— ; 단일 미앤더드 슬롯  
 - - - ; 이중 미앤더드 슬롯

Fig. 9. The measured impedance of meandered slot antenna.

—— ; single meandered slot  
 - - - ; dual meandered slot

중 미앤더드 슬롯 안테나 공진 주파수는 2458.6 MHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 163.8 MHz로, 단일 미앤더드 슬롯 안테나보다 대역폭이 48.9 MHz 증가되었다.

이중 미앤더드 슬롯 안테나의 복사패턴은 무반사실(anechoic chamber)에서 E-패턴, H-패턴을 측정하였다. 그림 10은 안테나의 복사패턴이고, 측정 결과 각각 1.01 dBi, 0.57 dBi의 이득을 얻었다.

### 3-2 결과고찰

단일 및 이중 전자기 결합 미앤더드 슬롯 안테나의 측정결과와 FDTD 방법으로 해석한 결과를 표 1

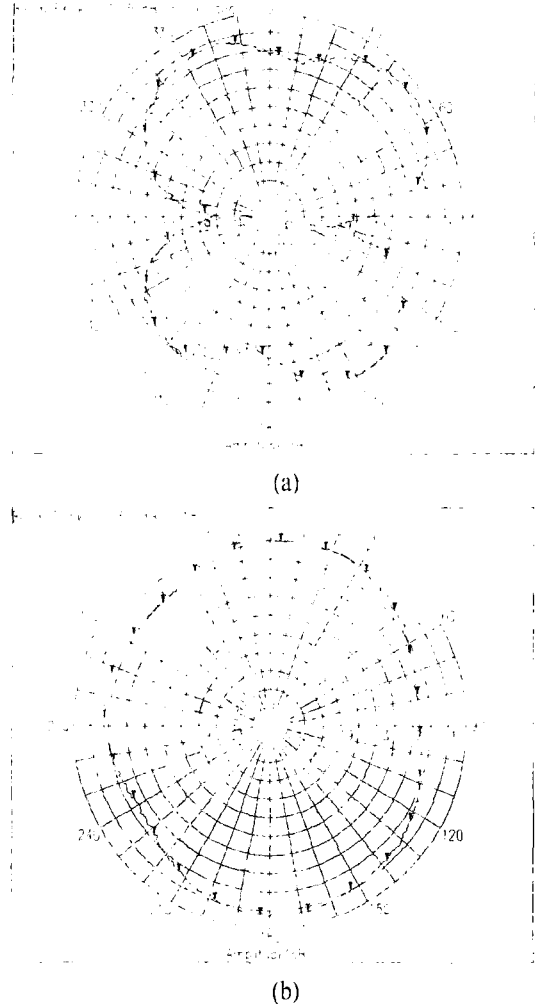


그림 10. 측정된 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 복사 패턴. (a) E-패턴, (b) H-패턴

Fig. 10. The measured radiation patterns of dual meandered slot antenna. (a) E-plane, (b) H-plane.

에서 비교하였다. FDTD 해석값과 측정값의 차이는

표 1. 결과비교

Table 1. Comparison of results.

특성	구 조	단일 미앤더드 슬롯 안테나		이중 미앤더드 슬롯 안테나	
		FDTD해석치	측 정 치	FDTD해석치	측 정 치
중심주파수		2425 MHz	2446.6 MHz	2458 MHz	2458.6 MHz
대역폭(VSWR<2)		100 MHz	114.9 MHz	175 MHz	163.8 MHz
반사손실		-24 dB	-29 dB	-48 dB	-41 dB

안테나를 제작시 전자기 결합을 위한 슬롯면과 마이크로스트립 급전선로의 정확한 위치에서 결합이 어긋남에 따른 오차와 접지면의 크기에 대한 오차로 사료된다. 또한 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 같은 공진 주파수에서 패치의 크기가  $36.8 \times 28.25 \text{ mm}^2 (W \times L)$ 로 제안된 안테나와 유사한 크기를 갖지만, 매우 작은 대역폭을 갖는 단점이 있다.

따라서, 이중 미앤더드 슬롯 안테나가 소형이면서 동시에 가장 넓은 대역폭을 갖음을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 크기가 작고, 광대역 특성을 갖는 무선 LAN용 인쇄회로형 슬롯 안테나를 구현하였다. 안테나의 크기를 줄이기 위하여 미앤더드 슬롯을 이용하였고, 광대역 특성을 얻기 위하여 두 개의 미앤더드 슬롯이 마주보는 형태를 갖는 새로운 구조의 슬롯 안테나를 제안하였다. 또한 이 구조를 해석하는데 FDTD 방법을 사용하였고, 측정치와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

측정결과, 단일 미앤더드 슬롯 안테나의 공진 주파수는 2446.6 MHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 114.9 MHz이고, 이중 미앤더드 슬롯 안테나 공진 주파수는 2458.6 MHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 163.8 MHz로, 이중 미앤더드 슬롯 안테나의 대역폭이 43 % 증가되었으며, 전체 안테나의 크기는  $34 \times 18 \times 0.8 \text{ mm}$ 로 무선 LAN 단말기 내장형 안테나로 적합함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. K. Lo, C. O. Ho, Y. Hwang, E. K. W. Lam and B. Lee, "Miniature aperture-coupled microstrip antenna of very high permittivity", *Electronic Letters*, vol. 33, no. 1, pp. 9-10, 1997.
- [2] K. L. Wong and S. C. Pan, "Compact triangular microstrip antenna", *Electronic Letters*, vol. 33, no. 6, pp. 433-434, 1997.
- [3] H. Y. Wang, J. Simkin, C. Emson and M. J. Lancaster, "Compact meander slot antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 24, no. 6, pp. 377-380, March 2000.
- [4] K. F. Lee and W. Chen, "Advances in Microstrip and Printed Antennas", John Wiley & Sons, 1997.
- [5] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-14, pp. 302-307, May 1966.
- [6] Hung-Yu Yang and Nicolaos G. Alexopoulos, "A dynamic model for microstrip-slotline transition and related structures", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-36, no. 2 pp. 286-293, Feb. 1988.
- [7] Bernd Schuppert, "Microstrip/slotline transitions : Modeling and Experimental investigation", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-36, no. 8, pp. 1272-1282, Aug. 1988.
- [8] Y. H. Choung and W. C. Wong, "Microwave and Millimeter-Wave Slotline Transition Design", *Microwave J.*, vol. 37, no. 3, pp. 77-89, 1994.
- [9] A. Taflove and M. E. Brodwin, "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-23, no. 6, pp. 623-630, Jun. 1975.

[1] T. K. Lo, C. O. Ho, Y. Hwang, E. K. W. Lam and B. Lee, "Miniature aperture-coupled micro

인쇄회로형 광내역 이중 미앤더드 슬롯 안테나 설계

### 이 윤 경

1993년 2월: 서울산업대학교 매체공학과 (공학사)  
1995년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)  
2001년 2월: 동국대학교 전자공학과 박사과정 수료  
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 이동통신

### 임 계 재

1994년 ~ 현재: 관동대학교 정보통신학과 교수

### 이 재 용

1969년 8월 1일생  
1992년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
2000년 3월 ~ 현재: (주) 벨웨이브  
[주 관심분야] 전파 전파 및 산란 해석, 이동 통신, EMI/EMC 등

### 윤 현 보

1979년 ~ 현재: 동국대학교 전자공학과 교수