

5.25GHz 대역 무선 LAN 다중 U 슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작

준희원 윤 중 한*, 학생회원 정 계 택**, 최 현 규**, 정희원 곽 경 섭***

Design and Fabrication of Multiple U-shaped slot Microstrip Antenna for 5.25GHz Band Wireless LAN

Joong-Han Yoon*, Gyuy-Teak Jeong**, Hyun-Gyu, Choi**, Kyung Sup Kwak***

요 약

본 논문에서는 5.15-5.35GHz 대역의 무선 LAN용 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나를 설계하고 제작하였다. 기본 U-슬롯 모양 위에 두 개의 작은 역 U-슬롯 모양을 갖도록 하였으며 접지면과 기판사이에 공기층을 삽입하여 VSWR<1.5에서 충분한 대역을 얻고자 하였다. 설계시 주요 파라미터는 U-슬롯 모양의 길이, 폭, 위치와 공기층의 두께 및 급전위치였으며 최적화된 파라미터를 가지고 실제 제작 및 측정하였다. 제작된 안테나의 측정결과에 의하면, 공진 주파수는 5.25GHz이고, VSWR<1.5에서 7.4%의 대역폭과 4.5dBi의 이득을 얻었다. 방사 패턴은 주파수 대역에서 안정된 패턴을 얻었으며 H-평면과 E-평면의 빔폭은 각각 62°와 50°로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, a multiple U-shaped slot antenna for 5.25GHz~5.35GHz is designed, fabricated, and measured. The prototype consists of U-slot and two invert U-slot. To obtain enough bandwidth, the foam layer is inserted between ground plane and substrate. Important parameters in the design are U-slot length, width, position, airgap length, and feed point. From these parameters optimized, a multiple U-shaped slot antenna is fabricated and measured. The measured results of the antenna are compared with its simulated results. The resonant frequency of the fabricated multiple U-shaped slot antenna is 5.25GHz, the bandwidth for approximately 7.4%(VSWR<1.5) and the gain is 2.9~5.3dBi. The experimental far-field patterns are stable across the pass band. The 3dB bandwidth in H-Plane and E-Plane are 62°and 50°, respectively.

I. 서론

1990년대 초에 유선 LAN의 불편함과 더 편리한 통신을 추구하려는 사람들의 욕구로 무선 LAN이 대두하였다. 무선 LAN은 무선 전송기술을 사용하여 기존의 유선 LAN의 미비점을 보완하고, 설치가 어려운 환경까지 무선 채널을 통해 LAN서비스 영역을 확장시킬 수 있으며 이동성, 휴대성 및 간편성 등의 이점으로 응용분야가 급속히 확대되고 있다.

또한 노트북 컴퓨터와 PDA 등과 같은 휴대용 단말기의 보급이 확산됨에 따라 무선 LAN에 대한 수요가 점차 증가하고 있다[1].

한편, 초고속 무선 서비스에 대한 수요가 증가하면서 최근 5GHz 주파수 대역에 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 차세대 무선 랜 기술인 5GHz 주파수 대역에 대해서는 유럽의 HIPERLAN/2, 미국의 IEEE802.11a 및 일본의 MMAC(Multimedia Mobile Access Communication)등에서 동 대역의

* 인하대학교 IT신기술 연구소(wishyoon@korea.com), ** 인하대학교 전자·전기공학부, ** 인하대학교 정보통신공학부
논문번호: 030131 - 0324, 접수일자: 2003년 3월 24일

표준화 및 관련 기술 연구가 활발히 진행 중에 있으며 또한, 유럽, 미국, 일본 등 일부 국가들은 ITU의 분배 여부와 상관없이 동 대역에 대한 자체적인 주파수 사용 계획을 이미 정하여 시행하고 있다. ITU에서는 WRC-2000 회의에서 5.150-5.350GHz 및 5.470-5.725GHz 대역을 세계 공통으로 무선 랜 등의 고정접속시스템(FAS)용으로 분배를 검토하기로 결정하였고 이에 따라 세계 각국은 WRC-2003 회의에서 5GHz 대역의 주파수가 분배될 것으로 예상하고 무선 랜을 포함한 무선 접속망으로 위의 주파수 대역을 활용할 수 있도록 관련분야 연구에 몰두하고 있는 실정이다. 미국은 초고속 무선접속인프라(NII) 구축을 위한 주파수를 5.150-5.250GHz, 5.250-5.320GHz, 5.725-5.850GHz 대역으로 결정하였으며 유럽의 ERC에서는 초고속 무선 멀티미디어 서비스를 위해서 5.150-5.250GHz(HIPERLAN-1), 5.250-5.350GHz, 5.470-5.725GHz(HIPERLAN-2) 주파수 대역을 배정하였다. 또한 일본에서도 5.250-5.350GHz, 5.725-5.850GHz 대역을 할당하고 있으며 추가 대역을 검토중이다. 이러한 세계적 추세에 부응하여 국내에서도 5GHz 대역을 이용한 무선 접속사업에 대한 요구가 국내 통신 서비스업체와 제조업체에서 점차 증가되고 있는 실정이다[2][3].

무선 LAN용 안테나는 마이크로스트립 안테나가 주로 사용되고 있다. 마이크로스트립 패치 안테나는 소형, 경량, 박형, 저가, 대량생산의 용이성 때문에 3~4%의 좁은 대역폭과 낮은 효율을 갖는다는 단점에도 불구하고 1953년 Deschamps[4]에 의해 제안된 이래로 많은 연구가 진행되고 있다.[5]-[8] 이러한 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 증가시키기 위한 방법으로 두꺼운 기판을 사용하는 방법, 기생 패치를 사용하는 방법, 적층 구조를 사용하는 방법 등 많은 연구가 진행되고 있다[9]-[11]. 그러나 이러한 방법들은 안테나의 부피가 증가하는 단점이 있다. 이 중에서 Huynh와 Lee[12]에 의해서 제안된 기생 소자를 추가하는 방법인 U-슬롯 모양 안테나는 마이크로스트립 패치 안에 U자 모양의 슬롯을 삽입하는 형태로서 패치의 부피를 크게 증가시키지 않으면서 대역폭을 늘릴 수 있어 그 뒤로 많은 연구가 진행되고 있다[13]-[17].

본 논문에서는 새롭게 도입될 것으로 예상되는 5.15GHz에서 5.35GHz 대역의 무선 LAN AP용 마이크로스트립 안테나를 설계, 제작하였다. 동작 주파수 대역에서 좋은 특성을 얻기 위해서 U-슬롯 모양 구조에 공기층과 2개의 역 U-슬롯 모양을 삽입하는

새로운 구조를 제안하였다. 제작의 편의상 동축 급전을 사용하였으며 모든 시뮬레이션은 Ansoft사의 Ensemble 5.0을 이용하여 수행하였다. II장에서는 U-슬롯 안테나의 기본이론과 제안된 안테나의 최적화 과정을 설명하였으며 III장에서는 최적화 된 다중 U-slot 마이크로스트립 안테나의 제작 및 측정결과에 대해 설명하였다.

II. U-슬롯 마이크로스트립 안테나

1. U-슬롯 안테나

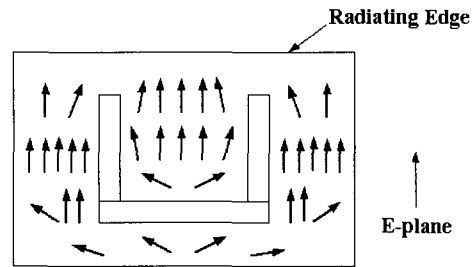


그림 1. U-슬롯에 의해 교란된 전류분포

본 논문에서 적용한 U-슬롯 안테나는 그림 1에서 보는 바와 같이 기본 패치에 U자 모양의 슬롯을 넣은 구조를 갖는데 방사하는 면의 모서리(Radiating Edge)의 밑 부분에 위치한 슬롯은 기본 공진 모드를 발생시키는 전류분포를 교란하여 그 근접 주파수에서 또다른 공진을 일으키게 한다. 이는 사각형 패치의 공진 특성과 결합하여 이중 공진 특성을 얻는 장점을 가지고 있다. 첫 번째 공진은 마이크로스트립 패치에 의해 발생하는 것이고 두 번째 공진은 U-슬롯에 의하여 발생하는 것이다. 이 두 공진 주파수를 전류분포 해석에 의한 수식으로 구하는 방법은 다음과 같다[16].

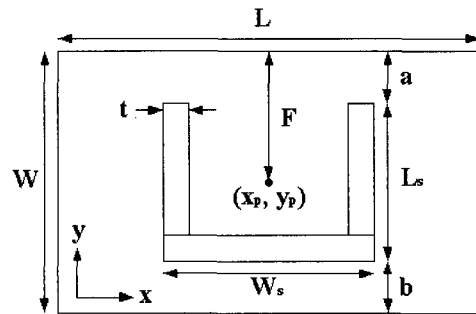


그림 2. U-슬롯 안테나

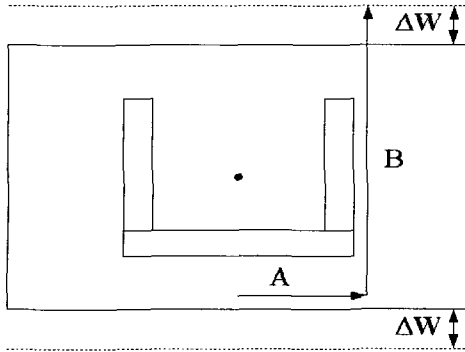


그림 3. 첫 번째 공진을 일으키는 전류통로길이

첫 번째 패치에 의한 공진주파수에 대한 방정식은 그림 2와 그림 3의 해석에 의해서 구할 수 있다. 그림 3은 TM01에서 동작하고 U-슬롯 주위에 전류 분포가 밀집되어 있는 전류분포를 가지며, 공진은 전류통로길이(current path length)가 반파장일 때 발생한다. 여기서 평균전류통로길이(average current path length)는 가장자리 전계(fringing fields)의 영향을 고려하여 A와 B의 합이라고 할 수 있다. 이는

$$A = \frac{W_s}{2} \quad (1)$$

$$B = W + 2\Delta W - \frac{b + \Delta W}{2} \quad (2)$$

$$\frac{\lambda_1}{2} = A + B = \frac{W_s}{2} + \Delta W + 2W - \frac{b + \Delta W}{2} \quad (3)$$

$$f_1 = \frac{c}{2(\frac{W_s}{2} + W + \frac{3}{2}\Delta W - \frac{b}{2})\sqrt{\epsilon_e}} \quad (4)$$

여기서, c = 빛의 속도

$$\Delta W = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \cdot ((L/h) + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258) \cdot ((L/h) + 0.8)} \quad (5)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

이와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

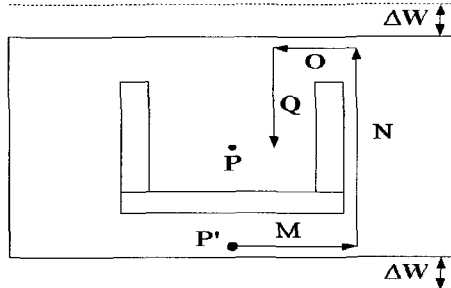


그림 4. 두 번째 공진을 일으키는 전류통로길이

두 번째 U-슬롯에 의해서 나타나는 공진주파수에 대한 방정식은 그림 2와 그림 4를 해석함으로써 구할 수 있다. 그림 4 또한 그림 3과 마찬가지로 TM01에서 동작하고 U-슬롯 주위에 전류분포가 밀집되어 있다. 하지만 그림 4의 U-슬롯에 의한 공진은 전류통로길이가 한파장일 때 발생한다. 여기서 평균전류통로길이는 M, N, O, Q의 합으로 나타낼 수 있고 이는

$$M = \frac{L}{4} \quad (7)$$

$$N = (W + 2\Delta W) - \frac{(a + \Delta W)}{2} - \frac{b + \Delta W}{2} \quad (8)$$

$$O = \frac{L}{4} - \frac{W_s + 2t}{4} \quad (9)$$

$$Q = (F + \Delta W) - \frac{a + \Delta W}{2} \quad (10)$$

$$\lambda_2 = M + N + O + Q$$

$$= \frac{L}{2} + \frac{3W}{2}\Delta W - \frac{W_s}{4} + F - a - \frac{b}{2} + \frac{t}{2}$$

$$f_2 = \frac{c}{\left(\frac{L}{2} + \frac{3W}{2}\Delta W - \frac{W_s}{4} + F - a - \frac{b}{2} + \frac{t}{2}\right)\sqrt{\epsilon_e}} \quad (12)$$

이와 같은 식으로 나타낼 수 있다. 이 식은 직접 시뮬레이션하여 구한 공진과 오차 범위 5% 이내이다[16].

이러한 두 개의 공진 주파수가 서로 이격되어 있으면 이중공진 안테나가 되는 것이고 두 개의 공진 주파수를 거의 일치하도록 가까이 위치시키면 광대역 안테나가 되는 것이다. 일반적으로 이중공진 특성의 안테나는 스미스차트상의 임피던스 궤적에서 대, 소 두 개의 루프가 생성된다.

특히 큰 루프내의 작은 루프의 위치와 크기가 안테나의 임피던스 대역폭을 결정한다. 스미스차트 상의 작은 루프를 가변시키는 파라미터는 사각형의 패치의 폭과 길이, U 슬롯 길이와 모양, 기판의 두께와 비유전율 등이 있다. 또한 방사하지 않는 면(Non-Radiating Edge)에 있는 두 개의 슬롯은 E-평면 방향과 직교하는 전류를 줄여 패치의 정방향(Broadside)으로 발생하는 교차편파를 감소시키는 역할을 한다.

이러한 U-슬롯의 방사패턴 특성은 패치의 정방향으로부터 약 20°정도의 범위 내에서는 교차편파가 거의 없다. 그래서 선형편파를 사용하는 경우에 동일 편파와 교차편파간에 분리가 좋아 개구결합 급전방식을 사용한 배열화를 통해 보다 높은 이득을

연을 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 여전히 좌우로 향하고 있는 전류분포에 의해 H-평면 방사패턴에서는 교차편파의 증가를 예상할 수 있다. 따라서 큰 편파 이격도를 요구하는 시스템에 적용할 때 이러한 점을 고려하여야 한다.

또한 U-슬롯 안테나는 동축 급전 방식과 개구 결합 급전방식을 사용하는데, 일반적으로 동축 급전 방식을 많이 사용한다. 이 방식은 임피던스 정합이 쉽고 스푸어리스 복사가 적으나 패치의 도체면에 물리적으로 접합을 시켜야 하며 대역폭이 좁아지는 단점이 있다. 이러한 단점들은 두꺼운 기판을 사용하거나, 방사소자와 급전소자 사이에 공기층을 삽입시키는 방법에 의하여 극복될 수 있다. 공기층은 보통 비유전율이 1인 foam을 사용하는데 이는 안테나를 표면에 부착할 때 용이하도록 하기 위함이다. 하지만 두꺼운 기판을 사용하면 안테나 효율이 떨어지고 임피던스 정합에 어려움이 따르며, 공기 층의 삽입은 시뮬레이션 시 최적화 과정이 어렵고 안테나 제작 시 정밀성이 요구되는 부분이다.

2. 시뮬레이션을 통한 안테나 최적화

본 논문에서는 실내용 무선 LAN용으로 새롭게 추가될 예정인 5.15~5.35GHz 주파수에서 실용 가능한 역 U-슬롯을 삽입한 다중 U-슬롯 모양의 안테나 구조를 제안하였다. 두 개의 역 U-슬롯은 동작 대역의 특성을 개선하는 역할을 한다. 접지면과 기판 사이에는 대역폭을 개선하기 위해 공기층을 삽입하였으며 실제 제작시 공기층으로는 유전율이 1인 foam을 사용하였다. 설계된 안테나의 구조를 그림 5에 나타내었다. 모든 시뮬레이션은 실내용 무선 LAN 규격에 준하여 선형편파가 되도록 하고 동작 대역에서 정제파비 VSWR<1.5(-15dB)가 되도록 했으며 2~6dBi의 이득과 E-평면과 H-평면 모두 빔폭은 50°이상을 갖는 방사패턴이 나오도록 하였다.

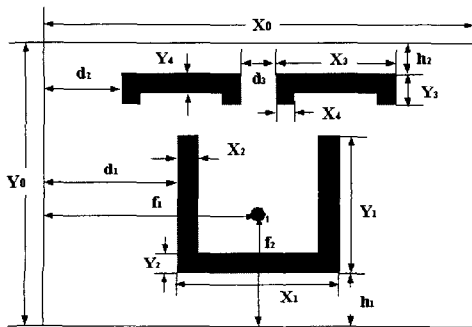


그림 5(a). 설계된 안테나 구조

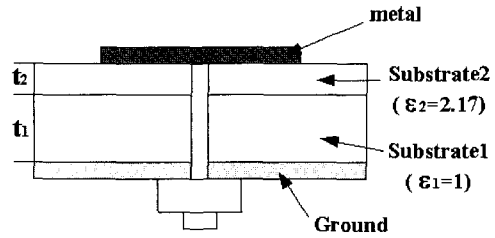


그림 5(b). 측면도 및 급전방법

먼저 $L \approx 0.49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$ 식[2]을 이용하여 패치 크기를 결정하였고 U-슬롯 모양이 삽입되면 이 식을 적용할 때 오차가 있으므로 많은 시뮬레이션을 통해 최적의 패치 크기를 얻었다. 시뮬레이터를 통해 U-슬롯들의 두께, 길이 및 위치의 변화에 따른 반사계수, 동축 급전의 위치변화에 따른 반사계수, 공기층의 두께에 따른 반사계수를 측정해 살펴보고 최적 조건의 안테나를 설계하였다.

첫째, 큰 U-슬롯 모양의 가로 길이 X_1 의 길이에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. X_1 을 13.5mm에서 15mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 6처럼 나타내었다. X_1 의 길이가 13.5mm에서 15mm로 감에 따라 공진 주파수는 왼쪽으로(낮은 주파수 쪽으로) 이동되는 것을 관찰할 수 있었다. 공진 주파수 및 반사계수 특성은 $X_1=14mm$ 에서 가장 좋은 특성을 얻었다.

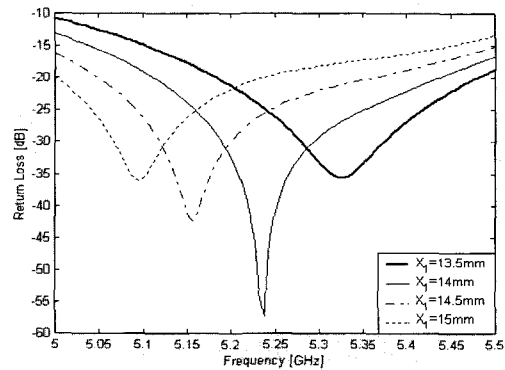


그림 6. 큰 U-슬롯 모양 가로길이 X_1 변화에 따른 반사계수

둘째, 큰 U-슬롯 모양의 너비 변화에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. 큰 U-슬롯 모양의 너비를 1.6mm에서 2.0mm 까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 7처럼 나타냈다. 큰 U-슬롯 모양의 너

비가 증가할수록 주파수 대역은 오른쪽으로 이동되는 것을 관찰할 수 있었다. 두께 1.8mm에서 최적의 공진 주파수와 가장 좋은 반사계수 특성을 얻었다.

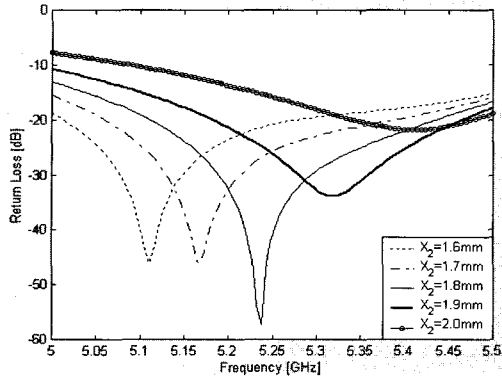


그림 7. 큰 U-슬롯 모양 너비 X_2 변화에 따른 반사계수

셋째, 큰 U-슬롯 모양의 세로 길이 Y_1 의 길이에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. Y_1 을 11.4mm에서 12.4mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다. Y_1 이 11.4mm에서 12.4mm로 증가함에 따라 주파수 대역은 점점 왼쪽으로 이동해 감을 관찰할 수 있었다. 원하는 동작 주파수에서의 최적의 Y_1 값은 12.1mm로 나타났다.

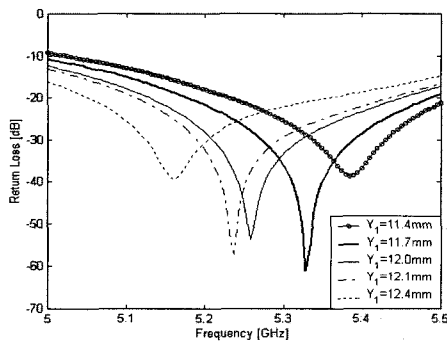


그림 8. 큰 U-슬롯 모양 세로길이 Y_1 변화에 따른 반사계수

넷째, 큰 U-슬롯 모양과 직사각형 패치 사이의 거리 h_1 에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. h_1 을 5mm에서 7mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 9에 나타냈다. h_1 이 5mm에서 7mm로 감에 따라 공진 주파수는 오른쪽으로(높은 주파수쪽으로) 이동되는 것을 관찰할 수 있었다. $h_1=6mm$ 에서 가장 좋은 특성을 얻었다.

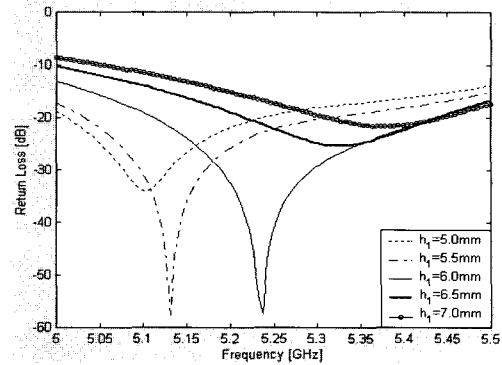


그림 9. 큰 U-슬롯 모양 위치 h_1 변화에 따른 반사계수

지금까지 큰 U-슬롯 모양의 파라미터를 변화시키면서 시뮬레이션 한 결과, 큰 U-슬롯 모양에 관계된 파라미터들은 그 수치가 조금만 바뀌어도 동작 대역이 크게 변하는 것으로 보아 이 파라미터들은 반사계수의 특성에 상당히 민감한 반응을 보임을 확인할 수 있었다. 이는 U-슬롯 모양 안테나에서의 전류분포는 슬롯 주위에 밀집되어 있다는 이론을 뒷받침해주는 결과라 하겠다.

다섯째, 큰 U-슬롯 모양과 마찬가지로 작은 U-슬롯 모양도 두 개의 역 U-슬롯 모양의 가로 길이 X_3 (그림 10), 너비 X_4 (그림 11), 세로길이 Y_3 (그림 12), 직사각형 패치의 윗부분과의 거리 h_2 (그림 13) 및 두 역 U-슬롯 모양의 간격(그림 14)을 변화시켜 가면서 공진 주파수 및 반사계수의 관계를 관찰하였다.

그림 10은 역 U-슬롯 모양의 가로길이 X_3 를 7.5mm에서 13.5mm까지 변화시켜 가면서 공진 주파수의 이동과 반사계수를 관찰하였다. 공진 주파수는 길이가 증가함에 따라 조금씩 왼쪽(낮은주파수 쪽)으로 이동했으며 반사계수 특성은 X_3 가 10.4mm 일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

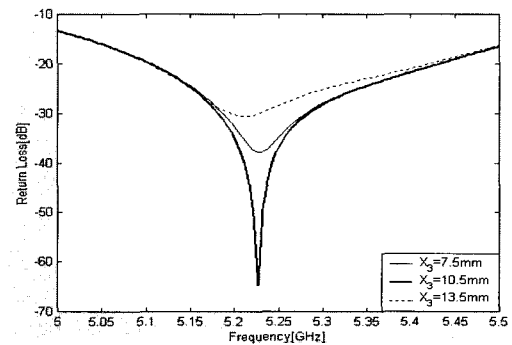


그림 10. 역 U-슬롯 모양의 가로길이 X_3 변화에 따른 반사계수

그림 11은 역 U-슬롯 모양의 너비 X_4 를 1mm에서 2.5mm까지 변화시키면서 공진 주파수와 반사계수를 관찰하였다. 공진 주파수는 너비가 증가할수록 왼쪽(낮은 주파수쪽)으로 움직였으며 반사계수 특성은 1.7mm일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

그림 12는 역 U-슬롯 모양의 세로길이 Y_3 를 2mm에서 4mm까지 변화시켜가며 공진 주파수의 이동과 반사계수를 관찰하였다. 공진 주파수의 이동은 없었고 반사계수의 크기는 작은 변화에도 크게 변화하는 결과를 얻었다. 반사계수의 특성은 Y_3 가 2.7mm 일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

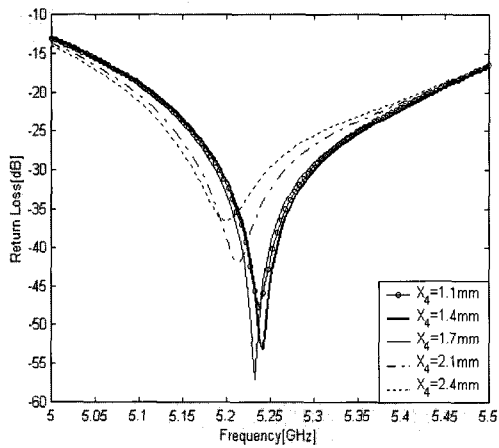


그림 11. 역 U-슬롯 모양의 너비 X_4 변화에 따른 반사계수

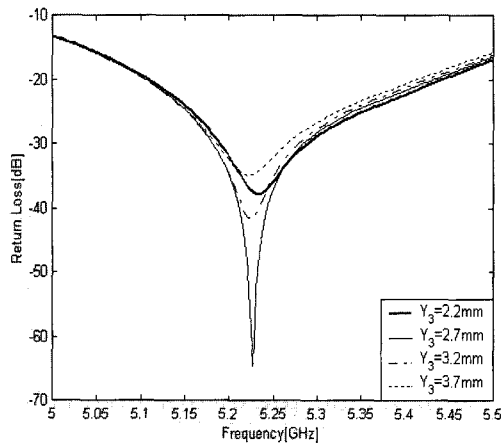


그림 12. 역 U-슬롯 모양의 세로길이 Y_3 변화에 따른 반사계수

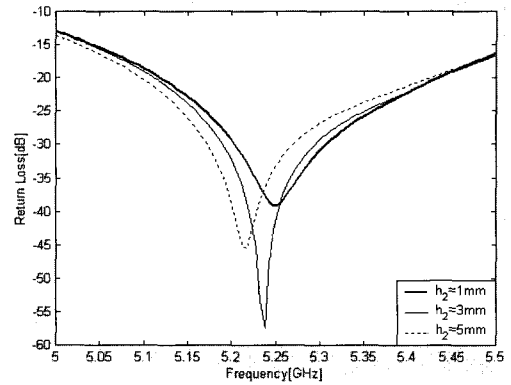


그림 13. 역 U-슬롯 모양의 위치 h_2 변화에 따른 반사계수

그림 13은 두 개의 역 U-슬롯 모양과 패치 윗 부분과의 거리 h_2 의 거리를 1mm에서 5mm까지 변화시켜가며 공진 주파수의 이동과 반사계수를 관찰하였다. 거리가 증가함에 따라 공진 주파수는 왼쪽(낮은 주파수쪽)으로 미세하게 이동하였고 h_2 가 3mm일 때 가장 좋은 반사계수 특성을 보였으며 이보다 멀어지거나 가까워질수록 반사계수의 특성이 나빠지는 결과를 얻었다.

역 U-슬롯 모양간의 간격 d_3 을 1mm에서 5mm까지 변화시키면서 공진 주파수의 이동과 반사계수 특성을 관찰하였다. 공진 주파수는 d_3 가 1mm에서 5mm로 증가함에 따라 오른쪽으로 이동되었고 반사계수 특성은 d_3 가 3mm일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

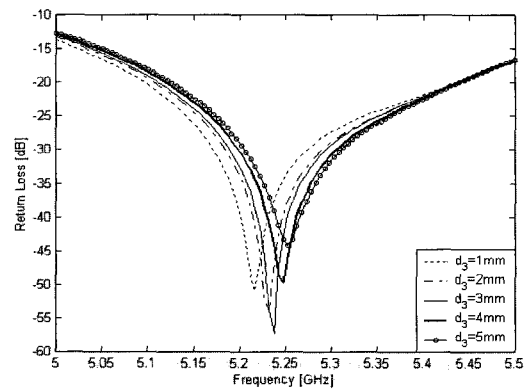


그림 14. 역 U-슬롯 모양 간격 d_3 변화에 따른 반사계수

위에서 살펴본 역 U-슬롯 모양의 파라미터 변화에 따른 반사계수 특성은 수치를 변화시켜도 주파수 동작대역에는 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나

반사계수의 크기는 변화하였으며 이는 전류분포가 큰 U-슬롯 모양에 비해서 역 U-슬롯 모양 주위에 보다 적게 위치한다는 것을 알 수 있다. 하지만 이 미세한 전류분포가 큰 U-슬롯 모양의 전류교란을 희석시키는 역할을 하여 반사계수 특성에는 도움이 된다는 것을 확인할 수 있다.

여섯째, 동축 급전의 위치에 따른 변화를 관찰하였다. $f_1=21.88\text{mm}$ (직사각형 패치의 가로면에서 정 가운데)로 고정시키고 f_2 의 길이를 10.7mm에서 11.7mm까지 늘려가면서 시뮬레이션 한 결과 그림 15와 같이 나타났다. 급전의 위치가 $f_2=10.7\text{mm}$ 에서 11.7mm로 감에 따라 공진 주파수는 왼쪽으로 이동되었고 반사계수 특성은 f_2 가 11.2mm일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

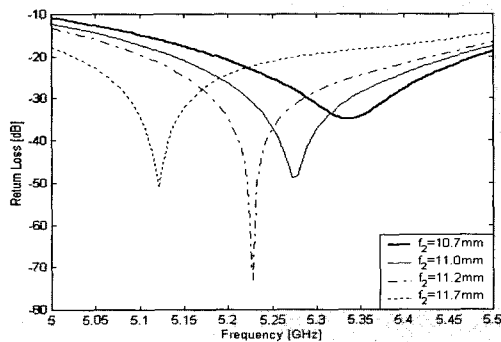


그림 15. 동축 급전의 위치 f_2 변화에 따른 반사계수

마지막으로, 공기층의 두께 변화에 따른 반사계수 특성은 그림 16에 나타내었다. 공기층은 foam으로써 유전율이 1인 것을 사용하였는데, 작은 변화에도 반사계수에 상당히 큰 영향을 미쳤다. 최적의 두께 4.7mm를 기준으로 더 두꺼워지면 공진 주파수는 왼쪽으로 이동되었고, 얇아지면 공진 주파수가 높아진다는 것을 관찰하였다. 공진 주파수가 이동함에 따라 반사계수의 특성에도 좋지 않은 영향을 미쳤다.

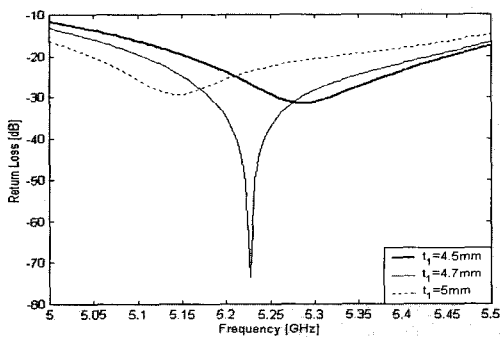


그림 16. 공기층의 두께 t_1 변화에 따른 반사계수

동축 급전의 위치와 공기층의 두께는 다른 파라미터들에 비해 반사계수 특성에 상당히 민감한 반응을 보이는 것을 확인할 수 있었고 이는 안테나 실제 제작 시 가장 주의해야 할 부분이었다.

이러한 과정을 거쳐 얻어낸 최적의 안테나 파라미터를 <표 1>에 나타내었다. 패치 크기는 가로 $X_0=43.76\text{mm}$, 세로 $Y_0=26.55\text{mm}$ 이다. 큰 U-슬롯 모양의 파라미터는 $X_1=14\text{mm}$, $Y_1=12.1\text{mm}$, $X_2=1.8\text{mm}$ 이다. 작은 역 U-슬롯 모양의 파라미터는 $X_3=10.4\text{mm}$, $X_4=1.6\text{mm}$, $Y_2=1.8\text{mm}$, $Y_3=2.7\text{mm}$, $Y_4=1.7\text{mm}$ 이다. 큰 U-슬롯 모양과 패치 하단 경계면까지의 거리 $h_1=6\text{mm}$ 이고, 작은 U-슬롯 모양과 패치 상단 경계면까지의 거리 $h_2=3.1\text{mm}$ 이다. $d_1=14.88\text{mm}$, $d_2=9.98\text{mm}$ 이고 역 U-슬롯 모양의 가로축 간격 $d_3=3\text{mm}$ 이다. 동축 급전의 위치는 급전의 중심에서 패치의 하단 경계면까지의 수직거리로써 $f_1=21.88\text{mm}$ 이고 $f_2=11.2\text{mm}$ 이다. 공기층은 유전율이 1인 foam을 사용하였으며 최적 두께는 $t_1=4.7\text{mm}$ 이다.

표 1. 최적화된 안테나 파라미터(단위 mm)

U-슬롯 모양의 가로축 길이	U-슬롯 모양의 세로축 길이	역 U-슬롯 모양의 가로축 간격	U-슬롯 모양 위치	급전 위치	
X_1 14	Y_1 12.1	d_1 14.88	h_1 6	f_1	21.88
X_2 1.8	Y_2 1.8	d_2 9.98	h_2 3.1	f_2	11.2
X_3 10.4	Y_3 2.7	d_3 3			
X_4 1.6	Y_4 1.7				

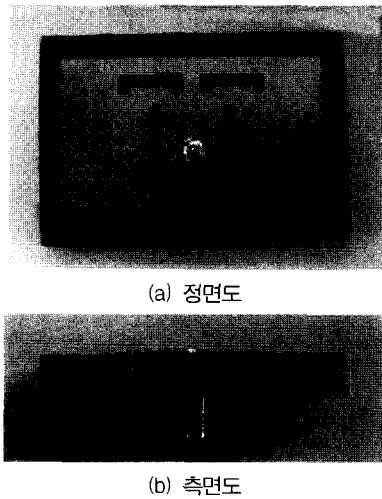
III. 안테나 제작 및 측정

표 1의 조건으로 안테나를 시뮬레이션한 결과 모든 동작대역에서 $VSWR < 1.5$ 로 양호한 특성을 나타내었고, 이득도 동작대역에서 7dBi로 무선 LAN 규격에 합당함을 보이고 있다. 반사계수 특성은 단일 U-슬롯 모양 안테나의 경우, $VSWR < 2(-10\text{dB})$ 대역폭은 넓은 반면 $VSWR < 1.2(-20\text{dB})$ 대역폭은 비교적 협소한 면이 있다. 그러나 두 개의 작은 역 U-슬롯 모양을 추가한 구조의 경우, $VSWR < 2$ 대역폭은 단일 U-슬롯 모양보다 작지만, $VSWR < 1.2$ 대역폭은 5.1GHz에서 5.4GHz까지 약 300MHz의 5.6%를 얻어 단일 U-슬롯 모양보다 넓게 나타남을 관찰할 수 있다. 설계한 안테나의 정재파비는 시뮬레이

선 결과 $VSWR < 1.5$ 에서 5GHz에서 5.5GHz까지 약 10%의 대역폭을 얻었으며 모든 동작대역이 만족하였다. 특히 $VSWR < 1.2$ 에서 300MHz에 해당하는 5.6%의 대역폭을 얻었다.

안테나는 유전율이 2.17, 두께가 1.57mm인 Taconic TIY-5A-0620-C1/C1 기판을 사용하여 제작하였다. 접지면과 기판 사이에는 유전율이 1인 foam을 삽입하였으며, 동축급전 방식으로 제작하였다. 제작된 안테나는 HP 8510C Network Analyzer를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 광운대학교 무반사실에서 방사패턴을 측정하였다.

실제 제작한 안테나의 정면도와 측면도는 그림 17(a)와 그림 17(b)와 같다.



(a) 정면도
(b) 측면도

그림 17. 실제 제작된 무선 LAN용 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나

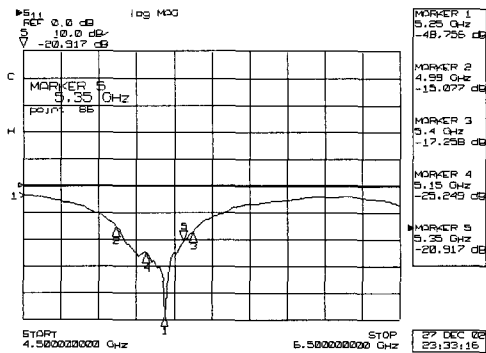
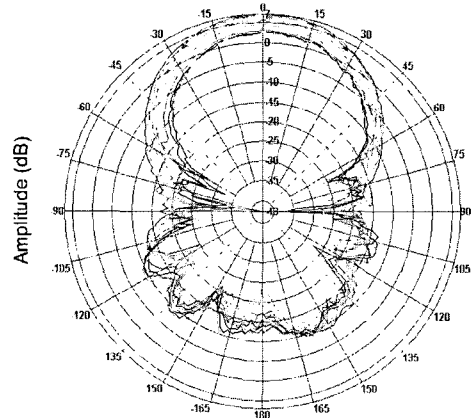


그림 18. 실제 측정된 반사계수

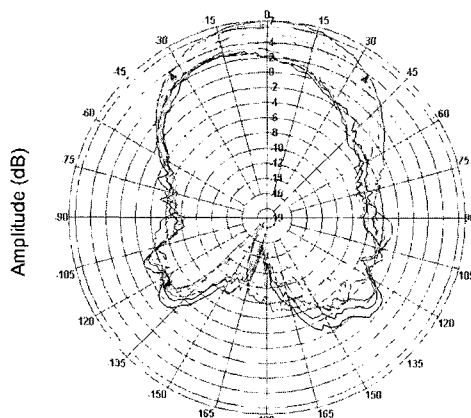
실제 측정된 반사계수는 그림 18과 같다. 초기값은 4.5GHz 최종값은 6.5GHz로 하고 86개의 point를 주어

측정한 결과 공진 주파수는 5.25GHz였으며 그 때 반사계수는 -48.756dB였다. $VSWR < 1.5$ 에서 410MHz(7.4%), 실제 응용이 가능한 $VSWR < 1.2$ (-20dB)에서 310MHz(5.8%)의 대역폭을 얻었으며, 5.15~5.35GHz 대역 모두 $VSWR < 1.2$ 를 만족하였다.

방사패턴은 E-평면과 H-평면에서 각각 5.0에서 5.5GHz까지 0.05GHz 간격으로 5.0, 5.05, 5.10, 5.15, 5.20, 5.25, 5.30, 5.35, 5.40, 5.45, 5.50GHz에서 측정하였다. 실제 측정된 E-평면과 H-평면의 방사패턴은 그림 19(a)와 그림 19(b)와 같다. 5.25GHz에서 E-평면과 H-평면의 3-dB 빔폭은 각각 50°와 62°로 나타났다. E-평면에서의 패턴 기울어짐 현상은 E-평면을 기준으로 하는 두 개의 역 U-슬롯 모양 모양 위에 분포하는 전류분포와 큰 U-슬롯 모양 아래에 분포하는 전류분포가 대칭적인 모습을 보이지 않는 데서 발생한 것이라고 판단된다.



(a) E-평면



(b) H-평면

그림 19. 측정된 방사패턴

IV. 시뮬레이션값과 측정값과의 비교

그림 20에는 시뮬레이션 한 반사계수와 측정된 반사계수를 함께 나타내었다. 시뮬레이션 시엔 $VSWR < 1.5$ 의 동작대역을 충분히 얻기 위해 공진 주파수를 5.23GHz로 하였는데 실제 측정결과는 공진 주파수가 5.25GHz로 나타났으며, $VSWR < 1.5$

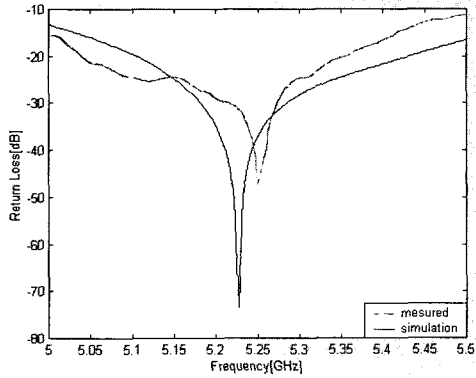


그림 20. 시뮬레이션 결과와 측정값의 반사계수 비교

대역폭은 시뮬레이션상에서 약 550MHz의 10%이고 측정결과는 약 410MHz의 7.4%로 나타났다. 또한 시뮬레이션과 측정결과 모두 동작대역인 5.15~5.35GHz 영역에서 실제 적용이 가능한 $VSWR < 1.2$ (-20dB) 이하를 만족하여 실제 응용 가능할 것으로 보인다.

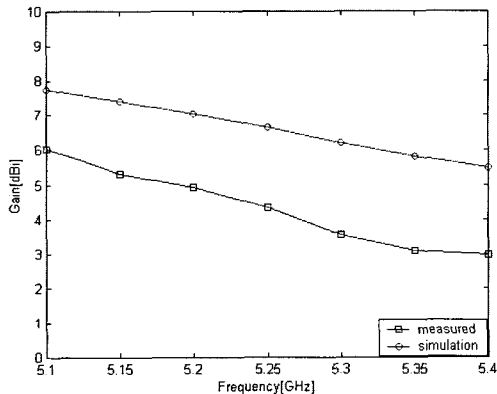
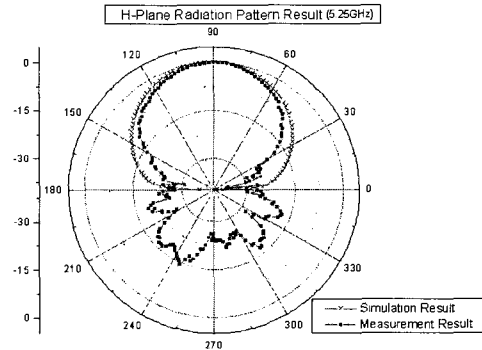


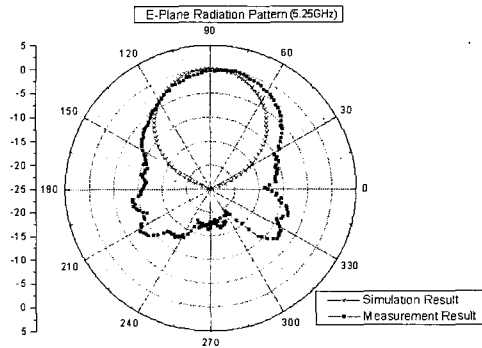
그림 21. 시뮬레이션 결과와 측정값의 이득 비교

그림 21는 이득에 대한 시뮬레이션 결과와 측정

된 결과를 함께 나타내었다. 시뮬레이션상의 이득값은 5.5dBi에서 7.8dBi로 실내용 무선 LAN 안테나에서 요구하는 이득보다 높게 나왔으나 실제 제작된 안테나의 이득은 2.9~5.3dBi로 실내용 무선 LAN 안테나에서 요구하는 이득에 대한 요구조건 (spec)을 만족하였다.



(a) E-평면



(b) H-평면

그림 22. 시뮬레이션 결과와 측정값의 방사패턴 비교

그림 22는 5.25GHz에서 시뮬레이션 결과와 측정된 결과의 E-평면과 H-평면에 대한 방사패턴을 비교하여 나타낸 것이다. 3-dB 빔폭은 E-평면에서 50° H-평면에서 62°로 측정되었다.

그림 20, 그림 21에 나타난 반사계수와 이득의 측정결과와 시뮬레이션 결과의 오차 및 그림 22의 방사패턴 측정 결과에서 보이는 후엽은 다음과 같은 요인에 의해 발생된 것으로 고찰될 수 있다. 첫째, Ensemble5.0 시뮬레이터상의 안테나 패치는 무한 크기의 접지면과 무한 크기의 기판 위에 존재하는 반면 실제 제작된 안테나는 유한 크기의 접지면과 유한 크기의 기판위에 존재하여 가장자리 효과 (fringing field)에 의해 반사 계수 및 이득의 손실을

가져왔다. 둘째, 접지면과 급전의 정확한 접합이 이루어지지 않아 접지면 밑으로 흘러나가는 전류 누수 현상에 의하여 반사계수의 손실 및 방사패턴상의 후엽이 이 발생한 것으로 판단된다. 셋째, 정밀성이 요구되었던 급전점의 위치와 foam의 두께 등에서 발생한 제작상의 오차에 의해서도 시뮬레이션 결과와 측정결과와의 차이점이 생겼을 것으로 보인다. 하지만 측정된 반사계수, 이득, 방사패턴 모두 실내용 무선 LAN용 안테나 요구조건(spec)을 만족하여 실제 적용 가능할 것으로 보인다.

V. 결론

본 논문은 무선 통신의 수요 증가에 따라 IEEE 802.11에서 무선 LAN의 사용주파수로 논의되는 5.15~5.35GHz까지의 영역을 동작주파수로 하여 다중 U-슬롯 모양에 공기층을 추가한 새로운 구조를 설계하고 제작하였다. 모든 설계는 Ensemble 5.0을 사용하여 시뮬레이션을 통하여, 파라미터값을 변화시켜 최적화된 값을 얻었으며, 특히 U-슬롯 모양, 공기층 및 급전 위치에 민감한 반응을 보인다는 것을 알 수 있었다. 제작된 안테나는 5.25GHz의 공진 주파수에서 4.5 dBi의 이득을 얻었으며 3dB 빔 폭은 E-평면과 H-평면에서 각각 62°와 50°였다. 측정 결과 본 논문에서 제안한 안테나는 실제 적용 가능할 것이라고 판단된다. 향후 개구면 급전구조 방식을 이용한 배열을 통해 보다 높은 이득을 얻는 실외용 안테나에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 광병렬, 무선 LAN 서비스 활성화 방안 (www.ktoa.or.kr/forum/data)
 [2] 오승곤, "국내의 5GHz 대역 주파수 이용 동향, 한국통신학회지, Vol. 19, No. 5, pp 54 - 62, 2002.
 [3] 송홍중, 김동구, "5GHz 대역 무선 랜 도입을 위한 전파간섭 영향 및 데이터 전송률 측정, 한국통신학회 논문지, Vol. 27, No. 9B, 864-875, 2002.
 [4] G. A. Deschanps, "Microstrip Microwave Antenna," 3rd USAF Symposium on Antenna, 1953
 [5] D. M. Pozar, "Input Impedance and Mutual

Coupling of Rectangular Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol 30, pp.1191-1196, 1982.
 [6] P. Perlutter, S. Shtrikman, and D. Treves, "Electric Surface Current Model for the Analysis of Microstrip Antennas with Application to Rectangular Elements," *IEEE Trans. Antennas. Propagat.*, Vol 33, pp. 301-311, 1985.
 [7] E. H. Newman and D. Forrai, "Scattering from a Microstrip Patch," *IEEE Trans. Anennsa Propagat.*, Vol AP-35, No.3, March, pp.245-251, 1987.
 [8] W. C. Chew and Q. H. Liu, "Resonance Frequency of a Rectangular Microstrip Patch," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol 36, pp.1045-1988, 1988.
 [9] K.C. Gupta and A. Benalla, *Microstrip Antenna Design*, Artech House, Norwood, MA, 1988.
 [10] R. Q. Lee, K. F. Lee, and J. Bobinchak, "Characteristic of two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antennas," *Electron. Lett.*, 1987, 23, pp. 1070-1072.
 [11] M. Khodier and C. G. Christodoulou, "A technique to further increase the bandwidth of stacked microstrip antenna," *IEEE APS-2000*, Vol. 3, pp.1394-1397, 2000.
 [12] Huynh, T., and Lee, K. R., "Single-layer single-patch wideband microstrip antenna," *Electron. Lett.*, 31, pp.1310-1311, 1995.
 [13] M. Sand, "A compact dual-broadband microstrip having both stacked and planar parasitic elements," in *Proc. IEEE Int. Antenna and Propagation Symp. Dig.*, Vol. 1, Baltimore, MD, pp. 6-9, 1996.
 [14] C. L. Mak, K. M. Luk, and K. F. Lee, "Wideband L-Strip fed microstrip antenna," in *Proc. IEEE Int. Antenna and Propagation Symp. Dig.*, Vol. 2 Orlando, FL, pp. 1216-1219, 1999.
 [15] R. Bhalla and L.Shafal, "Resonance

