

## 5.25GHz 대역의 무선 LAN을 위한 4개의 L-슬롯모양의 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작

준희원 이원중\* 정희원 윤중한\*\*, 강석엽\*, 이화춘\*\*\*, 박효달\*

### Design and Fabrication of four L-slotted Microstrip Antenna for 5.25GHz Band Wireless LAN

Won-Jong Lee\* Associate Member, Joong-Han Toon\*\*, Suk-Youb Kang\*, Hwa-Choon Lee\*\*\*, Hyo-Dal Park\* Regular Members

#### 요 약

본 논문에서는 5.15-5.35GHz 대역의 무선 LAN용 L-슬롯 마이크로스트립 안테나를 설계 제작하였다. 정사각 패치에 사이즈 감소를 위해 4개의 L-슬롯을 갖도록 하였으며 접지면과 기판사이에 공기층을 삽입하여 VSWR<1.5에서 적절한 대역을 얻고자 하였다. 설계시 주요 파라미터는 L-슬롯의 길이, 폭, 위치와 공기층의 두께 및 급전위치였으며 최적화된 파라미터를 가지고 실제 제작 및 측정하였다. 제작된 안테나의 측정결과는 다음과 같다. 공진 주파수는 5.25GHz이고, VSWR<1.5에서 5%의 대역폭과 8~9dBi의 이득을 얻었다. H-평면과 E-평면에서 각각 69°와 62°로 나타났다.

#### ABSTRACT

In this paper, L-shaped slot antenna for 5.15GHz~5.35GHz is designed, fabricated, and measured. The prototype consist of four L-shaped slot. To obtain suitable bandwidth, the form layer is inserted between ground plane and substrate. Important parameters in the design are four L-slot length, width, position, air-gap height, and feed point position. From these parameters optimized, a four L-shaped slot antenna is fabricated and measured. The measured results of the antenna are obtained as follows results. The resonant frequency of the fabrication four L-shaped slot antenna is 5.25GHz, bandwidth for approximately 5%(VSWR<1.5) and the gain is 8~9dBi. The experimental far-field patterns are stable across the pass band. The 3dB bandwidth in H-Plane and E-Plane are 69°and 62°, respectively.

#### I. 서론

정보화 사회로의 발전과 더불어 컴퓨터의 발달과 가격하락은 회사, 연구소, 학교, 가정 등에 개인용 컴퓨터가 널리 보급 되도록 하였고 그 활용분야도 점점 넓어져가고 있다. 특히, 각 컴퓨터를 네트워크로 연결하여 조직내의 다양한 정보를 공유하기 위한 LAN(Local Area Network)의 보급도 급속하게 이루어지고 있다.

최근 notebook PC 와 PDA 등과 같은 휴대용 단말기의 보급이 확산됨에 따라 이들을 장소에 상관 없이 네트워크에 연결시키는 수단으로 휴대성 및 간편성 등의 이점을 가지는 무선 LAN의 응용분야가 확산되고 있다. 무선 LAN은 무선 전송기술을 사용하여 기존의 유선 LAN에서의 미비점을 보완하고, 유선 LAN의 설치가 어려운 환경까지 무선 채널을 통해 LAN을 확장시킬 수 있다.

또한 보다 빠른 데이터 송수신을 원하는 소비자

\* 인하대학교 전자공학과(mozilra1@korea.com)  
논문번호: 030313-0722, 접수일자 : 2003년 7월 22일

들의 욕구가 증대됨에 따라서 기존의 IEEE 802.11b의 2.4GHz~2.4835GHz 대역보다 높은 주파수 일 때 높은 데이터 전송율을 가지며 넓은 대역폭을 사용할 수 있다는 점에서 5GHz대역의 무선 LAN이 고려되고 있으며 보다 더 큰 이유는 2.4GHz대역은 전자렌지, 가정용 조리기기, 의료용 설비, 기타 무선 기기가 공존하기 때문에 혼신의 가능성이 없는 대역을 찾게 된 것이다.[1][2][3]

따라서 휴대용 단말기와 액세스 포인트(AP)간 통신을 위한 무선 LAN 카드와 더불어 저렴한 비용과 대량생산, 경량화, 그리고 초고주파 집적회로에 함께 구현 할 수 있는 마이크로 스트립 패치 안테나가 많이 사용되고 있다.[4] 마이크로 스트립 안테나는 두께가 얇고 평면과 비 평면에 부착이 용이하고 현대 프린트 회로 기술을 이용하면 제작이 간편하고 값이 싸며, MMIC 설계에 적합하다. 그러나 저효율, 저 전력, 높은 Q로 인하여 좁은 대역폭, 편파 특성저하 등의 단점이 존재하고 빔폭이 넓으며, 급전 선에서 원하지 않는 방사가 발생한다.[5]

따라서 단점을 개선하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있고, 여러 가지 방법들이 제시되어 왔다. 이들 방법 중에는 유전 상수가 작고 두께가 두꺼운 기판을 사용하거나 기생 결합된 소자를 이용해 대역폭을 개선하는 방법 등이 제시되었으나, 기존에 제시된 위의 방법들은 안테나의 크기가 커지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근 안테나 구조 자체를 변화시켜 대역폭을 넓히는 방법들이 제시되어 왔다. 또한 단일 방사 소자로 비교적 넓은 광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 슬롯 안테나도 이와 같은 최근의 흐름에 따라 보다 넓은 대역폭을 갖게 하는 연구가 진행되고 있다.[6][7]

일반적인 마이크로스트립 슬롯 안테나의 특징은 슬롯에 의한 이중 공진을 야기 시키거나 광대역 효과를 얻을 수 있다. 슬롯 안테나의 가장 큰 장점은 전력공급 네트워크로부터의 보다 적은 절연 및 복사(방사열)이 무시할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 새롭게 도입될 것으로 예상되는 5.15GHz에서 5.35GHz 대역의 무선 LAN AP용 마이크로 스트립 안테나를 설계 제작하였다. 통신 시스템에서 사이즈의 감소는 매우 중요하기 때문에 목적을 사이즈 감소에 맞추었다.[8] 동작 주파수대역에서 좋은 특성과 사이즈 감소를 위해 4개에 L-모양 슬롯을 삽입하는 새로운 구조를 제안하였다.[9] L-slot 구현으로 인해 일반적인 사각 패치 안테나

보다 14.4% 사이즈 감소를 가져왔고, 제작의 편의상 동축 급전을 사용하였으며 모든 시뮬레이션은 Ensemble을 이용하여 수행하였다. II장에서는 4개의 L-Shape 슬롯이 삽입된 마이크로스트립 안테나의 설계 방법을 제시하고 각각 파라미터들의 분석에 대한 설명을 제시할 것이다. III장에서는 4개에 L-슬롯 모양을 삽입하여 최적화 된 마이크로스트립 안테나의 제작 및 측정결과에 대해 설명하였다.

## II. 4개의 L-shape 슬롯 안테나 설계

본 논문에서는 실내용 무선LAN용으로 새롭게 추가될 예정인 5.15GHz~5.35GHz 주파수에서 실용 가능한 4개의 L-shape 슬롯 안테나를 제안하였다. 접지면과 기판 사이에는 대역폭을 개선하기 위해 공기층을 삽입하였으며 실제 제작시 공기층으로는 유전율이 1인 foam을 사용하였다. 설계된 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 모든 시뮬레이션은 무선 LAN 규격에 준하여 선형편파가 되도록 하고 동작 대역에서 정재파비 VSWR<1.5가 되도록 했으며 7.5~8.5dBi의 이득과 H-평면과 E-평면 모두 빔폭 50. 이상을 갖는 방사패턴이 나오도록 하였다.

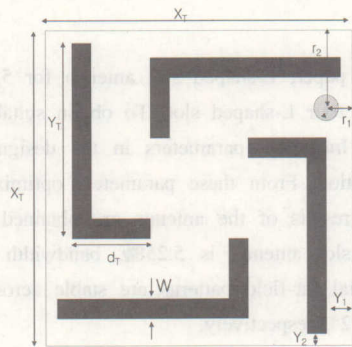


그림 1.(a) 설계된 안테나 구조  
Figure 1.(a) Top view

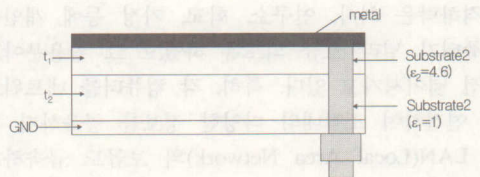


그림 1.(b) 측면도 및 급전방법  
Figure 1.(b) Side view

먼저 양호한 방사 효율을 얻기 위해 일반적인 마이크로스트립 패치 크기를 결정하였고 4개의 L-슬롯 모양이 삽입되어 적용하였을 때 생기는 오차를 많은 시뮬레이션을 통해 최적의 패치 크기를 얻었다. L-슬롯의 두께 길이, 위치변화에 따른 반사계수 및 공기층의 두께에 따른 반사계수를 시뮬레이션 데이터를 통해서 최적 조건의 수치를 얻었다.

첫째 L-슬롯 모양의 길이 YT 길이에 따른 반사계수에 변화를 살펴보았다. YT를 9.25mm에서 10.25mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 2처럼 나타내었다. YT의 길이가 9.25mm에서 10.25mm로 감에 따라 공진주파수는 왼쪽으로(낮은 주파수쪽으로) 이동되는 것을 관찰할 수 있었다. 공진주파수 및 반사계수 특성은 YT=9.75mm에서 가장 좋은 특성을 얻었다.

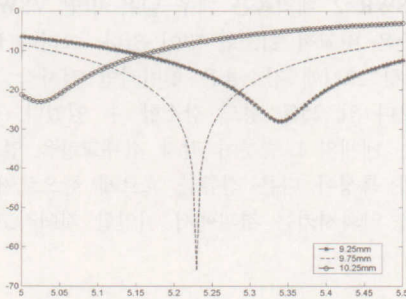


그림 2. L-슬롯 길이 변화에 따른 반사계수  
Figure 2. Influence of the length of L-shaped slot

둘째, L-슬롯 모양의 너비 변화에 따른 반사계수를 살펴보았다. 4개의 L-슬롯 모양의 너비 W를 0.5mm에서 1.5mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 3처럼 나타냈다. 4개의 L-슬롯 모양의 너비(W)가 증가할수록 주파수 대역은 왼쪽으로 이동되는 것을 관찰할 수 있었다. 두께 1mm에서 최적의 공진주파수와 가장 좋은 반사계수 특성을 얻었다.

셋째, 4개의 L-슬롯 모양의 길이 dT의 길이에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. dT을 3mm에서 5mm까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타내었다. dT을 3mm에서 5mm로 증가함에 따라 주파수 대역은 점점 왼쪽으로 이동해 감을 관찰할 수 있었다. 원하는 동작 주파수에서의 최적의 dT 값은 4mm로 나타났다.

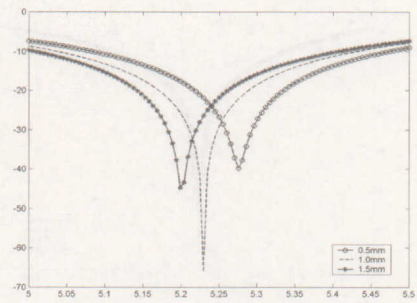


그림 3. L-슬롯 너비 변화에 따른 반사계수  
Figure 3. Influence of the width of L-shaped slot

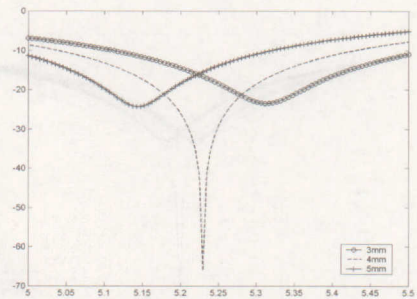


그림 4. L-슬롯 dT 변화에 따른 반사계수  
Figure 4. Influence of the dT of L-shaped slot

넷째, 동축급전의 위치에 따른 변화를 관찰하였다. r1=1.35mm로 고정시키고 r2의 길이를 3.7mm에서 3.9mm까지 늘려가면서 시뮬레이션 한 결과 그림 5와 같이 나타났다. 급전의 위치가 r2=3.7mm에서 3.9mm로 감에 따라 공진주파수는 왼쪽으로 이동되었고 반사계수 특성은 r2가 3.85mm일 때 가장 좋았다.

마지막으로, 공기층의 두께 변화에 따른 반사계수 특성은 그림 6에 나타내었다. 공기층은 foam로써 유전율이 1인 것을 사용하였는데, 작은 변화에도 반사계수에 상당히 큰 영향을 미쳤다. 최적의 두께 4.0mm를 기준으로 더 두꺼워지면 공진주파수는 왼쪽으로 이동되었고, 얇아지면 공진주파수가 높아진다는 것을 관찰하였다. 공진주파수가 이동함에 따라 반사계수의 특성에도 좋지 않은 결과를 보였다.

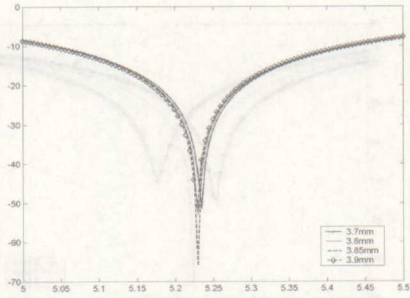


그림 5. 동축 급전의 위치  $r_2$  변화에 따른 반사계수

Figure 5. Influence of the position of the feed on the Return Loss

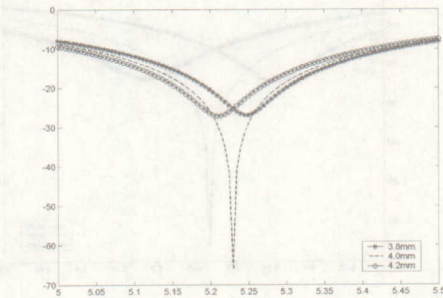


그림 6. 공기층의 두께  $t_1$  변화에 따른 반사계수  
Figure 6. Influence of the thickness of the foam layer on the Return Loss

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

이러한 과정을 거쳐 얻어낸 최적의 안테나 파라미터를 <표 1>에 나타내었다. 패치 크기는 가로  $XT=15.7\text{mm}$ , 세로  $YT=15.7\text{mm}$ 로 정사각형이다. 4개의 L-슬롯의 파라미터는 세로  $YT=9.75\text{mm}$ ,  $dT=4\text{mm}$ ,  $W=1\text{mm}$  이다. L-슬롯과 패치 가로 경계면까지의 거리  $Y1=1.35\text{mm}$  이고, 패치 세로계면까지의 거리  $Y2=0.6\text{mm}$ 이다. 동축 급전의 위치는 패치의 우측으로부터  $r1=1.35\text{mm}$   $r2=3.85\text{mm}$  이고 공기층은 유전율이 1인 foam을 사용하였으며 최적 두께는  $t1=4\text{mm}$  이다.

<표 1> 최적화된 안테나 파라미터 (단위 mm)

L-슬롯의 길이	L-슬롯의 간격	L-슬롯의 위치	급전 위치
$Y_T$ 9.75	$W$ 1	$Y_1$ 1.35	$r_1$ 1.35
$d_T$ 4		$Y_2$ 0.6	$r_2$ 3.85

### III. 시뮬레이션 결과 해석

<표 1>의 조건으로 안테나를 설계하여 시뮬레이션한 반사계수와 이득은 그림 7과 같다. 시뮬레이션 결과 모든 동작대역에서  $VSWR < 1.5$ 로 적절한 특성을 나타내었고, 이득도 동작대역에서 8dBi로 무선 LAN 규격에 합당함을 보이고 있다. L-슬롯 안테나는  $VSWR < 2$  대역폭은 매우 넓은 반면  $VSWR < 1.5$  대역폭은 비교적 협소한 면이 있다. 그러나 L-슬롯에 의한 크기에 감소율은 일반적인 정사각 패치안테나보다 약 25% 정도 감소할 수 있었다. 이러한 결과는 네개의 L-슬롯이 각각 전류교란을 일으키는 전류와 특성이 다른 전류를 흐르게 함으로써 전류교란을 약화시키는 결과에서 기인한 것이라고 해석된다.

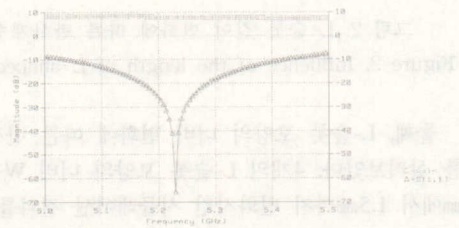


그림 7. 시뮬레이션상의 반사계수 및 이득  
Figure 7. Simulated return loss and gain against frequency

설계한 안테나의 정재파비는 그림 8과 같다. 시뮬레이션 결과  $VSWR < 1.5$ 에서 5.1GHz에서 5.36GHz까지 약 5%의 대역폭을 얻었으며 제작된 안테나는  $VSWR < 1.5$ 에서 5.24GHz에서 5.50GHz까지 약 5.9%의 대역폭을 얻었다.

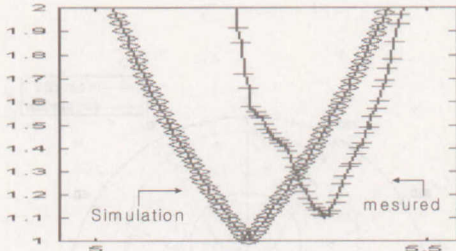


그림 8. 제작과 시뮬레이션상의 정제파비  
Figure 8. Measured and Simulated VSWR against frequency

방사패턴의 시뮬레이션한 결과는 그림 9와 같다.

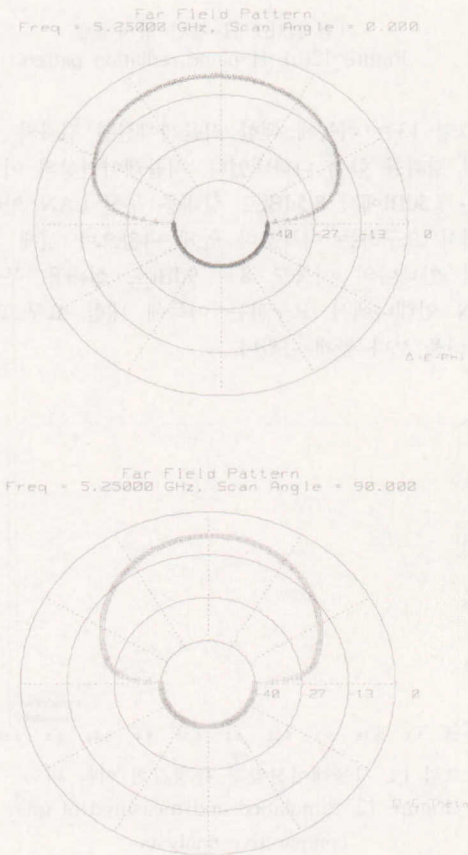


그림 9. 시뮬레이션상의 방사패턴  
Figure 9. Simulated E-Plane and H-Plane radiation pattern

#### IV. 안테나 제작 및 측정

안테나는 유전율이 4.6, 두께가 1.6mm인 FR-4 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 10-a와 그림 10-b와 같다.

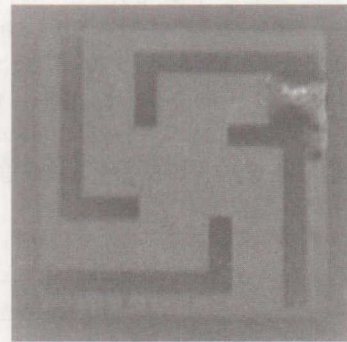


그림 10(a). 안테나 정면도  
Figure 10(a). Top View



그림 10(b). 안테나 측면도  
Figure 10(b). Side view

실제 측정한 반사계수는 그림 11과 같다. 초기값은 5.0GHz 최종값은 5.6GHz로 하고 86개의 point를 주어 측정한 결과 시뮬레이션에서의 공진주파수는 5.22GHz에서 약 -65dB 공진주파수를 갖은 반면 실제 제작된 안테나의 공진주파수는 5.35GHz였으며 그 때 반사계수는 -28.54dB였다. VSWR<1.5에서 260MHz (5%), 대역폭을 얻었으며, 5.15~5.58GHz 대역 모두 VSWR<2.0를 만족하였다.

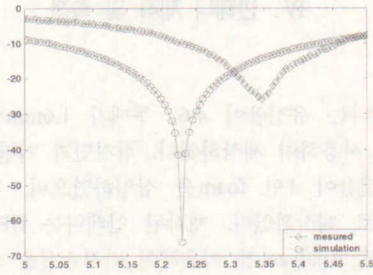


그림 11. 시뮬레이션과 측정 반사계수 비교  
Figure 11. Simulation and Measured return loss against frequency

방사패턴은 H-평면과 E-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 H-평면과 E-평면의 방사패턴은 그림 12-a와 그림 12-b와 같다. 5.35GHz에서 H-평면과 E-평면의 3-dB 빔폭은 각각 69°와 62°로 나타났다.

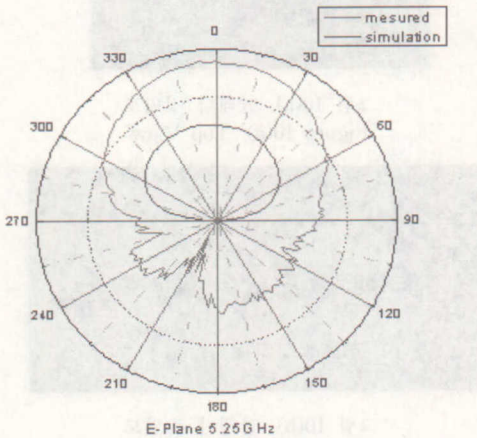


그림 12(a). E-평면 방사패턴  
Figure 12(a). E-plane radiation patten

시뮬레이션 시엔  $VSWR < 1.5$ 의 동작대역을 충분히 얻기 위해 공진주파수를 5.23GHz로 하였는데 실제 측정결과는 공진주파수가 5.36GHz로 나타났으며,  $VSWR < 1.5$  대역폭은 시뮬레이션상에서 약 260MHz의 5%이고 측정결과는 약 260MHz의 5%로 나타났다.

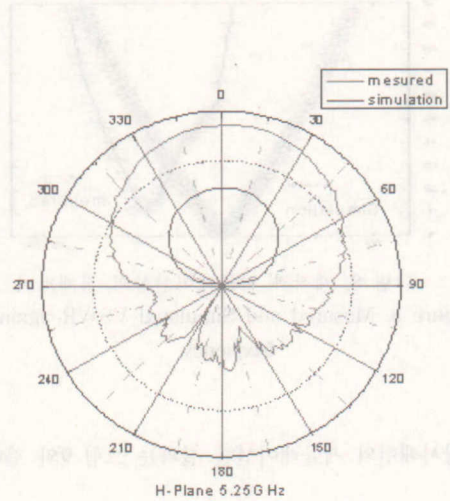


그림 12(b). H-평면 방사패턴  
Figure 12(b). H-plane radiation patten

그림 13은 이득에 대한 시뮬레이션된 결과와 측정된 결과를 함께 나타내었다. 시뮬레이션상의 이득 값은 7.5dBi에서 8.5dBi로 실내용 무선 LAN 안테나에서 요구하는 이득보다 높게 나왔으며 실제 제작된 안테나의 이득도 8~9dBi로 실내용 무선 LAN 안테나에서 요구하는 이득에 대한 요구조건(spec)을 보다 높게 나왔다.

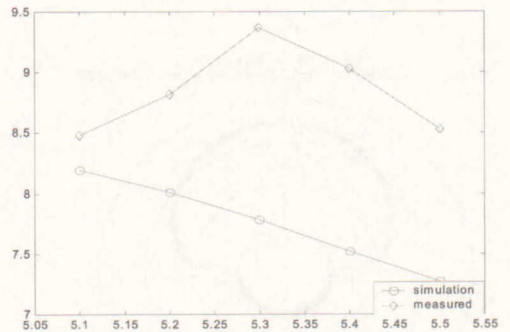


그림 13. 시뮬레이션값과 측정값의 이득 비교  
Figure 13. Simulated and measured of gain comparative analysis

그림 12 와 13에서 보여진 방사패턴 측정과 이득의 결과에서 보이는 후엽과 공진주파수의 이동 및 이득의 차이는 다음과 같은 요인에 의해 발생된 것으로 고찰될 수 있다. 첫째, Ensemble5.0 시뮬레이터상의 안테나 패치는 무한 크기의 접지면과 무한

크기의 기관 위에 존재함을 인식하여 실제 제작상 안테나의 접지면의 크기를 실제 이론치보다 넓혀 이득이 모의실험보다 크게 나온 것으로 판단된다. 또한 공진주파수의 천이는 제작시 기관의 식각 과정에서 L-슬롯의 길이를 정확하게 맞추지 못한점으로 사려된다. 둘째, 접지면과 급전의 정확한 접합이 이루어지지 않아 접지면 밑으로 흘러나가는 전류 누수 현상에 의하여 반사계수의 손실 및 방사패턴 상의 후엽이 발생한 것으로 판단된다. 셋째, 정밀성이 요구되었던 급전점의 위치와 foam의 두께에서 발생한 제작상의 오차에 의해서도 시뮬레이션 결과와 측정결과와의 차이점이 생겼을 것으로 판단된다.

### V. 결론

본 논문은 무선 통신의 수요 증가에 따라 IEEE 802.11에서 무선 LAN의 사용주파수로 논의되는 5.15~5.35GHz 까지의 영역을 동작주파수로 하여 L-슬롯에 공기층을 추가한 새로운 구조를 설계하고 제작하였다. 모든 설계는 Ensemble 5.0을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 주요 파라미터값을 변화시켜 최적화된 값을 얻었으며, 특히 L-슬롯, 공기층 및 급전 위치변화에 민감한 반응을 보인다는 것을 알 수 있었다. 제작된 안테나는 5.35GHz의 공진주파수와 8~9 dBi의 이득을 얻었으며 3dB 빔폭은 H-평면과 E-평면에서 각각 69°와 62°였다

### References

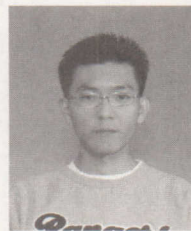
[1] Jim Geier, Wireless Lans,Sams, 2002.  
 [2] K. Pahlavan & A. H. Levesque, Wirless information Network, Wiley Interscience, 1995.  
 [3] 오승근, “국내의 5GHz대역 주파수 이용 동향”, 한국통신학회지, 제19권, 제5호, pp646-654, 2000, 5  
 [4] 고영호, “무선 LAN을 위한 적층 구조의 Bow-tie Antenna의 설계”, 전자과학회지, 제11권, 제8호, pp1455-1461, 2000, 12  
 [5] C. A. Balanis, "Antenna Theory analysis and design" John Wiley & Sons, INC Chater 14.  
 [6] E.Chang, S.A Long, and W.F. Richards, "An experimental investigation of electrically

thick rectangular microstrip antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-34, pp. 767-773, June 1986.

[7] P.B. Katehi, N.G. Alexopoulos, and I. Y. Hsia, "A bandwidth enhancement method for microstrip antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-35, pp. 5-12, Jan. 1987.  
 [8]. S. Reed, L. Desclos, C. Terret, and S. Toutain Patch antenna size reduction Microwave Opt Technol Lett, Vol. 29, 2001, 79-81.  
 [9]. Kin-Lu Wong and Kai-Ping Yang: Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot, Electron. Lett., 1997,33,pp. 1916-1917

이 원 종 (Won-Jong Lee)

준회원



2002년 2월 : 초당대학교  
전자공학과  
(공학사)

2004년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학석사)

2004년 2월~현재:

인하대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 안테나 설계, 전자장 이론, 능동소자 설계

윤 중 한 (Joong-Han Yoon)

준회원



1994년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학사)

1996년 8월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학석사)

2003년 2월 : 인하대학교

전자공학과  
(공학박사)

2003년 3월~2004 2월: 인하대학교 IT신기술 연구소 연구원

2004년 3월~현재: Post-Doc

<관심분야> 전자장 이론 및 산란, 안테나 설계,

강 석 업 (Suk-Youb Kang) 정회원



1997년 2월 : 인천대학교  
전자공학과  
(공학사)  
1999년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학석사)  
2002년 2월 : 인하대학교

전자공학과(박사수료)

<관심분야> 무선통신 시스템 설계, 안테나 설계,  
초고주파 시스템 설계,

이 화 춘 (Hwa-Choon Lee) 정회원



1985년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학사)  
1987년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학석사)  
1995년 2월: 인하대학교

전자공학과  
(공학박사)

1995년 2월~현재: 초당대학교 정보통신공학과 조  
교수

<관심분야> 안테나 및 전파전파, 전자장 이론,  
이동통신

박 효 달 (Hyo-Dal Park) 정회원



1978년 2월 : 인하대학교  
전자공학과  
(공학사)  
1987년:(불)국립항공우 주대학  
전자공학과  
(공학박사)  
1992년~현재: 인하대학교

전자공학과 부교수

<관심분야> 항공통신 시스템 설계, 초고주파 공학  
전자장 이론, 안테나공학

목 록 V

References

[1] J. Lee, "A Study on the Design of a Planar Antenna Array for a Mobile Communication System," M.S. Thesis, Inha University, 2002.

[2] K. Park, "A Study on the Design of a Planar Antenna Array for a Mobile Communication System," M.S. Thesis, Inha University, 2002.

[3] S. Kim, "A Study on the Design of a Planar Antenna Array for a Mobile Communication System," M.S. Thesis, Inha University, 2002.

[4] J. Lee, "A Study on the Design of a Planar Antenna Array for a Mobile Communication System," M.S. Thesis, Inha University, 2002.

[5] C. A. Balmain, "Antenna Theory, Analysis and Design," John Wiley & Sons, Inc., 1982.

[6] E. Chang, S. A. Long, and W. L. Stutzman, "An experimental investigation of directionality