

5GHz 대역에서 동작하는 보우타이 모양의 미앤더 마이크로스트립 안테나의 설계 및 제작

준회원 곽상훈*, 정회원 윤중한**, 중신회원 곽경섭***

Design and Fabrication of Bow-tie-shaped Meander Microstrip Patch Antenna on 5GHz Application

Sang hun Kwak*, Joong han Yoon**, Kyung sup Kwak*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 5GHz 전 대역에서 사용 가능한 미앤더 형태의 마이크로스트립 안테나를 설계하고 제작하였다. 미앤더 형태의 안테나에 공기층을 삽입하고 동축 급전을 주어 VSWR<2에서 충분한 대역을 얻고자 하였다. 미앤더 라인의 길이와 폭, 동축급전의 위치 및 공기층의 두께를 변화시키면서 시뮬레이션 하였으며, 최적화된 파라미터를 가지고 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 측정 결과는 VSWR<2에서 약 1GHz의 17.5%의 대역폭을 얻었으며, 7.3~9.5 dBi의 이득과 Broad한 방사패턴을 얻었다.

Key Words : Microstrip antenna, Meander, Bow-tie, 5GHz band, Wireless LAN

ABSTRACT

In this paper, a meander-type microstrip patch antenna for application in 5GHz-band is designed and fabricated. To obtain enough bandwidth in VSWR<2, the foam is inserted between substrate and ground plane, the coaxial probe source is used. Antenna is simulated varying the length and width of meander line, the position of probe feeding and the thick of airgap. Later antenna is fabricated with optimized antenna parameter. The measured result of Fabricated antenna obtained 1GHz(17.5%) bandwidth in VSWR<2, the gain of 7.3~9.5dBi, Unidirectional pattern.

I. 서 론

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 있으면 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, 5GHz 대역에서 무선 LAN 용도로 사용할 수 있는 주파수로는 이미 국제적으로 ISM 밴드인 5.725GHz~5.825GHz가 배정되었다. 그러나 초고속 무선 시스템에 대한 관심이 부각되면서 ISM 설비

* 인하대학교 정보통신대학원 통신공학 연구실 (blider@nate.com)

** Yokohama National University, Division of Physics, Electrical and Computer Engineering (jh_yoon68@hanmail.net)

*** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (kskwak@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-01-020, 접수일자 : 2005년 1월 11일

※ 본 연구는 정보통신부 대학 IT연구센터(인하 UWB-ITRC) 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

와의 혼신의 위험을 방지한다는 측면에서 ISM 대역이 아닌 주파수 대역의 이용에 대한 수요가 제기되었고 이러한 움직임 속에 ITU는 WRC-2003 회의에서 5.150GHz~5.350GHz 및 5.470GHz ~ 5.725 GHz 대역을 세계 공통으로 무선 랜 등의 고정접속 시스템(FAS)용으로 분배를 검토하기로 결정하였고 이에 따라 세계 각국은 WRC-2003 회의에서 5GHz 대역의 주파수가 분배 될 것으로 예상하고 무선 랜을 포함한 무선 접속망을 통해 위의 주파수 대역을 활용할 수 있도록 관련분야 연구에 몰두하고 있는 실정이다[2]. 따라서 휴대용 단말기와 AP간의 통신을 위한 무선 LAN 카드와 더불어 저렴한 비용과 대량 생산, 경량화, 그리고 초고주파 집적회로에 함께 구현할 수 있는 안테나 개발이 요구되고 있다.

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[3]에 의해 제안된 이래로 많은 연구가 진행되고 있다[4]-[7]. 이러한 방법으로 두꺼운 기판을 사용하는 방법, 기생패치를 사용하는 방법, 적층 구조를 사용하는 방법 등 많은 연구가 진행되고 있다[8]-[10]. 그러나 이러한 방법들은 안테나의 부피가 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 보우타이 안테나에 대한 연구는 오래전부터 계속되어 왔으며 특정 주파수대에서 그 크기를 줄이고 대역폭을 넓히기 위한 많은 노력이 있어왔다[11]-[15]. GPR 용도로 사용하기 위해 테이퍼된 용량성 loading과 저항성 loading을 조합하거나[11]-[13], 급전선을 CPW로 사용하고 슬롯 내부의 패치에 변화를 줌으로써 대역폭을 17.3%로 넓히며[14], 미앤더 슬롯을 보우타이 형태로 바꾸어 그 크기를 34.5%로 축소시키는 등 다양한 방법이 논의되어 왔다[15].

본 논문에서는 미앤더 슬롯을 보우타이 형태로 바꾸어 그 크기를 줄이고, 5GHz 대역에서 사용 가능한 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다.

II. 미앤더 안테나와 보우타이 안테나

2.1 미앤더 안테나

어떤 회로에서 굳게 진행되는 선로를 구부려서 구현하면 그 회로의 크기를 줄일 수 있으므로 미앤더 선로는 증폭기나 위상 변위기 등의 초고주파 소

자를 소형화 하는데 이용된다. 이 경우 미앤더 선로는 반사손실이 작고 위상이 굳게 진행되는 단일 선로와 같은 특성을 갖도록 설계되어야 한다. 또한 미앤더 선로는 저속과 구조나 협대역 여파기로 이용할 수 있고 빔성형과 스티어링에 적합한 모놀리틱 안테나 어레이로 상용할 수도 있다.[16]

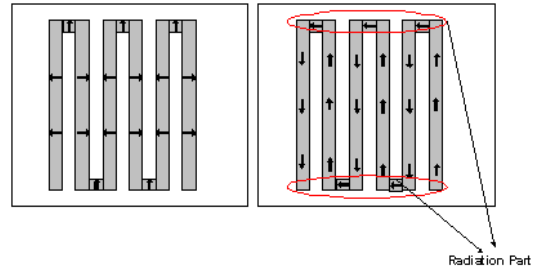


그림 1. 미앤더 선로의 전계분포와 자계분포
Fig 1. Electric field and Magnetic field of Meander railroad

그림 1은 미앤더 선로의 전계 분포와 자계분포를 개략적으로 나타낸 것이다. 미앤더 선로는 주어진 안테나의 전기적 크기를 최소의 면적에 집적시킬 수 있는 장점이 있다. 그림 1에서 윗부분의 전계와 아랫부분의 전계는 서로 같은 방향을 갖지만, 수직 방향의 선로에 걸리는 전계는 서로 다른 방향을 가지게 된다. 따라서 이들 수직방향의 선로에서 생성되는 원거리장 필드는 서로 상쇄되게 된다. 그림 1에 자계분포와 미앤더 선로의 방사하는 부분을 나타내었다. 일반적인 안테나는 0.5λ 의 길이를 가지는데 반해, 미앤더 안테나는 모서리 부분에서 가지는 손실과 형행한 각 선로간의 간섭 현상 때문에 대략 1λ 의 길이를 가지게 된다.

2.2 보우타이 안테나

보우타이 안테나는 다이폴 안테나의 변형으로서 형태가 보우타이의 모양을 하고 있는 광대역 안테나의 한 종류이다. 그림 2에는 보우타이 안테나의 구조를 보여주고 있다. 보통 보우타이 안테나는 보우타이 모양의 폭과 양끝으로 벌어진 각도, 급전선의 위치에 따라 그 특성이 정해진다. 중앙 부분의 패치 사이의 간격 G 와 전체 패치의 길이 H 는 안테나의 공진 주파수를 조절하는 주요 파라미터이고, 양끝으로 벌어진 각도 θ 가 줄어들수록 공진주파수는 높아지며[17], 입력 임피던스는 줄어들고[18] 대역폭이 넓어진다. 하지만 그에 따라 폭이 넓어져 안테나 크기가 커진다는 것이 단점이다. 즉, 보우타이 안테나는 광대역 특성을 가지지만 그 크기가 소형

화에는 부적합하다.

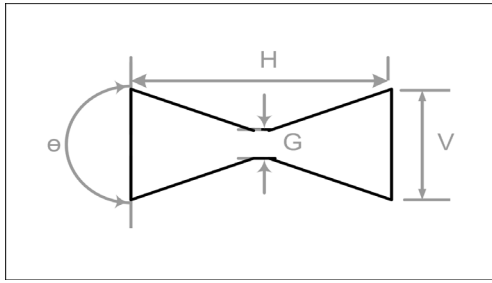


그림 2. 보우타이 안테나의 구조
Fig 2. Structure of Bow-tie antenna

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 소형 안테나의 개발을 위해 소형화 특성을 갖는 미앤더 패치 안테나와 광대역 특성을 갖는 보우타이 패치 안테나의 구조적 장점을 이용한 보우타이 형태의 미앤더 패치 안테나를 제안한다.

Ⅲ. 시뮬레이션을 통한 안테나 최적화

본 논문에서는 실내·외 무선 LAN용 5GHz 대역에서 실용 가능한 미앤더 슬롯을 보우타이 형태로 바뀐 안테나를 제안하고, 제작하였다. 접지면과 기판 사이에는 대역폭을 개선하기 위해 공기층을 삽입하였으며, 실제 제작 시 공기층으로는 유전율이 1인 공기층을 삽입하였다. 설계된 안테나의 구조는 그림 3에 나타나 있다. 모든 시뮬레이션은 무선 LAN 규격에 준하여 제작하였고, 동작대역에서 VSWR<2.0이 되도록 하였다.

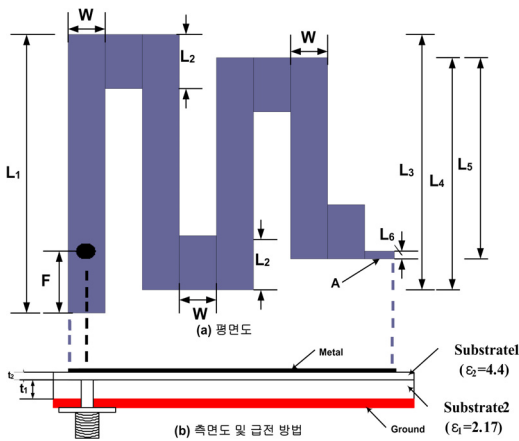


그림 3. 제안된 안테나의 구조
Fig 3. Configuration of the proposed antenna
(a) top vies (b) side view

먼저 식 $L \approx 0.49 \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ 을 이용하여 패치 크기를 결정하였다. 보우타이 형태의 미앤더 패치 모양에 이 식을 적용할 때 오차가 있으므로 많은 시뮬레이션을 통해 최적의 패치 크기를 얻었다. 시뮬레이션을 통해 미앤더 선로의 두께, 길이 및 위치의 변화, 동축급전의 위치 변화, 공기층의 두께에 따른 반사 계수를 측정해 보며 최적의 조건으로 안테나를 설계하였다.

첫번째, 미앤더 선로의 폭 W의 길이에 따른 반사 계수의 변화를 살펴보았다. W를 1.5mm에서 2.5mm 까지 0.5mm 간격으로 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타냈다. W의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수는 점점 왼쪽으로 이동 하는 것을 확인할 수 있다. 이때 W의 길이가 2.0mm보다 작아지거나 길어지면 대역폭은 넓은 반면 반사계수 특성이 좋지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 5GHz대역에서 가장 좋은 특성을 갖게 되는 W = 2.0mm을 선택 하였다.

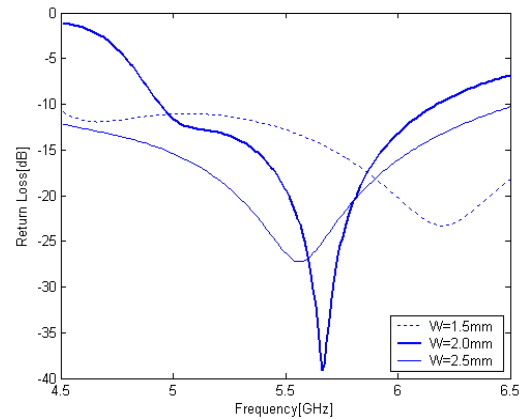


그림 4. 미앤더 선로의 폭 W의 변화에 따른 반사 계수
Fig 4. Influence of the width of W on the return loss of the proposed antenna

두번째, 미앤더 선로의 길이 L1의 길이에 따른 반사 계수의 변화를 살펴보았다. L1을 20.6mm에서 21.6mm까지 0.5mm 간격으로 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림5에 나타냈다. L1의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수는 점점 왼쪽으로 이동 하는 것을 확인할 수 있다. 이때 길이가 작아지면 넓은 대역폭을 얻을 수 있는 반면 반사 계수 특성이 좋지 않음을 확인할 수 있다. 또 길이가 증가하면 대역폭이 작아지고 반사계수 특성 또한 좋지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 L1 = 21.1mm을 선택할 때 좋은 특성이 나타났다.

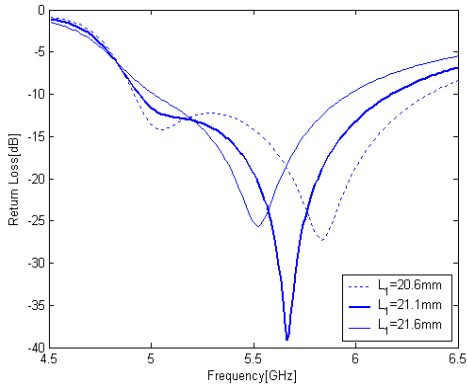


그림 5. 미앤더 선로의 길이 L_1 의 변화에 따른 반사 계수
Fig 5. Influence of the width of L_1 on the return loss of the proposed antenna

세번째, 미앤더 선로의 길이 L_3 의 길이에 따른 반사 계수의 변화를 살펴보았다. L_3 을 18.1mm에서 19.1mm까지 0.5mm 간격으로 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타냈다. L_3 의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수는 점점 왼쪽으로 이동 하는 것을 확인 할 수 있다. 선로의 길이가 작아지면 약간 넓은 대역폭을 얻을 수 있으나 반사계수 특성이 좋지 않음을 확인할 수 있다. 또 선로의 길이가 길어지면 대역폭이 약간 줄어들고 반사계수 특성 또한 좋지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 최적의 조건으로 $L_3 = 18.6mm$ 을 결정할 수 있다.

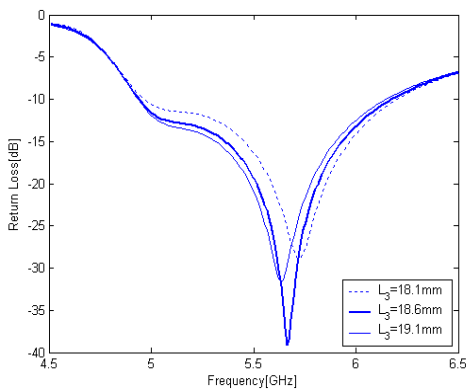


그림 6. 미앤더 선로의 길이 L_3 의 변화에 따른 반사 계수
Fig 6. Influence of the width of L_3 on the return loss of the proposed antenna

네번째, 미앤더 선로의 길이 L_4 의 길이에 따른 반사 계수의 변화를 살펴보았다. L_4 를 15.1mm에서 16.1mm까지 0.5mm 간격으로 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타냈다. L_4 의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수는 점점 왼쪽으로 이동 하는 것을

확인할 수 있다. 이때 선로의 길이가 작아지면 대역 폭이 약간 작아지고 반사계수 특성 또한 좋지 않음을 확인할 수 있다. 그리고 선로의 길이가 길어지면 대역폭은 약간 넓어지나 반사계수 특성은 좋지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 $L_4 = 15.6mm$ 에서 가장 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

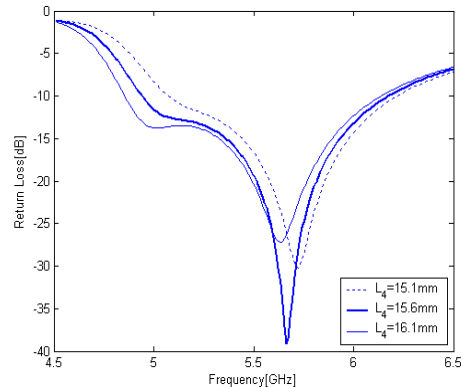


그림 7. 미앤더 선로의 길이 L_4 의 변화에 따른 반사 계수
Fig 7. Influence of the width of L_4 on the return loss of the proposed antenna

다섯번째, 동축 급전의 위치에 따른 변화를 관찰 하였다. F 를 4.7mm에서 5.7mm까지 0.5mm 간격으로 변화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타냈다. F 의 길이가 증가함에 따라 공진 주파수는 점점 왼쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이때 길이가 작아지면 넓은 대역폭을 얻을 수 있었지만 반사 계수 특성 좋지 않음을 확인할 수 있다. 또 길이가 증가하면 대역폭이 작아지고 반사계수 특성 또한 좋지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 $F = 5.2mm$ 을 선택할 때 좋은 특성을 가짐을 알 수 있다.

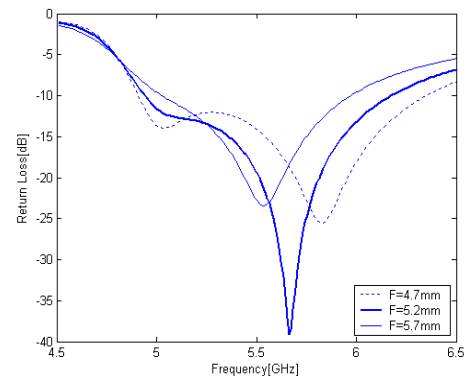


그림 8. 동축 급전의 위치 F 의 변화에 따른 반사 계수
Fig 8. Influence of the width of F on the return loss of the proposed antenna

마지막으로, 공기층의 두께 변화에 따른 반사 계수 특성을 알아보았다. 이를 그림 9에 나타냈다. 공기층은 foam으로써 비유전율이 1인 것을 사용하였다. 공기층의 두께 변화는 작은 변화에도 반사 계수에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 공기층의 두께는 두께가 두꺼워지면 넓은 대역폭을 얻을 수 있었으나 반사 계수 특성은 좋지 않음을 알 수 있다. 또한 공기층의 두께가 얇아지면 대역폭은 넓어졌지만 반사계수 특성은 좋지 않음을 확인할 수 있다. 공기층의 두께가 $t_1 = 4.8\text{mm}$ 일 때 두 조건을 충족하는 특성을 나타냈다.

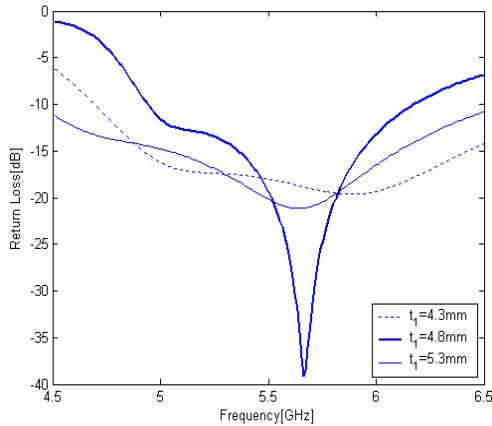


그림 9. 공기층의 두께 t_1 의 변화에 따른 반사 계수
 Fig 9. Influence of the width of t_1 on the return loss of the proposed antenna

시뮬레이션 한 결과 W 와 L_1 의 변화는 다른 파라미터에 비해 반사계수 특성에 많은 변화를 보이는 것을 알 수 있었다. 이외에도 동축 급전의 위치와 공기층의 두께는 안테나 제작시에 주의해야 할 부분이였다. 이러한 과정을 거쳐 얻어낸 최적의 안테나 파라미터를 표 4.1에 나타냈다. 패치의 전체 크기는 $X_0 = 23\text{mm}$, $Y_0 = 26.1\text{mm}$ 이다. 여기서 공기층은 비유전율이 1인 foam을 사용하였고, 그 때 가장 좋은 특성을 나타내는 조건은 $t_1 = 4.8\text{mm}$ 이다.

IV. 안테나 실험 결과 및 고찰

표 1의 조건을 가지고 안테나를 제작한 결과 5~6 GHz 대역에서 $VSWR < 2.0$ 으로 좋은 특성을 나타냈다. A부분은 가로 2.0mm, 세로 0.6mm로 매칭을 위해서 삽입하였다.

안테나는 유전율이 4.4mm 이고, 두께가 0.8mm 인 FR-4 기판을 사용하여 제작하였다. 접지면과 기

판사이에는 유전율이 1인 스티로폼을 삽입하였으며, 동축 급전 방식으로 제작하였다. 제작된 안테나는 인천대학교 TIC 무반사실에서 HP 8510C Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.

표 1. 최적화된 안테나 파라미터 (단위: mm)
 Table 1. Optimized antenna parameter (unit: mm)

| 보우타이-미앤더 선로의 폭 | 보우타이-미앤더 선로의 길이 | 급전 위치 | | | |
|----------------|-----------------|-------|-------|-----|------|
| W | 2.00 | L_1 | 21.10 | F | 5.20 |
| | | L_2 | 3.20 | | |
| | | L_3 | 18.60 | | |
| | | L_4 | 15.60 | | |
| | | L_5 | 13.10 | | |
| | | L_6 | 0.6 | | |

실제 제작한 안테나의 정면도와 측면도는 다음 그림 10 (a), (b)와 같다.

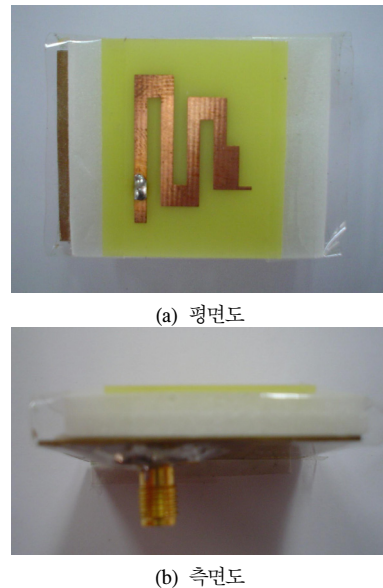


그림 10. 제작된 보우타이-미앤더 마이크로 스트립 안테나
 Fig 10. Fabrication and Measurement of Bow-tie-shaped Meander Microstrip Antenna
 (a) top view (b) side view

실제 측정된 반사계수는 그림 11과 같다. 초기값은 4.5GHz 이고, 최종값은 6.5GHz 이며 한칸의 간격은 200MHz 이다. 그림에서 보는 것처럼 -15dB 이하를 만족하는 대역은 4.955GHz~6.31GHz 이다.

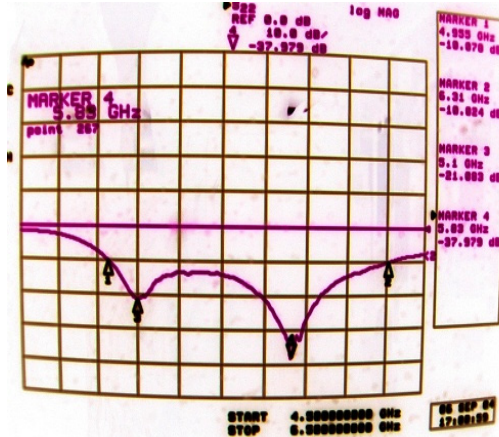


그림 11. 측정된 반사계수
Fig 11. Measured return loss vs. frequency for the proposed antenna

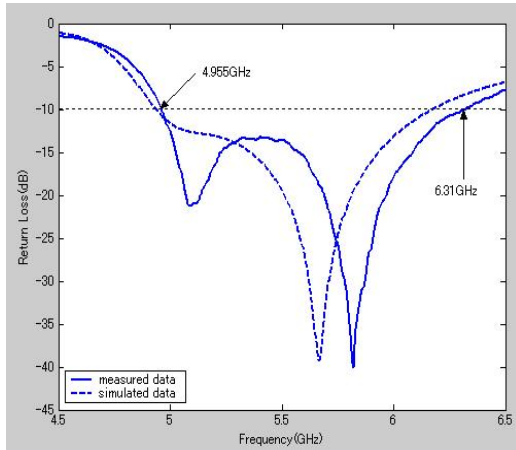


그림 12. 실제 측정된 반사계수와 시뮬레이션된 반사계수
Fig 12. Measured return loss vs. Simulated return loss

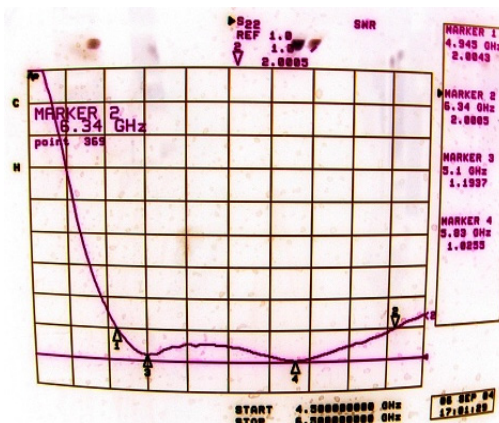
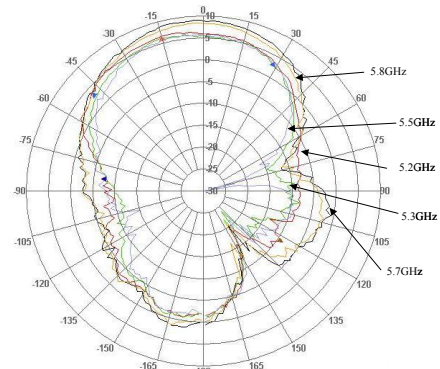


그림 13. 측정된 VSWR
Fig 13. Measured VSWR vs. frequency for the proposed antenna

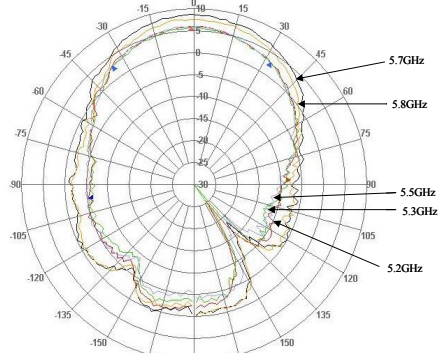
그리고 그림 12는 실제 측정된 반사계수와 시뮬레이션한 반사계수를 비교해 놓은 것이다. 측정된 반사계수의 시뮬레이션값과의 차이는 실제 안테나 제작시 사용한 foam의 오차에 의한 것이라고 판단된다.

그림 13은 실제 측정된 VSWR에 대한 측정결과를 나타낸다. 측정결과를 통해, VSWR<2.0에서 1.395 GHz(24.72%)의 대역폭을 얻었다.

방사패턴은 azimuth와 elevation으로 각각 5.1GHz에서 5.9GHz까지 0.1GHz 간격으로 측정하였다. 실제 측정된 방사 패턴은 그림 14의 (a), (b)와 같다. 그림 (a)는 5.2GHz, 5.3GHz, 5.5GHz, 5.7GHz 그리고 5.8GHz에서의 Azimuth패턴이다. (b)는 5.2GHz, 5.3GHz, 5.5GHz, 5.7GHz 그리고 5.8GHz에서의 Elevation패턴이다. 5.3GHz에서 Azimuth패턴과 Elevation패턴에서의 3dB 빔폭(HPBW)은 각각 71.54°와 66.04°이고 5.8GHz 대역의 경우, Azimuth패턴과 Elevation패턴에서의 3dB 빔폭(HPBW)은 각각 60.02°와 66.93°이다. 방사 패턴은 주파수 대역에서 안정된 패턴을 얻었다.



(a) E-평면



(b) H-평면

그림 14. 측정된 방사패턴
Fig 14. Radiation patterns of the proposed antenna at varying frequencies in the operation band

그림 15는 안테나의 이득에 대한 시뮬레이션 결과와 측정결과를 나타낸다. 실제 제작된 안테나의 이득은 5.74~9.09dBi를 얻었다. 저 유전율의 적절한 두께를 가진 form의 삽입과 동축급전의 위치를 달리함으로써 기존의 연구되었던 미앤더 형태의 안테나에 비해서 상당히 양호한 이득을 얻을 수 있었다. 따라서 제안된 안테나가 실제 적용 가능하다고 판단된다.

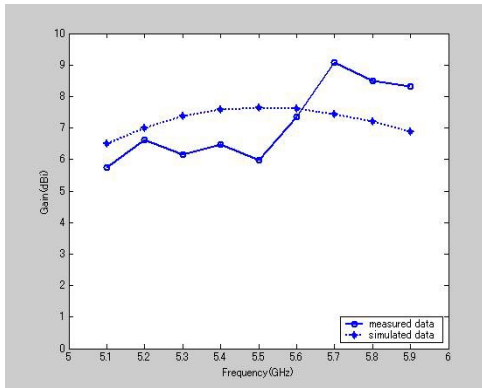


그림 15. 측정된 이득
Fig 15. Measured antenna gain for operating frequencies across the 5GHz band

V. 결론

본 논문은 무선통신의 수요가 급증함에 따라 IEEE 802.11a와 HiperLAN 1/2에서 논의된 무선 LAN 사용 주파수의 대역을 동작 주파수로 하여 기존의 연구되어진 보우타이 안테나와 미앤더 안테나를 결합하였고 동축 급전의 위치를 달리해서 새로운 모양을 설계, 제작하였다. 모든 설계는 Ensemble 5.0을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 주요 파라미터 값을 변화시켜 최적화 된 값을 얻었으며, 특히 미앤더 선로의 W 와 L_1 의 변화는 다른 파라미터에 비해 반사계수 특성에 많은 변화를 보이는 것을 알 수 있었다. 제작된 안테나는 $VSWR < 2.0$ 에서 1.395GHz (24.72%)의 충분한 대역을 얻을 수 있도록 하였고, 이득은 5.74~9.09dBi를 얻었다. 방사패턴은 주파수 대역에서 안정된 패턴을 얻었다. 측정된 결과를 바탕으로 제안된 방법이 실제 안테나 시스템에 적용 가능할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 광병렬, 무선 LAN 서비스 활성화 방안(www.

ktoa.or.kr/forum/data)
 [2] 오승곤, “국내외 5GHz 대역 주파수 이용 동향.” *한국통신학회지*, Vol. 19, No. 5, pp 54-62, 2002.
 [3] G. A. Deschanps, “Microstrip Microwave Antenna,” 3rd USAF Symposium on Antenna, 1953.
 [4] D. M. Pozar, “Input Impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip Antennas,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 30, pp.1191-1196, 1982.
 [5] 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. Prepagat.*, Vol. 33, pp. 301-311, 1985.
 [6] E. H. Newman and D. Forrai, “Scattering from a Microstrip Patch,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-35, No. 3, March, pp. 245-251, 1987.
 [7] W. C. Chew and Q. H. Liu, “Resonance Frequency of a Rectangular Microstrip Patch,” *IEEE Trans. Antennas propagat.*, Vol. 36, pp. 1045-1988, 1988.
 [8] K. C. Gupta and A. Benalla, “Microstrip Antenna Design,” *Artech House*, Norwood, MA, 1988.
 [9] P. Q. Lee, K. F. Lee, and J. Bovinchak, “Characteristic of two-layer electro-magnetically coupled rectangular patch antennas,” *Electron. Lett.*, 1987, 23, pp. 1070-1072.
 [10] 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.
 [11] A.A. Lestari, A.G. Yarovoy, L.P.Ligthart, “An Efficient Ultra-wideband Bow-Tie Antenna,” International Research Centre for Telecommunications-transmission and Radar (IRCTR) Delft University of Technology, 2001.
 [12] Yasuhiro NISHIOKA, “Effective Radiation Efficiency of Resistor-Loaded Bow-Tie Antenna Covered with Ferrite-Coated Conducting Cavity Located above Ground Surface,” *IEICE TRANS. COMMUN.*, vol. E83-B, NO.

2, pp. 419-421, Feb, 2000.

[13] Kurt L. Shlager, Glenn S. Smith, James G. Maloney, "Optimization of Bow-Tie Antennas for Pulse Radiation," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 42, NO. 7, pp. 975-982, July, 1994.

[14] Paul L. Chin, Atef Z. Elsherbeni, and Charles. E. Smith, "Characteristics of Coplanar Bow-Tie Patch Antennas," *IEEE*, 2002.

[15] S. H. Wi, et al., "Bow-Tie Shaped Meander Slot Antenna for 5 GHz Application," *IEEE AP-S Int. Symposium*, vol. 2, pp. 456-459, June. 2002.

[16] P.G. Hall and S.J. Vetterlein, "Microstrip patch array with multiple beams," *Proc, 19th European Microwave conf.*, pp. 343-348, Sept. 1989.

[17] Kin-Lu Wong and Wen-Shan Chen, "Slot-loaded bow-tie microstrip antenna for dual-frequency operation," *Electronics Letters*. vol. 34, no. 18, pp. 1713-1714, Sep. 1998.

[18] C. Waldschmist and K..D. Palmer, "Loaded wedge bow-tie antenna using linear profile," *Electronics Letters*. vol. 37, no. 4, pp. 208-209, Feb. 2001.

곽 상 훈 (Sang hun Kwak) 준회원



2003년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2003년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> MIMO-OFDM, 안테나설계, GSM

윤 중 한 (Joong han Yoon) 정회원



1994년 2월 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
 1996년 8월 인하대학교 전자공학과 석사 졸업
 2003년 2월 인하대학교 전자공학과 박사 졸업
 2003년 3월~2004 2월 인하대학교 IT신기술 연구소 연구원
 2004년 3월~2004년 9월 인하대학교 Post-Doc
 2004년 10월~현재 Yokohama National University Post-Doc
 <관심분야> 전자장 이론 및 산란, 안테나 설계

곽 경 섭 (Kyung sup Kwak) 종신회원



1977년 2월 인하대학교 전기공학과 학사 졸업
 1979년 2월 인하대학교 전기공학과 석사 졸업
 1981년 12월 미국 Univ. of So. Calif. 전자공학과 석사 졸업
 1988년 2월 미국 Univ. of Calif, San Diego, 통신이론 및 시스템 박사
 1988년 2월~1989년 2월 미국 Hughes Network Systems 연구원
 1989년 2월~2000년 3월 미국 IBM Network Analysis Center 연구원
 2000년 3월~2002년 2월 인하대학교 정보통신 대학원 원장
 2005년 1월~현재: 한국통신학회 수석부회장
 <관심분야> 위성/이동통신, 무선인터넷 UWB 시스템, WPAN 등