論文2003-40TC-11-11

5㎓ 대역에서 동작하는 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나의 설계 및 제작

(Design and Fabrication of Mulitiple U-shaped slot Microstrip Antenna on 5㎓ Application)

尹 中 漢 *, 鄭 桂 澤 **, 李 相 睦 ***, 安 圭 哲 ****, 郭 慶 燮 **

(Joong-Han Yoon, Gyey-Taek Jeong, Sang-Mok Lee, Gyoo-Chul An, and Kyung-Sup Kwak)

요 약

본 논문에서는 5㎓ 대역에서 동작하는 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나를 설계하고 제작하였다. 단일 U-슬롯 모양 위에 두 개의 작은 역 U-슬롯 모양을 갖도록 하였으며 접지면과 기판사이에 공기층을 삽입하여 충분한 대역을 얻고자 하였다. 여러 파라메타,큰 U 슬롯모양 가로 길이, 세로 길이, 너비, 위치 그리고 두 개의 역 U 슬롯 모양 간격, 급전 위치 그리고 공기갭의 두께를 최적화시킨 후에 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나가 제작되었으며 제작된 안테나의 측정결과는 다음과 같다. VSWR<2.0에서 20.4%의 대역폭과 5.5dBi의 이득과 방사패턴을 얻었다.

Abstract

In this paper, a multiple U-shaped slot antenna on 5㎓ band is designed, fabricated, and measured. The prototype consists of a U-shaped slot and two invert U-shaped slot. To obtain wide bandwidth, the foam layer is inserted between ground plane and substrate. After various parameters, length, width, position of U-shaped slot horizontal, interval length between two invert U-shaped slot, feeding position and airgap width, optimized, a multiple U-shaped slot antenna is fabricated and measured. The measured results of the antenna are compared with its simulated results. A 2:1 VSWR impedance bandwidth of 20.4% is achiedved by employing this technique. The gain is about 5.5dBi. The experimental far-field patterns are stable across the pass band.

Keywords : antenna, microstrip antenna, multiple U slot antenna, 5GHz Application, Wireless LAN

* 正會員, 仁荷大學校 IT 新技術硏究所
(IT Advanced Research Center, Inha University)
** 正會員, 仁荷大學校 情報通信工學部)
(The school of Information and Communication Eng., Inha University)
*** 正會員, 才能大學 情報通信工學部)
(The school of Information and Communication Eng., Jaenung College)
**** 正會員, 安産 1大學 電子通信科
(The Department of Electronics and Communication Eng., Ansan 1 College)
※ This reserch was supported by University IT Research Center Project of Inha UWB RC Korea.
接受日字:2003年6月16日, 수정완료일:2003年11月1日

Ⅰ. 서 론

최근 WLAN, U-NII, Hyper-LAN과 같은 작은 영역에 대한 네트워크 시스템을 5GHz 주파수 대역에서 활용하는 방안에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있다. 특히 차세대 무선 랜 기술에 대해서는 유럽의 ETSI 그룹, 미국주도의 IEEE802그룹 및 일본의 MMAC등에서 동 대역의 표준화 및 관련 기술 연구가 활발히 진행 중에 있으며 상호 간 공동표준안을 추진 중에 있다[1].

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 설비와의 혼신의 위험을 방지한다는 측면에서 ISM 대역이 아닌 주파수 대역의 이용에 대한 수요가 제기되었고 이러한 움직임 속에 ITU는 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 접속망을 통해 위의 주파수 대역을 활용할 수 있도록 관련분야 연구에 몰두하고 있는 실정이다[2]. 따라서 휴대용 단말기와 액세스 포인트(Acess Point)간의 통신을 위한 무선 LAN 카드와 더불어 저렴한 비용과 대량 생산, 경량화, 그리고 초고주파 집적회로에 함께 구현할 수 있는 안테나 개발이 요구되고 있다.

Huynh와 Lee[3]에 의해서 제안된 기생 소자를 추가하는 방법인 U-슬롯 안테나는 마이크로스트립 패치 안에 U자 모양의 슬롯을 삽입하는 형태로서 패치의 부피를 크게 증가시키지 않으면서 대역폭을 늘릴 수 있어 그 뒤로 많은 연구가 진행되어 왔으며 현재까지 단일 및 이중 U 슬롯 안테나가 설계, 제작 및 측정되었습니다[4-9]. 이후에는 여러 개의 U 슬롯이 존재하는 경우 안테나로서 동작하기 위한 최적의 형태와 위치에 대한 연구가 진행될 것으로 예상하였다.

따라서 본 논문에서는 이러한 3개의 U 슬롯을 갖는 안테나를 만들기 위해 최적화 과정에서 하나의 큰 U 슬롯을 가운데 위치시키고 2개의 역 U 슬롯 2개의 좌우로 배치함으로서 5GHz 대역에서 사용 가능한 다중 U 슬롯 마이크로스트립 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 충분한 대역폭을 얻기 위해 접지면과 기판사이에 공기층을 도입한 구조를 제안하였다. 제작의 편의상 동축 급전을 사용하였으며 모든 시뮬레이션은 Ansoft사의 Ensemble 5.0을 이용하여 수행하였다. Ⅱ장에서는 U-슬롯 모양 안테나의 기본이론과 제안된 안테나의 최적화 과정를 설명하였으며 Ⅲ장에서는 최적화 된 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나의 제작 및 측정결과에 대해 설명하였다.

Ⅱ. U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나

1. U-슬롯 안테나

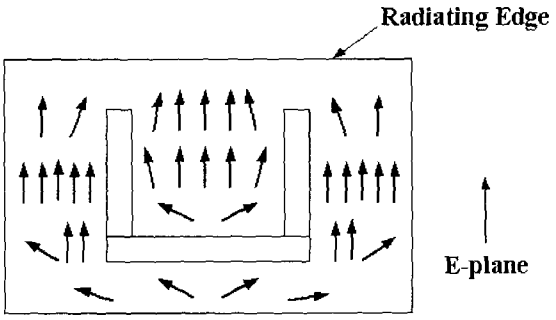


그림 1. U-슬롯에 의해 교란된 전류분포
Fig. 1. Surface Current line path on the patch by U-slot.

본 논문에서 적용한 U-슬롯 안테나는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 기본 패치에 U자 모양의 슬롯을 넣은 구조를 갖는데 방사하는 면의 모서리의 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. 즉, 첫 번째 공진은 마이크로스트립 패치에 의해 발생되는 것이고 두 번째 공진은 U-슬롯에 의하여 발생되는 것이다. 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 스미스 차트상의 임피던스 궤적에서 대, 소 두 개의 루프가 생성된다. 특히 큰 루프내의 작은 루프의 위치와 크기가 안테나의 임피던스 대역폭을 결정한다. 스미스 차트 상의 작은 루프를 가변시키는 파라미터는 사각형의 패치의 폭과 길이, U 슬롯 길이와 모양, 기판의 두께와 비유전

율 등이 있다. 또한 방사하지 않는 면에 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. 따라서 선형편파를 사용하는 경우에 동일 편파와 교차편파간에 분리가 좋아 개구결합 급전방식을 사용한 배열화를 통해 보다 높은 이득을 얻을 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 여전히 좌우로 향하고 있는 전류분포에 의해 H-평면 방사패턴에서는 교차편파의 증가를 예상할 수 있다. 따라서 큰 편파이격도를 요구하는 시스템에 적용할 때 이러한 점을 고려하여야 한다. 또한 U-슬롯 안테나는 동축 급전 방식과 개구결합 급전방식을 사용하는데, 일반적으로 동축 급전 방식을 많이 사용한다. 이 방식은 임피던스 정합이 쉽고 스퓨어리스 복사가 적으나 패치의 도체면에 물리적으로 접합을 시켜야 하며 대역폭이 좁아지는 단점이 존재하며 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 위해서이다. 하지만 두꺼운 기판을 사용하면 안테나 효율이 떨어지고 임피던스 정합에 어려움이 따르며, 공기층의 삽입은 시뮬레이션 시 최적화 과정이 어렵고 안테나 제작 시 정밀성이 요구되는 부분이기도 하다.

2. 시뮬레이션을 통한 안테나 최적화

본 논문에서는 5GHz대역에서 무선 LAN AP용으로 사용 가능한 안테나로서 두 개의 역 U-슬롯 모양과 공기층을 삽입한 다중 U-슬롯 모양의 구조를 제안하였다. 기존의 단일 U-슬롯 모양에 두 개의 역 U-슬롯 모양을 추가한 구조를 제시하였으며 접지면과 기판 사이에는 대역폭을 개선하기 위해 공기층을 삽입하였다. 설계된 안테나의 구조를 <그림 2>에 나타내었다.

먼저 $L \fallingdotseq 0.49\,\lambda_0/\sqrt{\varepsilon_r}$ 식을 이용하여 패치 크기를 결정하였고 U-슬롯 모양이 삽입되면 이 식을 적용할 때 오차가 있으므로 많은 시뮬레이션을 통해 최적의 패치 크기를 얻었다. U-슬롯 모양들의 두께, 길이 및 위치의 변화에 따른 반사계수, 동축 급전의 위치변화에 따른 반사계수, 공기층의 두께에 따른 반사계수의 결과로부터 최적 조건의 파라메타를 얻었다.

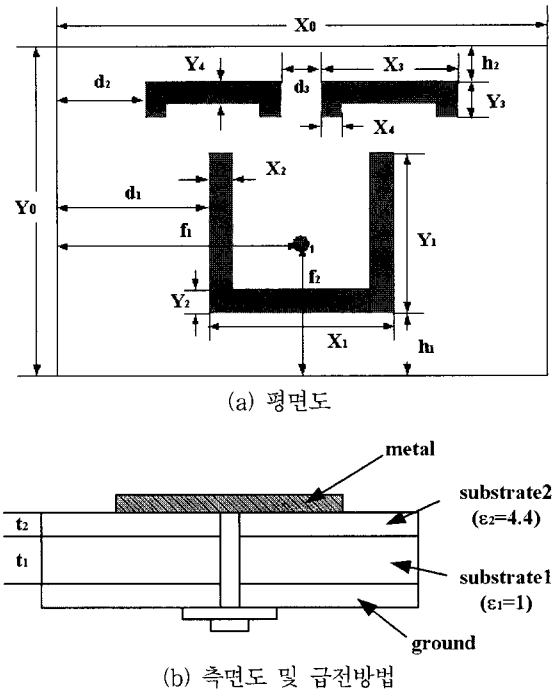


그림 2. 제안된 안테나의 구조

Fig. 2. The geometry of proposed antenna. (a) top view of the patch antenna (b) longitudinal section view of the patch antenna and feeding method.

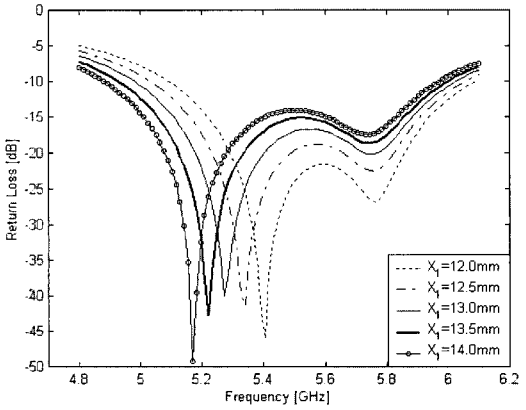


그림 3. 큰 U-슬롯 모양 가로길이 X_1 변화에 따른 반사계수

Fig. 3. Return loss according to the variation of U-shaped slot horizontal length X_1.

첫째, 큰 U-슬롯 모양의 가로 길이 X_1의 길이에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. X_1을 12.0㎜에서 14.0㎜까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 <그림 3>처럼 나타내었다. X_1의 길이가 12.0㎜에서 14.0㎜로 감에 따라 공

진 주파수는 왼쪽으로(낮은 주파수쪽으로) 이동되는 것을 관찰할 수 있었다.

둘째, 큰 U-슬롯 모양의 너비 변화에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. 큰 U-슬롯 모양의 너비를 1.6㎜에서 2.2㎜ 까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 <그림 4>처럼 나타났다. 큰 U-슬롯 모양의 너비가 증가할수록 주파수 대역은 오른쪽으로 이동되는 것을 관찰할 수 있었다.

셋째, 큰 U-슬롯 모양의 세로 길이 Y_1의 길이에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. Y_1을 11.5㎜에서 13.0㎜까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 <그림 5>에 나타내었다. Y_1이 11.5㎜에서 13.0㎜로 증가함에 따라 주파수 대역은 점점 왼쪽으로 이동해 감을 관찰할 수 있었다.

넷째, 큰 U-슬롯 모양과 직사각형 패치 사이의 거리 h1에 따른 반사계수의 변화를 살펴보았다. h_1을 3.0㎜에서 4.5㎜까지 변화시킨 시뮬레이션 결과를 <그림 6>에 나타났다. h_1이 3.0㎜에서 4.5㎜로 감에 따라 공진 주파수는 오른쪽으로(높은 주파수쪽으로) 이동되는 것을 관찰할 수 있었다.

다섯째, 역 U-슬롯 모양간의 간격 d_3을 1㎜에서 5㎜까지 변화시키면서 공진 주파수의 이동과 반사계수 특성을 관찰하였다. 공진 주파수는 d_3가 1㎜에서 5㎜로 증가함에 따라 오른쪽으로 이동되었고 반사계수 특성은 d_3가 5.0㎜일 때 가장 좋은 특성을 얻었다. 그 결과는 <그

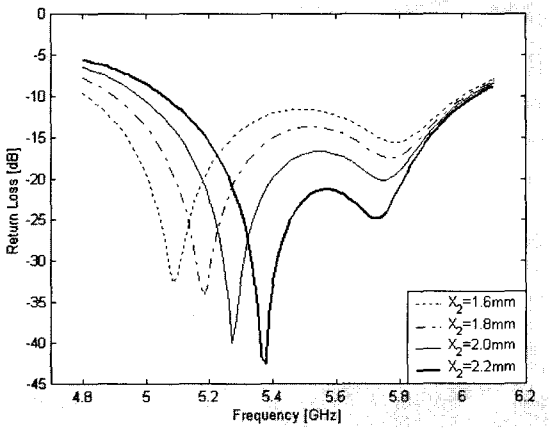


그림 4. 큰 U-슬롯 모양 너비 X_2 변화에 따른 반사계수
Fig. 4. Return loss according to the variation of U-shaped slot width X_2.

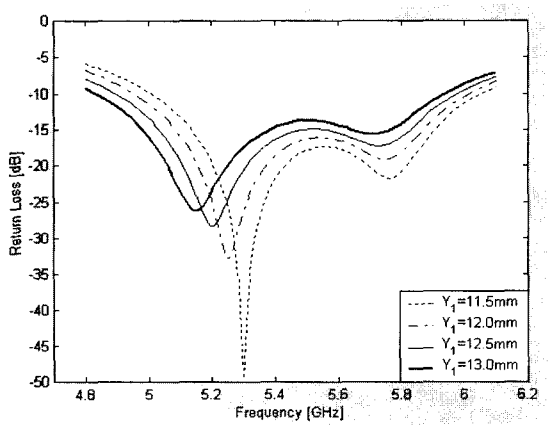


그림 5. 큰 U-슬롯 모양 세로길이 Y_1 변화에 따른 반사계수
Fig. 5. Return loss according to the variation of U-shaped slot vertical length Y_1.

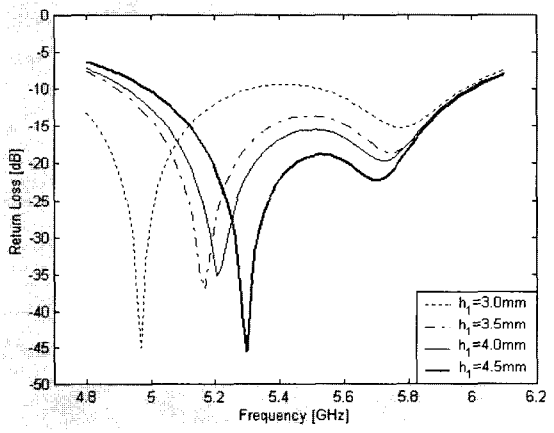


그림 6. 큰 U-슬롯 모양 위치 h_1 변화에 따른 반사계수
Fig. 6. Return loss according to the variation of U-shaped slot position h_1.

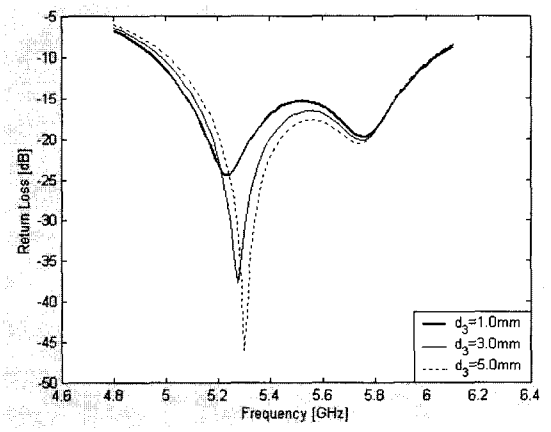


그림 7. 역 U-슬롯 모양 간격 d_3 변화에 따른 반사계수
Fig. 7. Return loss according to the variation of interval length between two invert U-shaped slot d_3.

림 7>에 나타내었다.

여섯째, 동축 급전의 위치에 따른 변화를 관찰하였다. f_1=20.0㎜(직사각형 패치의 가로면에서 정 가운데)로 고정시키고 f_2의 길이를 8.5㎜에서 9.5㎜까지 늘려가면서 시뮬레이션 한 결과 <그림 8>과 같이 나타났다. 급전의 위치가 f_2=8.5㎜에서 9.5㎜로 감에 따라 공진 주파수는 왼쪽으로 이동되었고 반사계수 특성은 f_2가 9.0㎜일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

마지막으로, 공기층의 두께 변화에 따른 반사계수 특성은 <그림 9>에 나타내었다. 공기층은 foam으로써 유전율이 1인 것을 사용하였는데, 작은 변화에도 반사계수에 상당히 큰 영향을 미쳤다. 최적의 두께 5.0㎜를 기준

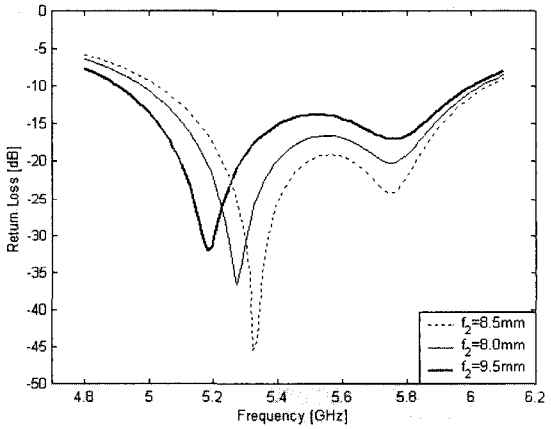


그림 8. 동축 급전의 위치 f_2 변화에 따른 반사계수
Fig. 8. Return loss according to the variation coaxial feeding position f_2.

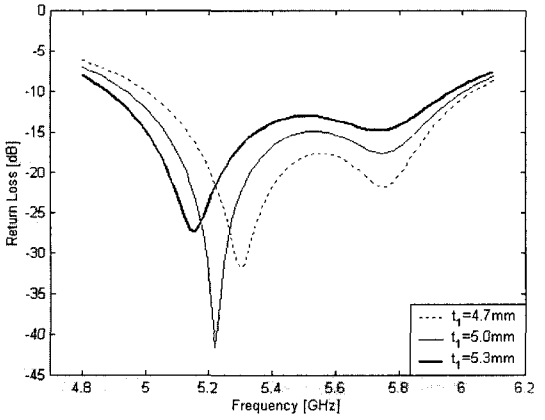


그림 9. 공기층의 두께 t_1 변화에 따른 반사계수
Fig. 9. Return loss according to the variation of airgap width t_1.

표 1. 제안된 안테나의 최적화된 파라메터(㎜)
Table. 1. Optimized parameters of propoesed antenna(㎜).

U-슬롯의 가로축 길이		U-슬롯의 세로축 길이		역 U-슬롯의 가로축 간격		U-슬롯 위치		급전 위치	
X_1	13.0	Y_1	11.5	d_1	13.5	h_1	4.0	f_1	20.0
X_2	2.2	Y_2	2.0	d_2	8.0	h_2	2.7	f_2	9.0
X_3	10.5	Y_3	3.0	d_3	5.0				
X_4	1.6	Y_4	1.6						

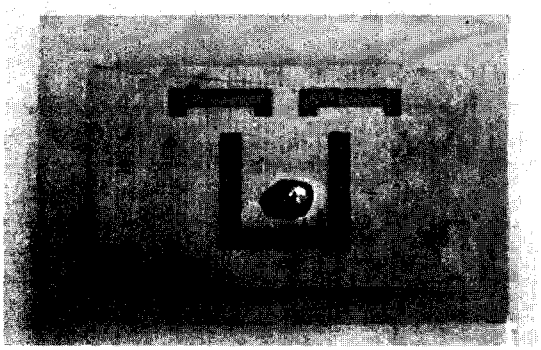
으로 더 두꺼워지면 공진 주파수는 왼쪽으로 이동되었고, 얇아지면 공진 주파수가 높아진다는 것을 관찰하였다.

이와 같이 여러 파라메타들에 대한 시뮬레이션 결과, 동축 급전의 위치와 공기층의 두께가 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=40.0㎜, 세로 Y_0=26.55㎜ 이다. 큰 U-슬롯 모양의 파라미터는 X_1=13㎜, Y_1=11.5㎜, X_2=2.0㎜ 이다. 작은 역 U-슬롯 모양의 파라미터는 X_3=10.5㎜, X_4=1.6㎜, Y_2=2.0㎜, Y_3=3.0㎜, Y_4=1.6㎜ 이다. 큰 U-슬롯 모양과 패치 하단 경계면까지의 거리 h_1=4.0㎜ 이고, 작은 U-슬롯 모양과 패치 상단 경계면까지의 거리 h_2=2.7㎜ 이다. d_1=13.5㎜, d_2=8.0㎜ 이고 역 U-슬롯 모양의 가로축 간격 d_3=5.0㎜ 이다. 동축 급전의 위치는 급전의 중심에서 패치의 하단 경계면까지의 수직거리로써 f_1=20.0㎜ 이고 f_2 =9.0㎜이다. 공기층은 유전율이 1인 foam을 사용하였으며 최적 두께는 t_1=5.0㎜이다.

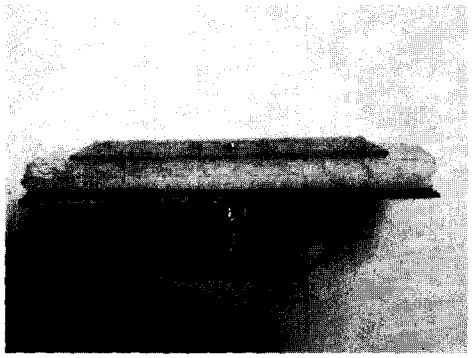
Ⅲ. 안테나 제작 및 측정

<표 1>의 조건으로 안테나를 시뮬레이션한 결과 5GHz 전 대역에서 VSWR<2를 만족하였으며, 7~8dBi의 이득 및 방사패턴을 얻었다. 이 시뮬레이션 결과를 가지고 안테나를 제작하였다.

안테나는 유전율이 4.4, 두께가 0.8㎜인 DS-7408 T/C H/H 기판을 사용하여 제작하였고 접지면과 기판 사이에는 유전율이 1인 foam을 삽입하였으며, 동축급전 방식으로 제작하였다. 제작된 안테나는 HP 8510C Network Analyzer를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 (주)코산아이엔티 무반사실에서 방사패턴을 측정하였다.



(a) 정면도



(b) 측면도

그림 10. 제작된 다중 U-슬롯 모양 마이크로스트립 안테나

Fig. 10. Fabricated multiple U-shaped slot microstrop antenna. (a) top view of the patch antenna (b) longitudinal section view of the patch antenna

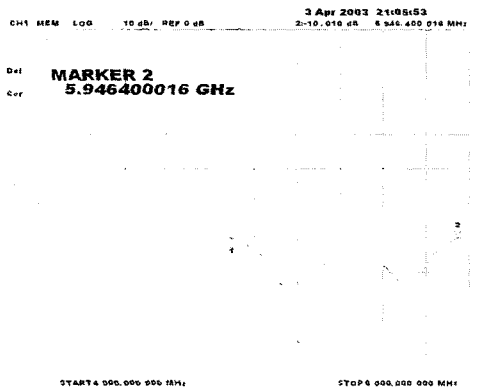


그림 11. 제작된 다중 U-슬롯 모양 마이크로스트립 안테나의 반사손실

Fig. 11. Return loss of Fabricated multiple U-shaped slot microstrop antenna.

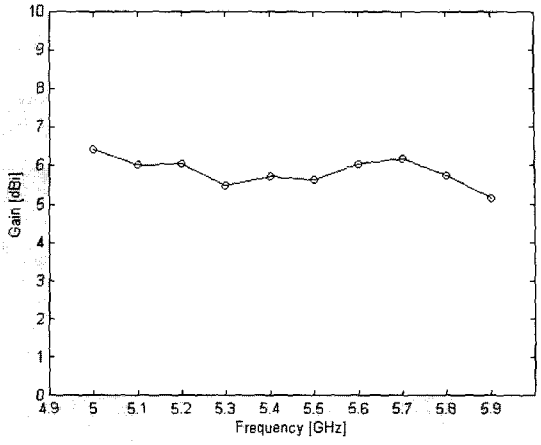


그림 12. 실제 제작된 다중 U-슬롯 모양 마이크로스트립 안테나의 이득

Fig. 12. Gain of Fabricated multiple U-shaped slot microstrop antenna.

실제 제작한 안테나의 정면도와 측면도는 <그림 10(a)>와 <그림 10(b)>와 같다.

실제 측정한 반사계수는 <그림 11>과 같다. 초기값은 4GHz, 최종값은 6GHz로 하고 120개의 point를 주어 측정한 결과 VSWR<2.0에서 1.05GHz(20.4%)의 대역폭을 얻었으며 <그림 12>는 이득에 대한 측정된 결과를 나타내었다. 실제 제작된 안테나의 이득은 5.16~6.43dBi로서 5GHz 대역에서 비교적 일정한 값을 얻을 수 있었다.

측정한 VSWR값은 <그림 13>과 같다. 4.89GHz에서 5.95GHz까지 약 1.05GHz 대역에서 VSWR<2를 만족하는 결과를 얻었다.한편, 단일 U 슬롯 안테나는 광대역 안테

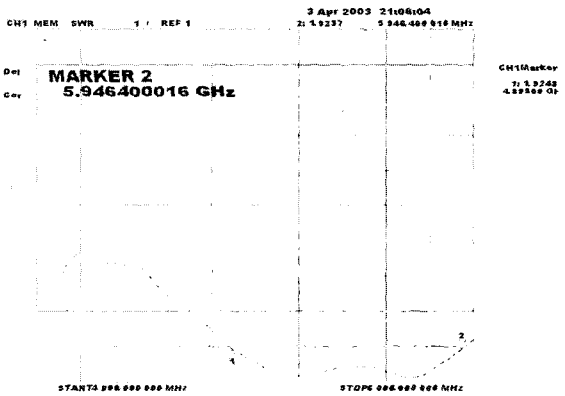


그림 13. 제작된 다중 U-슬롯 모양 마이크로스트립 안테나의 VSWR

Fig. 13. VSWR of Fabricated multiple U-shaped slot microstrop antenna.

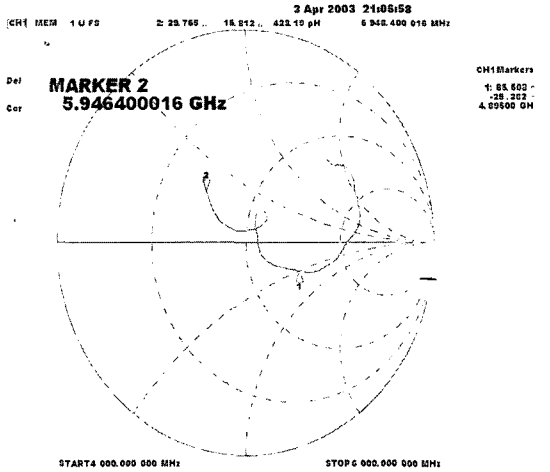
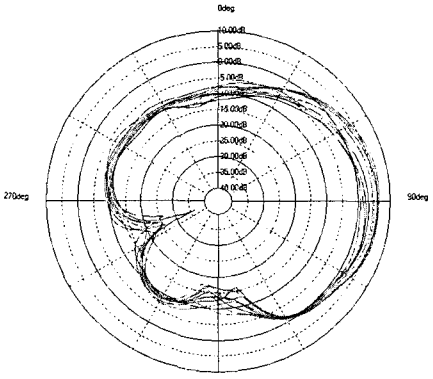
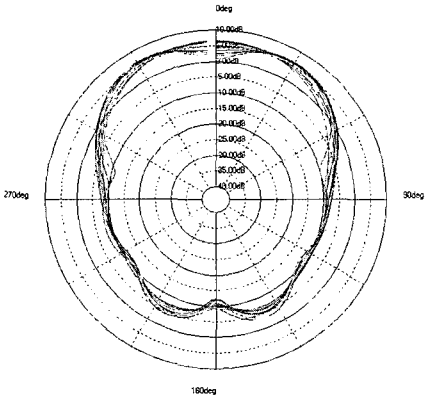


그림 14. 제작된 다중 U-슬롯 모양 마이크로스트립 안테나의 임피던스

Fig. 14. Impedance of Fabricated multiple U-shaped slot microstrop antenna.



(a) E-평면



(b) H-평면

그림 15. 측정된 방사패턴

Fig. 15. Measured radiation pattern. (a) E-plane (b) H-plane

나로서 10dB 대역폭이 대략 20~30% 정도 얻을 수 있으며[4] 이중 U 슬롯 안테나는 이중공진 안테나로서 동작됨을 확인하였다[7]. 단일 U 슬롯이나 이중 U 슬롯에 비해 본 논문에서 제안된 안테나는 VSWR <1.5 이하에서 15%로서 더 넓은 대역폭을 얻었으며 전 대역에 걸쳐 균등한 이득을 얻을 수 있었다.

측정한 임피던스를 스미스 차트로 <그림 14>에 나타내었다. 5Ghz 대역에서 50옴 매칭이 비교적 잘 이루어졌으며 50옴 근처의 한번 꼬임 현상은 제작된 안테나가 광대역 특성을 나타냄을 암시한다.

방사패턴은 E-평면과 H-평면에서 각각 5.0에서 5.5Ghz까지 0.01Ghz 간격으로 5.0, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 6.0Ghz에서 측정하였으며 실제 측정된 E-평면과 H-평면에서 방사패턴을 얻었으며 <그림 15(a)>와 <그림 15(b)>에 나타내었다. E-평면에서의 패턴 기울어짐 현상은 E-평면을 기준으로 하는 두 개의 역 U-슬롯 모양 위에 분포하는 전류분포와 큰 U-슬롯 모양 아래에 분포하는 전류분포가 대칭적인 모습을 보이지 않는데서 발생한 것이라고 판단된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 5Ghz 대역에서 동작하는 다중 U-슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나를 설계, 제작하였다. 단일 U-슬롯을 바탕으로 두 개의 역 U-슬롯 모양을 추가하였으며 접지면과 기판에 공기갭을 삽입한 구조를 제안하였다. 모든 설계는 Ensemble 5.0을 사용하여 시뮬레이션 하였으며 주요 파라미터값을 변화시켜 최적화된 값을 얻었다. 특히 U-슬롯 모양, 공기층 및 급전 위치에 민감한 반응을 보인다는 것을 알 수 있었다. 제작된 안테나는 VSWR<2에서 5Ghz 전대역을 만족하는 20.4%의 대역폭을 얻었으며, 5Ghz 전대역에 걸쳐 약 5.5dBi의 비교적 일정한 이득과 방사패턴을 얻었으며, 5Ghz 대역의 실내용 무선통신 안테나로 사용 가능할 것으로 판단된다.

※ 제안된 안테나를 측정하는데 도움을 주신 (주)코산아이엔티 김진명 연구원과 곽원일 연구원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 송홍종, 김동구, "5Ghz 대역 무선 랜 도입을 위한

전파간섭 영향 및 데이터 전송률 측정연구,"한국통신학회 논문지, vol. 27, no. 9B, pp 864-875, 2002.

[2] 오승곤, "국내외 5㎓ 대역 주파수 이용 동향," 한국통신학회지, vol. 19, no. 5, pp 54-62, 2002.

[3] T. Huynh, and K. R. Lee, Single-layer single-patch wideband microstrip antenna," Electron. Lett., 31, pp.1310-1311, 1995.

[4] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, T. Huynh, and R. Q. Lee, "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna," Proc. Inst. Electro. Eng. 144, 354-358, 1997.

[5] K. M. Luk, Y. X. Guo, K. F. Lee, and Y. L. Chow, "L-Porbe porximity fed U-slot Patch Antenna," Electron. Lett., vol. 34, no. 19, pp. 1806-1807, 1998.

[6] Y. W. Jang, "Broadband T-shaped microstrip fed U-slot coupled Patch Antenna," Electron. Lett., vol. 38, no. 11, pp. 495-496, 2002.

[7] R. Bhalla and L.Shafal, "Resonance Behavior of Single U-slot Microstrip Patch Antenna," Microwave and optical technology letters, vol. 32, no. 5, pp. 333-335, March 2002.

[8] 오은실, 윤영중, "이중 U-슬롯을 이용한 광대역 마이크로스트립 안테나," 한국통신학회논문지, Vol. 27, No. 7B, 727-736, 2002.

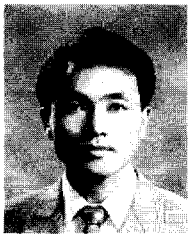
[9] G. Kumar and K. P. Ray, Broadband Microstrip Antennas, Artech House, 2003.

저 자 소 개

尹 中 漢(正會員) 第40卷 TC編 第 5號 參照

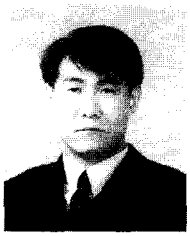
鄭 桂 澤(正會員)

2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사 졸업(공학사). 2003년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학부 석사과정. <주관심분야 : 안테나 설계 및 통신시스템>



李 相 睦(正會員)

1984년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사). 1986년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1996년 8월~2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학박사). 1990년 3월~현재 : 재능대학 정보통신과 부교수. <주관심분야 : 안테나 설계, 통신망, 통신이론>



安 圭 哲(正會員)

1988년 2월 : 인하대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 : 인하대학교 공과대학 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 2월 : 인하대학교 공과대학 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1990년 1월~1993년 2월 : 금성정보통신 연구소 연구원. 1993년 10월~1996년 2월 : 한국체육과학 연구원 스포츠공학실 연구원. 1996년 3월~현재 : 안산1대학 전자통신과 조교수. <주관심분야 : 마이크로웨이브 및 전파전파, 광통신, 광소자, 광전자, 광시스템>

郭 慶 燮(正會員) 第40卷 TC編 第 5號 參照