

슬롯/T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나의 특성 연구

논문
59-7-17

A Study on the Characteristics of Microstrip Patch Antenna with Slot/T-Slot Capacitive Coupling

서기원* · 노형환** · 성영락*** · 오하령*** · 박준석†

(Ki-Won Seo · Hyoung-Hwan Roh · Yeong-Rak Seong · Ha-Ryoung Oh · Jun-Seok Park)

Abstract - This paper proposes a novel microstrip patch antenna to make impedance matching possible by using slot/T-slot capacitive coupling between the patch and 50 Ω feed line on a ground plane. The single band/linear polarization patch antenna shows linear polarization at 2.4 GHz band. Under -10 dB return loss, the single band/linear polarization patch antenna obtains 50 MHz bandwidth at 2.37 GHz~2.42 GHz. The dual band/dual polarization microstrip patch antenna shows circular polarization at 2.4 GHz band and linear polarization at 3.1 GHz band. Under -10 dB return loss, The dual band/dual polarization microstrip patch antenna obtains 340 MHz bandwidth at 2.23~2.57 GHz and 375 MHz bandwidth at 2.95~3.325 GHz.

Key Words : Slot/T-Slot Capacitive Coupling, Microstrip Patch Antenna, Linear Polarization, Circular Polarization

1. 서론

다양한 무선통신 서비스의 요구에 따라 다양한 형태의 안테나 기술이 개발되고 있다. 특히 마이크로스트립 안테나는 기판이 가볍고, 부피가 작은 특성으로 다양한 분야에 사용되고 있다[1]. 또한 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 이중대역(dual-band)안테나에 대한 연구 결과가 많이 발표되고 있으며 [2-4]. 대부분이 여러 개의 패치를 사용하거나, 패치의 내부에 슬롯 혹은 단락 핀 등을 만들어 이중대역을 얻었다. 본 논문에서는 CPW(Coplanar Waveguide)구조로 50 Ω 급전선을 접지면에 이용하여 생기는 패치와 급전선 사이의 슬롯/T-슬롯 커패시티브 커플링으로 임피던스 정합이 가능한 새로운 구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 패치 안테나 설계방법에 따라 2.4 GHz대역에서 동작하는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하고 50 Ω 급전선을 접지면에 이용함으로써 생기는 슬롯/T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용하여 새로운 구조의 패치 안테나를 설계하였다.

2장에서는 인셋구조(In-set)를 이용한 패치 안테나의 설계 방법을 간단히 설명하고, 이를 이용하여 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나와 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나의 방법에 대해서 설명하였다. 또한 3장에서는 2.4 GHz대역

에서 동작하는 단일대역/선형편파 패치 안테나와 2.4 GHz와 3.1 GHz에서 동작하는 이중대역/이중편파 패치 안테나를 제작하여 실험한 결과를 정리하였으며, 4장에 결론을 기술하였다.

2. 안테나 설계

2.1 인셋구조를 이용한 패치 안테나 설계

슬롯/T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하기 위하여 우선 2.4 GHz대역에서 동작하는 마이크로스트립 패치 안테나를 아래와 같은 방법으로 설계하다. 그림 1은 인셋구조방식을 이용한 패치 안테나를 보여주고 있다.

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

안테나의 동작 주파수는 2.4GHz, 빛의 속도(c)는 3×10⁸ m/s, 유전체의 유전율(ε_r)은 4.4, 유전체의 두께는 1 mm이며 식(1)을 이용하여 안테나의 패치 크기(W)는 37 mm로 정하였다.

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

식(1)에서 구한 패치의 크기(W)와 유전율(ε_r) 그리고 유전체의 두께(h)를 식(2)에 대입하여 유효 유전율(ε_{r,eff})을 4.17 정하였다.

* 준회원 : 국민대학교 전자공학부 석사과정

** 정회원 : 국민대학교 전자공학부 박사과정

*** 비회원 : 국민대학교 전자공학부 교수

† 교신저자, 정회원 : 국민대학교 전자공학부 교수

E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

접수일자 : 2010년 1월 21일

최종완료 : 2010년 6월 14일

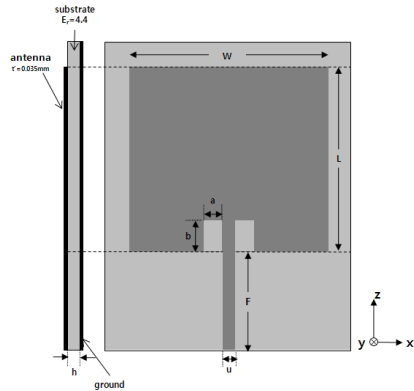


그림 1 인셋구조를 이용한 패치 안테나
Fig. 1 Patch antenna using In-set structure.

$$L_{r,eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \quad (3)$$

또한 유효 유전율(εr,eff)=4.17을 식(3)에 대입하여 L의 유효길이는 30 mm로 정하였다.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{r,eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{r,eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (4)$$

또한 식(4)를 이용하면 ΔL값은 0.46로 정할 수 있다.

$$L = L_{r,eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

마지막으로 식(5)를 이용하면 안테나의 L값은 29 mm로 정할 수 있다. 위의 식(1)~(5)를 이용하여 2.4GHz대역에서 동작하는 패치 안테나를 설계 할 수 있다. 그 다음 단계는 인셋구조를 이용한 안테나의 50Ω 임피던스 정합이다. 인셋 구조 방식은 그림 1의 변수 a, b 값을 조절하여 안테나의 50 Ω 정합이루는 방식으로 선로는 패치에서부터 a만큼의 틈을 가지고 분리되어 있어야 한다.

보통 a는 선로 폭(u)의 0.1~0.5배가 적당하며, 폭이 넓은 선로는 밑 부분에 전자장이 집중되어 있기 때문에 a은 얇을 수록 좋다. 반대로 폭이 좁은 선로는 a이 넓어야 하는데, 어떤 경우에 있어서도 선로와 틈의 합은 패치 폭(w)의 0.25 배보다는 작아야 한다.

인셋 구조로 인한 틈(a)은 공진 주파수와 공진 저항 값에 영향을 미친다. 틈의 폭이 급전 선로 폭과 같아지는 지점까지 증가할 때, 공진 주파수 역시 선형적으로 증가하지만 최대 변화량은 1 % 미만이다. 그러나 저항 값의 변화는 틈의 폭이 증가함에 따라 감소량이 크고, 틈의 폭이 선로 폭과 같아지게 되면 저항값은 60 % 정도 감소하게 된다.

이와 같은 변화는 선형적인 특성을 지니므로 설계할 때에는 어느 정도 예측 가능하나, 실제로 인셋 구조로 임피던스 정합을 하여 안테나를 제작 할 경우 제작상의 작은 공정 오차로 인해 임피던스 정합 값이 쉽게 틀어지게 된다.

이에 따라 본 논문에서는 위와 같은 인셋구조방식이 아닌

50 Ω 급전선을 접지면에 제작하여 패치와 접지면에서 발생하는 슬롯/T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 새로운 임피던스 정합 방법을 제안하였다.

2.2 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나 설계

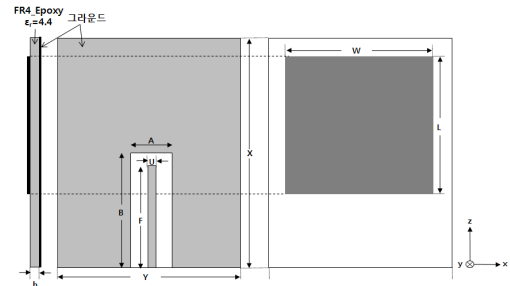


그림 2 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나

Fig. 2 The proposed single band/linear polarization patch antenna using slot capacitive coupling.

2-1에서 인셋구조 방식을 이용한 패치 안테나의 기본적인 설계방법을 이용하여 2.4 GHz대역에서 동작하는 패치 안테나를 설계하였다. 이를 이용하여 2-2절에서는 50 Ω 급전선을 접지면에 이용함으로써 생기는 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 구조의 패치 안테나를 다루었다. 그림 2는 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나의 구조를 보여주고 있으며 기존의 패치면의 50 Ω 급전선을 접지면에 이용한 CPW (Coplanar waveguide) 구조의 새로운 패치 안테나이다. 안테나의 설계는 다음과 같은 방식으로 하였다. 우선 편파특성을 만들기 위하여 패치는 정사각형으로 설계하였으며 HFSS 시뮬레이션을 이용하여 W와 L의 값은 29mm 정하였다. 실제 계산값과는 1mm정도의 오차가 발생하였다. 또한 패치와 안테나 사이의 간격은 유전체의 두께 1 mm로 고정하였으며 설계 변수 A와 F의 크기를 조절함으로써 안테나의 임피던스 정합이 가능하다.

단일대역/선형편파 패치 안테나는 설계변수 급전선(F)와 급전선과 접지면사이의 간격(A)에 따라 임피던스 정합을 이룰 수 있다. 그림 3에서는 피드(F)의 길이를 13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm로 변화 시킬 때의 안테나 반사손실 값을 확인할 수 있으며 또한 그림 4에서는 급전선과 접지면사이의 간격(A)을 조절함에 따라 변하는 안테나의 반사손실(S11)을 확인할 수 있다. 이와 같은 방법으로 2.4GHz대역에서 동작하는 단일 대역/선형편파 패치 안테나를 설계할 수 있다.

표 1 단일대역/선형편파 패치 안테나의 설계변수 값

Table 1 The geometric parameters of single band/linear polarization patch antenna

설계변수	값(mm)	설계변수	값(mm)
W	29	A	7
L	29	B	17
X	43	U	1.865
Y	36	F	16

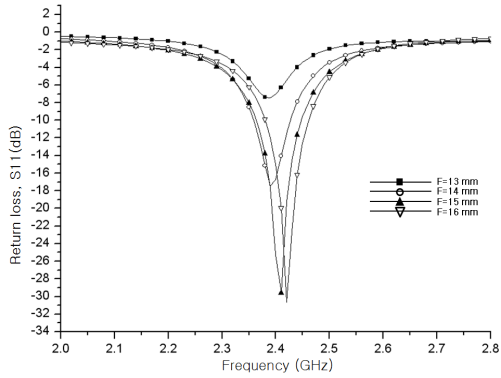


그림 3 설계변수 F의 변화에 따른 반사손실(S11)(F=13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm)

Fig. 3 Simulation return loss with the geometric parameters of F=13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm.

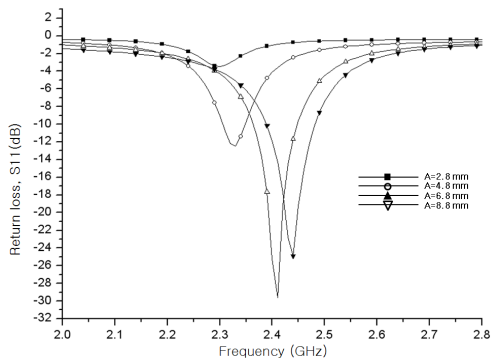


그림 4 설계변수 A의 변화에 따른 반사손실(S11)(A=2.8 mm, 4.8 mm, 6.8 mm, 8.8 mm)

Fig. 4 Simulation return loss with the geometric parameters of A=2.8 mm, 4.8 mm, 6.8 mm, 8.8 mm.

2.3 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나 설계

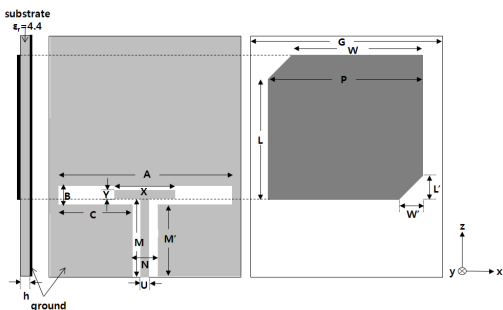


그림 5 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중 편파 패치 안테나

Fig. 5 The proposed dual band/dual polarization patch antenna using T-slot capacitive coupling.

원형편파 특성을 갖는 마이크로 스트립 패치 안테나는 Π -2의 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 방법으로 설계하는데 어려움이 있다. 원형 편파특성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하기 위하여 본 논문에서는 그림 5와 같이 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용하여야 한다. 또한 2.4 GHz에서 원형편파를 발생시키기 위해 본 논문에서는 perturbation segment를 이용하여 그림 5와 같이 정사각형 패치의 마주보는 두 모서리를 잘라서 원형편파를 생성하였다[5].

T-슬롯을 이용한 마이크로 스트립 패치 안테나는 그림 6~9에서 보여주는 것과 같이 설계변수 N, X, B, y 값으로 임피던스 정합이 가능하다. 즉, 안테나 접지면의 설계변수를 조절함으로써 2.4GHz대역에서 -20dB 이하의 반사손실(S11)을 얻을 수 있다.

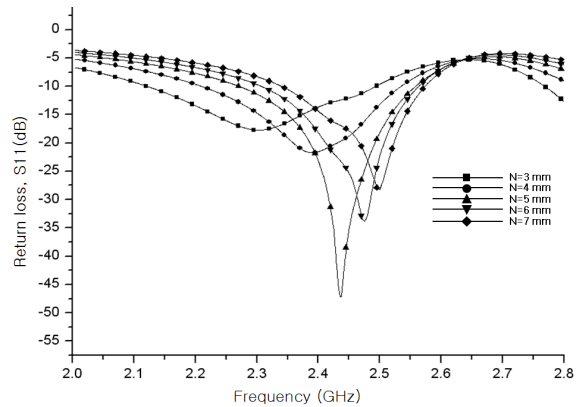


그림 6 설계변수 N의 변화에 따른 반사손실(S11)(N=3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm)

Fig. 6 Simulation return loss with the geometric parameters of N=3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm.

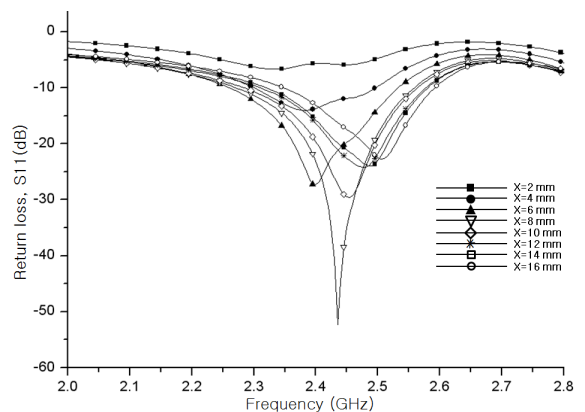


그림 7 설계변수 X의 변화에 따른 반사손실(S11)(X=2mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm)

Fig. 7 Simulation return loss with the geometric parameters of X=2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm.

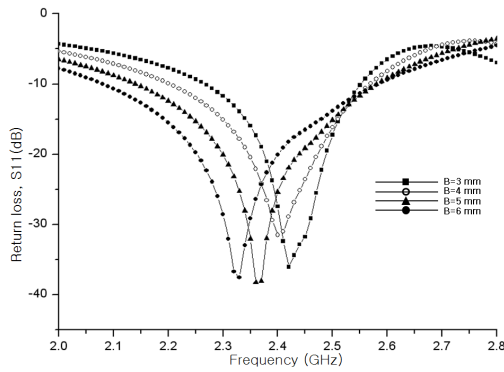


그림 8 설계변수 B의 변화에 따른 반사손실(S11)(B=3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm)

Fig. 8 Simulation return loss with the geometric parameters of B= 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm.

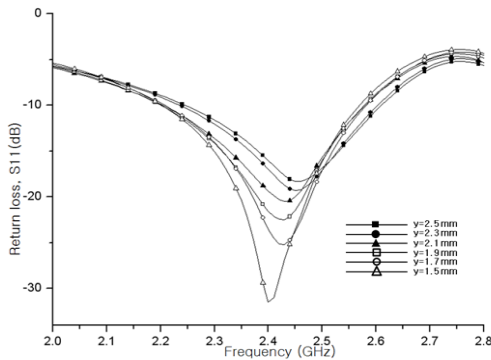


그림 9 설계변수 y의 변화에 따른 반사손실(S11)(y=1.5 mm, 1.7 mm, 1.9 mm, 2.1 mm, 2.3 mm, 2.5 mm)

Fig. 9 Simulation return loss with the geometric parameters of y=1.5 mm, 1.7 mm, 1.9 mm, 2.1 mm, 2.3 mm, 2.5 mm.

위와 같은 방법으로 2.4 GHz에서 -20 dB의 반사 손실 특성의 패치 안테나를 설계 할 수 있다.

또한 B, X, M의 값을 조절하여 2.4 GHz대역과 3.1 GHz대역의 이중대역의 안테나를 설계 할 수 있다. 즉, 설계 변수 B, X, M값으로 3.1GHz대역의 반사손실을 조절할 수 있다.

표 2 이중대역/이중편파 패치 안테나의 설계변수 값
Table 2 The geometric parameters of dual band/dual polarization patch antenna.

설계변수	값(mm)	설계변수	값(mm)	설계변수	값(mm)
W	23.5	A	33	Y	1.5
L	23.5	B	4	U	1.865
W'	3.5	C	14	M	15.4
L'	3.5	X	8	M'	14.5

표 2에 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나의 설계변수 값을 나타내었고 아래 그림 10은 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나의 시뮬레이션 값을 보여주고 있다.

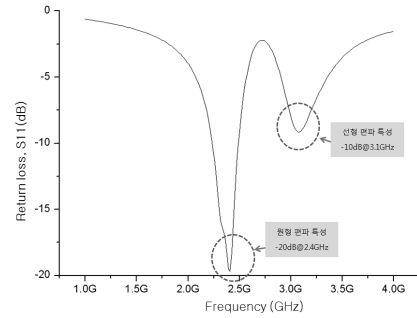


그림 10 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나의 시뮬레이션 반사계수 값

Fig. 10 Simulation return loss of dual band/dual polarization patch antenna using T-slot capacitive coupling.

2.4 GHz대역에서 원형 편파의 특성이 보이며 반사손실은 -20 dB이하이고 3.1 GHz대역에서는 선형 편파 특성에 -10 dB의 반사손실을 보여주고 있다. 또한 안테나의 편파 특성, 또는 전파의 편파 특성을 나타내는 지수의 하나인 축비는 본 이중대역/이중편파 마이크로스트립 패치 안테나에서는 시뮬레이션 상 -52dB의 Axial ratio를 보이고 있다.

3. 안테나 제작 및 측정

슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나와 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/이중편파 패치 안테나는 HFSS 시뮬레이션 툴로 설계되었다. 또한 에칭기법으로 실제 제작하여 안테나의 특성을 확인하였다. 아래 그림 11은 실제 제작된 안테나를 보여 주고 있다.

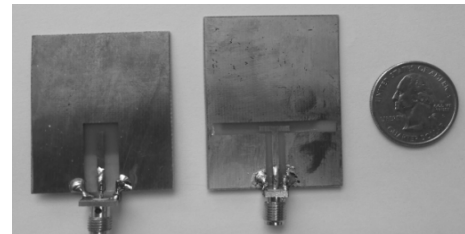


그림 11 제작된 패치 안테나 사진

Fig. 11 Photograph of the fabricated patch antenna.

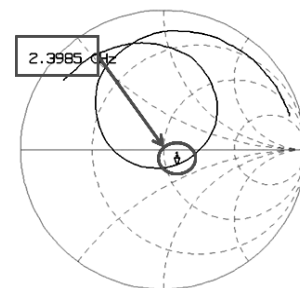


그림 12 단일대역/선형편파 패치 안테나의 스미스차트상의 S11 측정값

Fig. 12 Smith chart of single band/linear polarization patch antenna return loss(S11).

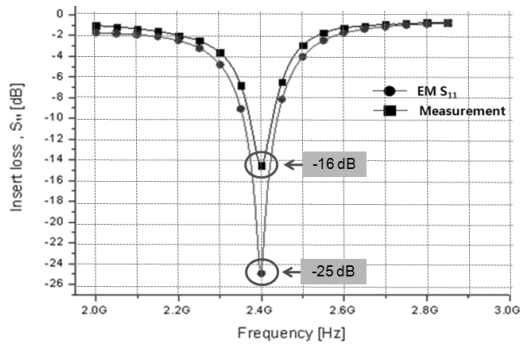


그림 13 단일대역/선형편파 패치 안테나의 반사계수(S11) 측정값 및 시뮬레이션 값

Fig. 13 Measurement and simulation results of single band/linear polarization patch antenna return loss.

그림 12은 슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 단일대역/선형편파 패치 안테나를 스미스차트 상에 표현한 측정값이며, 그림 13은 안테나의 반사손실(S11) 시뮬레이션값과 측정값을 비교하였다. 시뮬레이션 값은 2.4GHz에서 반사손실이 -25dB이하이며 측정값은 -16dB이하 이다.

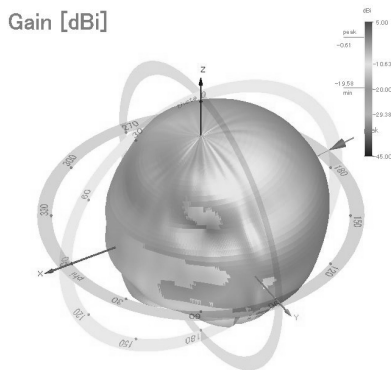


그림 14 단일대역/선형편파 패치 안테나의 2.4GHz에서의 3D 방사패턴

Fig. 14 3D Radiation pattern of single band/linear polarization patch antenna at 2.4GHz.

표 3 단일대역/선형편파 패치 안테나의 Gain과 효율

Table 3 The gain and efficiency of single band/linear polarization patch antenna

Freq. (MHz)	Beam Peak			Beam Null			Gain [dB]	Efficiency
	Value	Phi	Theta	Value	Phi	Theta		
2400	-0.650	175	90	-22251	-40	135	-6.062	24.76%
2450	-0.750	180	105	-19560	-60	120	-6.337	23.25%
2500	-2.457	180	105	-22215	-35	45	-7.902	16.21%

그림 14는 2.4GHz에서의 단일대역/선형편파 패치 안테나

3D 방사패턴을 보여주고 있다. 또한 표 3은 2.4, 2.45, 2.5GHz에서 안테나 Gain과 효율의 실제 측정값을 보여주고 있다. 2.4GHz에서의 passive gain은 -6dBi이며 효율은 24.764%이다.

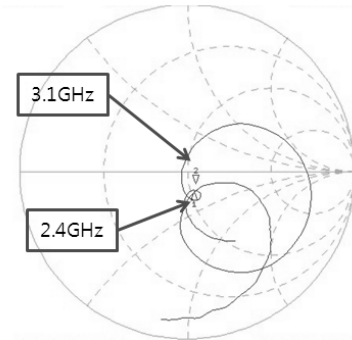


그림 15 이중대역/ 이중편파 패치 안테나의 스미스차트상의 S11 측정값

Fig. 15 Smith chart of dual band/dual polarization patch antenna return loss(S11).

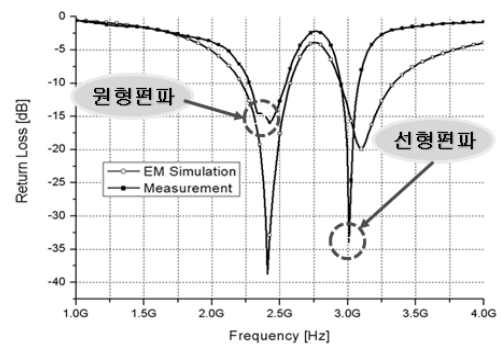


그림 16 이중대역/ 이중편파 패치 안테나의 S11 측정값 및 시뮬레이션값

Fig. 16 Measurement and simulation results of dual band/dual polarization patch antenna return loss.

그림 14은 T-슬롯 커패시티브 커플링을 이용한 이중대역/ 이중편파 패치 안테나를 스미스 차트 상에 표현한 측정값이며, 그림 15은 안테나의 반사손실 (S11)시뮬레이션값과 측정값을 비교하였다. 2.4 GHz에서는 원형편파 특성을 확인할 수 있으며 -17 dB의 반사손실(S11)을 확인할 수 있으며, 3.1 GHz에서는 선형편파특성으로 -35 dB의 반사손실을 측정을 통하여 확인할 수 있다.

그림 17는 2.4GHz와 3.1GHz에서의 이중대역/ 이중편파 패치 안테나 3D 방사패턴을 보여주고 있다. 또한 표 4은 2.4, 3.1GHz에서 안테나 Gain과 효율의 실제 측정값을 보여주고 있다. 2.4GHz에서의 passive gain은 -1.805dBi이며 효율은 24.764%이다. 또한 3.1GHz에서는 -1.492dBi이며 70.929%이다.

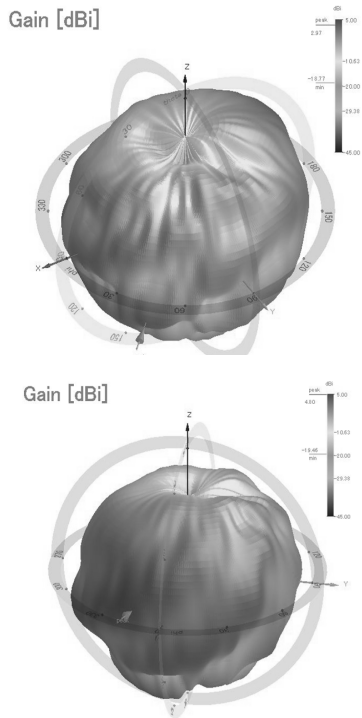


그림 17 이중대역/ 이중편파 패치 안테나의 2.4GHz, 3.1GHz에서의 3D 방사패턴

Fig. 17 3D Radiation pattern of dual band/dual polarization patch antenna at 2.4GHz and 3.1GHz

표 4 이중대역/ 이중편파 패치 안테나의 Gain과 효율
Table 4 The gain and efficiency of dual band/dual polarization patch antenna

Freq. (MHz)	Beam Peak			Beam Null			Gain [dB]	Efficiency %
	Value	Phi	Theta	Value	Phi	Theta		
2400	3.138	-40	75	-18.337	15	165	-1.805	65.99
3100	4.452	5	105	-19.159	165	165	-1.492	70.92

4. 결 론

본 논문에서는 패치와 접지면의 50 Ω 급전선 사이의 슬롯 커패시티브 커플링으로 임피던스 정합이 가능한 새로운 구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였고, 슬롯 커패시티브 커플링을 이용하여 선형편파 패치 안테나와 원형편파 패치 안테나의 구조를 설계하였다. 선형편파 패치 안테나는 2.4 GHz대역에서, 원형편파 패치 안테나는 2.4 GHz대역과 3.1 GHz대역에서 이중대역 및 이중편파 특성을 확인할 수 있다. 설계된 안테나는 HFSS (Ansoft Co.)로 최적화하였고 실제 제작된 안테나와 비교하였다. 반사계수(S11) -10 dB 이하에서 단일대역/선형편파 패치 안테나는 2.37 GHz~2.42 GHz로서 50 MHz의 대역폭을 얻었으며, 이중대역/이중편파 패치 안테나는 2.23 GHz~2.57 GHz로서 340

MHz 대역폭과 2.95 GHz~3.325 GHz의 375 MHz의 대역폭을 얻었다.

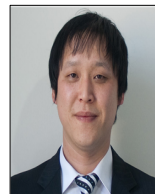
감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행 되었습니다 (과제번호. 10033845). 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

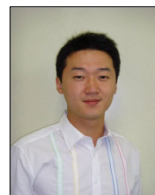
- [1] Edited by H. F. Lee and W. Chen, "Advances in microstrip and printed antennas", John Wiley & Sons, Inc. 1997
- [2] J. S. Chen and K. L. Wong, "A single-layer dual-frequency rectangular microstrip patch antenna using a single probe feed,"Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 11, pp.83-84, 1996.
- [3] S.Maci and G.B.Gentili, "Dual-frequency patch antennas,"IEEE Antennas Propagat. Magaz. ,vol.39, pp.13-19, Dec. 1997.
- [4] K. L. Wong and K. P. Yang, "Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot,"Electron. Lett., vol.33, pp. 1916-1917, 1997.
- [5] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antenna", Peter Peregrinus Ltd., 1989.

저 자 소 개



서 기 원

2008년 국민대학교 전자과 졸업
2008년 3월~현재 : 국민대학교 전자과 (공학석사과정)
관심분야 : RFIC, EMC, US, 무선 전력 전송 시스템
E-mail : kiwon0607@naver.com



노 형 환

2005년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사), 2007년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사), 2007년 3월~현재 : 국민대학교 대학원박사과정
관심분야 : IEEE 802.11n 기술, RFIC, UHF RFID, 자기유지 시스템, 무선 전력 전송 시스템
E-mail : hhroh@kookmin.ac.kr



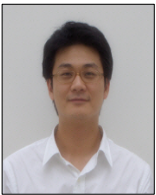
성 영 락

1989년 한양대 전자공학과 졸업(공학사)
1991년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
(공학석사), 1995년 KAIST 전기 및 전자
공학과 졸업(공학박사), 1998년~현재 : 국
민대 전자정보통신공학부 부교수
관심분야 : RFID USN 통합 네트워크를
위한 센서노드, 모바일 RFID 산업화 및
표준화, 자기유지 시스템
E-mail : yeong@kookmin.ac.kr



오 하 령

1983년 서울대 전기공학과 졸업(공학사)
1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
(공학석사), 1992년 KAIST 전기 및 전자
공학과 졸업(공학박사), 1996년~현재 : 국
민대 전자정보통신공학부 부교수
관심분야 : RFID USN 통합 네트워크를
위한 센서노드, 모바일 RFID 산업화 및
표준화, 자기유지 시스템
E-mail : hroh@kookmin.ac.kr



박 준 석

1987년 국민대 전자공학과 졸업(공학사)
1993년 국민대학교 전자공학과 졸업(공
학석사), 1996년 국민대학교 전자공학과
졸업(공학박사), 1998년~현재 : 국민대학
교 전자정보통신공학부 부교수
관심분야 : RFID USN 통합 네트워크를
위한 센서노드 개발, 모바일 RFID 산업
화 및 표준화, 자기유지 시스템, 무선 전
력 전송 시스템, u-City
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr