

I. 서 론

현재 전 세계적으로 디지털 통신기술의 급속한 발전으로 Cellular, PCS, GSM, GPS 및 인공위성을 이용한 다양한 종류의 이동통신 서비스가 시행되고 있다. 그리고 국내에서도 Cellular, PCS 등의 서비스가 상용 중에 있으며, IMT-2000 서비스를 눈앞에 두고 있다. 또한 국내외적으로 무선을 이용한 인터넷 서비스가 활성화되고 초고속 정보통신 인프라 구축의 필요성이 확산되어 국내 초고속 유선 인터넷 사업자를 중심으로 유무선 통합 인터넷 서비스 등의 새로운 주파수가 요구되어 왔으며 현재 사용 중인 2.4 GHz, 5.8 GHz 대역의 ISM 밴드는 이용의 한계에 다다랐다. 그리고 ISM 대역 내의 서로 다른 무선기기와 WLAN 서비스간의 혼신이 발생하는 등 문제점이 제기되어 WRC-2003에서 5 GHz 대역에서 이동업무에 대한 주파수 분배를 고려하여 5 GHz (5.138~5.350 GHz) 대역에 새로운 주파수 분배를 결정하기로 하였다. 이러한 배경으로 통신 시스템의 대역폭은 서로 다른 주파수 대역에 상응하는 다른 표준들의 사용과 비트율(bit-rates)의 증가로 인하여 그 크기가 증가하고 있어 넓은 주파수 대역(wide band) 및 여러 주파수 대역(multi band)을 만족하는 안테나에 대한 연구가 매우 중요한 상태이다.

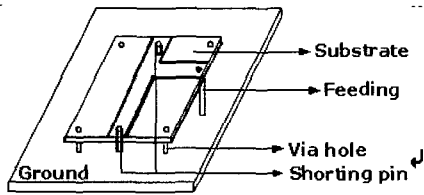
따라서 본고에서는 PIFA, 내장형 Chip antenna, Slot antenna 등 대표적인 멀티밴드 안테나에 대한 국내의 동향을 간략히 살펴보고 2.4, 5.7 GHz 대역을 동시에 수신할 수 있는 이중대역 meandered PIFA, 그리고 5 GHz 대역의 광대역 마이크로 스트립 라인

fed slot 안테나를 설계 및 제작한 내용을 다루어 보고자 한다.

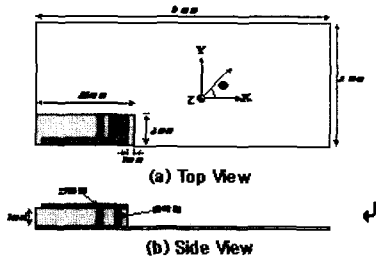
II. 멀티밴드 안테나

멀티밴드 안테나는 두 개 이상의 주파수 대역에서 공진을 하는 안테나를 의미하여 각기 다른 공진 주파수의 비(f_1/f_2)가 매우 중요한 파라미터이다. 대표적인 이중대역 안테나 중 하나인 PIFA(Planar Inverted F-type Antenna)는 안테나가 역 에프 형태 모양을 띄고 있어 붙여진 이름이며 방사체의 형태에 따라 매우 다양한 주파수 특성을 나타낸다. 논문^[1]에서는 방사체에 각기 다른 방사라인을 구성하여 주파수 비(f_1/f_2)가 1.8~2.4이며 900 MHz와 1.8 GHz, 2 GHz 대역을 동시에 수신이 가능한 PIFA를 제시([그림 1](a))하였으며 PCB상에 패치를 패턴화하여 전체 안테나 사이즈와 이중 주파수 대역을 만족하는 방법^{[2]~[4]}([그림 1](b)), 광대역화를 위하여 기존의 방사체에 기생소자를 추가하는 방법^[5]([그림 1](c)) 등 여러 연구가 진행 중에 있으며 또한 이중대역 안테나로서 이중공진 주파수 비(f_1/f_2)가 1.37~2.05이고 첫 번째 주파수의 변화없이 두 번째 주파수를 변화하기 용이한 printed monopole 안테나^[6]([그림 2](a)), 원통 유전체의 윗면에 원형 패치를 패턴화하여 3 GHz 대역에서 약 50 % 정도의 광대역을 구현한 안테나도 소개된 바 있다^[7]([그림 2](b)).

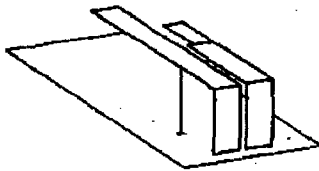
최근 연구가 활발히 진행중인 내장형 칩 안테나는 일반적으로 높은 유전율을 갖는 substrate를 사용



(a) Triple band PIFA



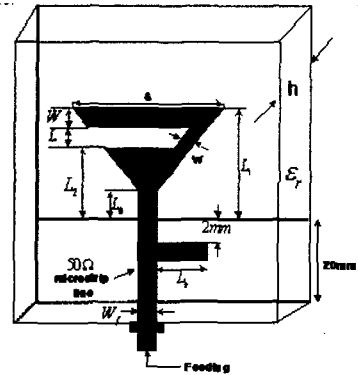
(b) Intergrated PIFA



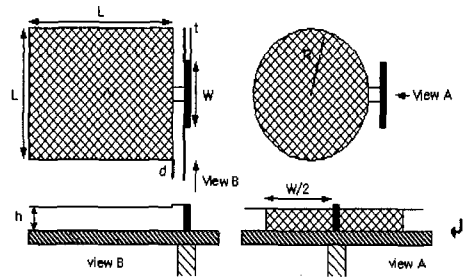
(c) 기생패치 PIFA

[그림 1] 다양한 이중대역 PIFA의 형태

한다([그림 3] 참조). Ceramic, Alumina 등의 높은 유전율의 substrate를 사용할 경우 안테나의 칩소화가 가능^[8]하다는 장점이 있는 반면 낮은 유전율을 갖는 substrate를 사용할 때에 비하여 대역폭이 좁아지며^[9] 가격이 비싸지는 단점을 수반하게 된다. 한편 안테나의 광대역화를 위해 유전체 공진기(DR)에 meander 라인을 삽입하여 소형(25×10×11.5 mm)이며 1.9 GHz 대역에서 약 25% 이상의 광대역이 가능한 안테나^[10]가 소개된 바 있다. 또한, 고유전체 칩에 folded meander line을 삽입하여 안테나의 사이즈를 줄이고 대역폭을 증가시키는 방법^[11], ascen-



(a) Triangular monopole antenna

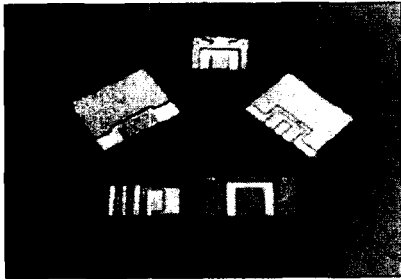


(b) Suspended patch antenna

[그림 2] 다양한 형태의 이중대역 및 광대역 안테나

dant tapered meander 라인을 유전체에 인쇄하여 여러 주파수에서 공진을 일으키게 하는 방법^[12], 그리고 고유전체의 substrate에 미앤더 라인의 형태를 변화하여 소형이며 2 GHz에서 약 28%의 광대역 특성을 나타내는 안테나^[13] 등 소형 광대역을 추구하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

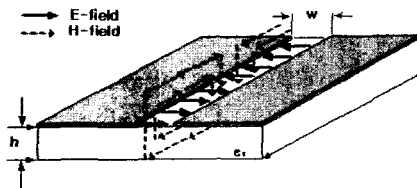
최근 광대역화 방안으로 대두되고 있는 slot 안테나의 경우, coaxial, stripline, microstrip line 등 여러 가지 방법으로 급전이 가능하며 다양한 구조로 설계할 수 있다. 또한 넓은 대역폭을 얻을 수 있으며, 평면구조로 이동체 뿐만 아니라 다양한 분야에 적용이 가능하다.



[그림 3] 여러 형태의 단말기 내장형 칩 안테나

일반적으로 마이크로스트립 패치안테나는 협대역을 갖는 단점을 수반하게 되는데 슬롯 안테나는 이런 단점을 극복할 수 있다. [그림 4]는 슬롯라인의 모습과 슬롯라인의 Near Field 분포를 보여주고 있다^[14].

낮은 유전율($2.2 \leq \epsilon_r \leq 9.8$)의 유전체를 이용한 슬롯라인은 안테나로서 적용이 가능하며 일반적으로 $0.0015 \leq w/h \leq 1.0$, $0.006 \leq h/\lambda_0 \leq 0.06$ 을 만족하는 범위 내에서 설계되어진다. $0.0015 \leq w/\lambda_0 \leq 0.075$, $3.8 \leq \epsilon_r \leq 9.8$ 을 만족하는 슬롯라인의 파장(λ_s)은 식 (1)에

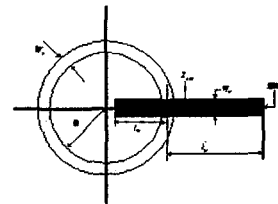


[그림 4] 슬롯라인의 구조와 Near Field 분포

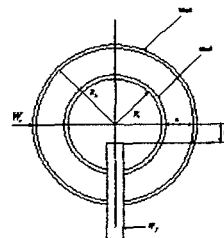
의하여 구할 수 있다^[8].

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_s}{\lambda_0} = & 0.9217 - 0.227 \ln \epsilon_r \\ & + 0.0322(w/h) \left[\frac{\epsilon_r}{0.435 + w/h} \right]^{1/2} \\ & - 0.01 \left[4.6 - \frac{3.65}{\epsilon_r^2 (9.06 - 100 w/\lambda_0) \sqrt{w/\lambda_0}} \right] \\ & \times \ln(h/\lambda_0) \end{aligned} \quad (1)$$

[15]의 논문에서는 [그림 5]의 (a)에서와 같이 WLAN 밴드용 링구조 슬롯 안테나를 소개하고 있다. 외부 링의 직경은 약 32 mm 정도이며 5.5 GHz 대역에서 약 15 dB 반사손실 기준으로 25.5%의 임피던스 대역폭을 보이고 있다. 또한 (b)에서와 같이 [16]에서 소개된 광대역 링구조 멀티밴드 슬롯 안테나의 경우, 각각 반경이 다른 slot 안테나를 구현함으로써 2.4 GHz, 5.2 GHz에서 공진하는 안테나를 설계하는 등 소형화를 이룰 수 있는 방향으로 연구가 진행되고 있다.



(a) Annual slot



(b) Multi annual slot

[그림 5] 멀티밴드 링구조 슬롯 안테나

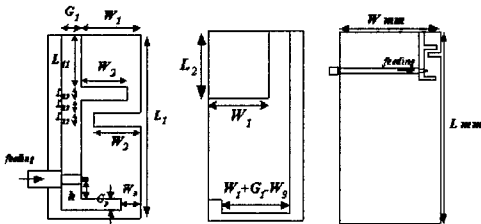
III. 멀티밴드/광대역 안테나 설계기술

3-1 Meandered PIFA

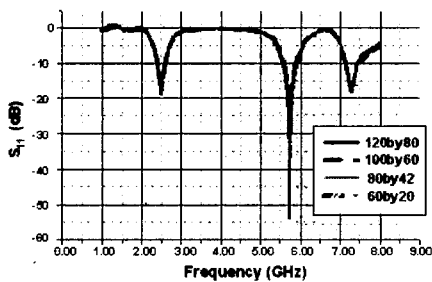
Meandered PIFA는 기존의 PIFA구조에 소형화를 위하여 방사체를 Meander 형태로 구부려 구현한 안테나로서 전체적인 구조는 [그림 6]과 같다. 그림에서와 같이 Coaxial 라인은 안테나의 전면 방사체 부분에 연결되어 있으며 유전체의 경우 두께가 1.6 mm인 FR-4 기판을 사용하였다. 전체적인 안테나의 크기는 14×5.35 mm이다.

[그림 7]은 기판의 크기(W×L mm)에 따른 반사손실 (S_{11})을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 기판의 사이즈에 무관하게 안테나의 S_{11} 이 일정함을 알 수 있다.

[그림 8]은 안테나와 접지면과의 간격 G_1 , G_2 의 변화에 따른 S_{11} 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서



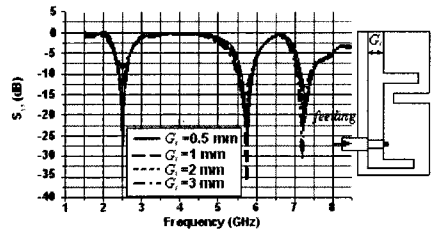
[그림 6] Meandered PIFA의 구조



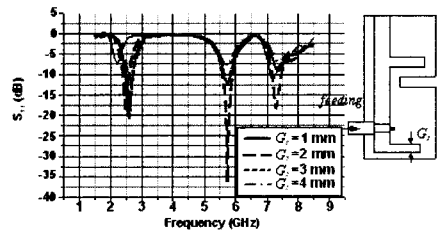
[그림 7] 기판 크기에 따른 안테나의 S_{11} 비교($L \times W$ mm)

와 같이 간격이 변화함에 따라 공진하는 주파수의 변화없이 반사계수의 크기가 변하여 주파수 매칭이 용이함을 알 수 있다.

[그림 9]는 후면 방사체의 길이(L_2)에 따른 S_{11} 의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 후면 방사체의 길이가 증가할수록 첫 번째 공진 주파수(2.4 GHz)의 큰 변화 없이 두 번째 공진 주파수가 크

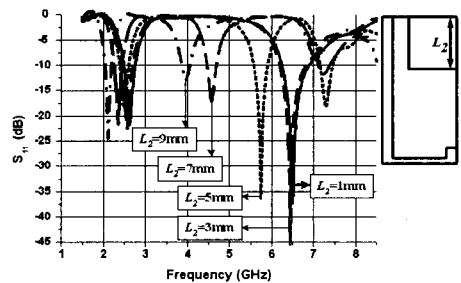


(a) G_1 에 따른 반사손실 변화 그래프



(b) G_2 에 따른 반사손실 변화 그래프

[그림 8] 안테나의 접지면과의 간격(G_1 , G_2)의 변화에 따른 S_{11} 변화



[그림 9] 후면 방사체의 길이(L_2)에 따른 S_{11} 의 변화

게 변화함을 알 수 있다. 이는 주로 두 번째 공진 주파수가 후면 방사체의 크기에 의존한다는 것을 의미한다.

[그림 10]은 실제 제작된 안테나의 그림을 보여주고 있다. 기판의 전체크기는 $80 \times 42 \times 1.6$ mm이며 안테나의 크기는 14×5.35 mm(전면), 4.5×5.35 mm(후면)이다.

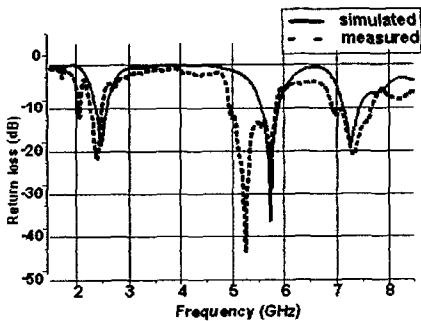
[그림 11]은 시뮬레이션과 실제 제작한 안테나의 반사손실을 비교한 그래프이다. 공진하는 주파수가 유사함을 알 수 있으며 제작된 안테나의 경우, 반사손실 10 dB 기준으로 9.24 % (2.27~2.49 GHz), 16.33 % (4.95~5.83 GHz)의 대역폭을 가짐을 알 수 있다.

[그림 12]는 제작된 안테나의 방사패턴을 보여주고 있다. 패턴 측정은 2.4, 5.7 GHz에서 각각 xy plane ([그림 11](a)), xz plane([그림 11](b))에서의 Co-Pol

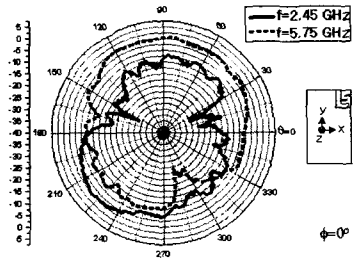


(a) 안테나 전면 (b) 안테나 후면

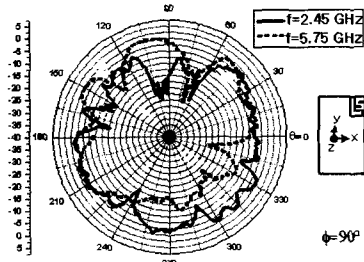
[그림 10] 실제 제작된 안테나 사진



[그림 11] 시뮬레이션과 제작된 안테나의 S_{11} 비교 그래프



(a) xz plane (Co-Pol)



(b) xy plane (Co-Pol)

[그림 12] 측정된 안테나의 방사패턴 그래프

을 측정하였으며 그림에서와 같이 두 주파수에서의 패턴이 서로 유사하며 전형적인 PIFA에서의 패턴과 비슷함을 알 수 있다.

3-2 Microstrip line fed slot antenna

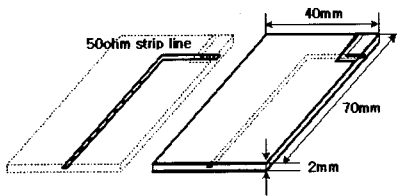
[그림 13]은 슬롯 안테나의 급전구조와 안테나를 포함한 PCB 기판의 전체적인 모습을 보여주고 있다. 기존에 진행되어온 대부분 연구는 사방이 막혀 있는 형태의 슬롯이었으나 본 논문에는 양끝이 개방되어 있는 새로운 형태의 슬롯안테나를 제시하였다. substrate는 저가형 기판인 FR-4 ($\epsilon_r = 4.6$)를 사용하였으며 기판의 크기는 $40 \times 70 \times 2$ mm이다.

안테나의 급전은 스트립라인을 이용하였다. 시스템을 동작시키기 위해 유용한 TEM mode 전송선로인 스트립라인은 MIC에 빈번하게 사용되며 그라운드

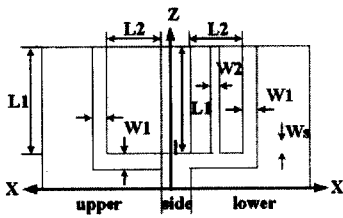
도체에 의해 완전 shielding 되어 있어 신호의 왜곡을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다^[18]. [그림 13]은 스트립라인의 경로와 외부 그라운드들의 모습을 보여주고 있다.

[그림 14]는 설계된 안테나의 구조와 파라미터를 보여주고 있다. [그림 14]의 (a)는 안테나의 전개도와 파라미터를 보여주며, (b)는 Layer 구성을 보여주고 있다.

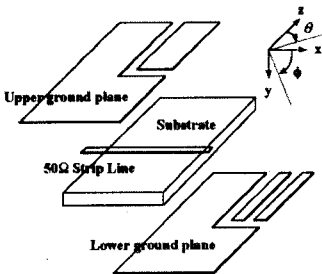
L_1 은 z축 방향의 슬롯라인의 길이이며 공진 주파



[그림 13] 급전라인과 안테나를 포함한 PCB 기판의 모습



(a) Geometry and Parameters



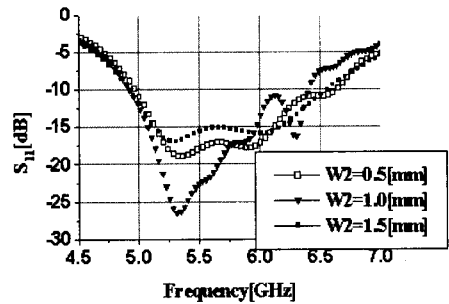
(b) The formation of layer

[그림 14] 설계된 안테나 파라미터와 안테나의 구조

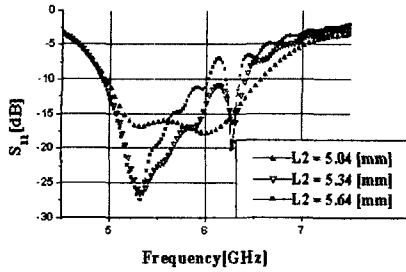
수를 결정짓는 주요 파라미터이다. L_2 는 슬롯라인에 최대전력을 전달하기 위하여 고려된 x축 방향의 스트립라인의 길이이다. W_1 은 전면과 후면 그라운드에 식각된 기본 슬롯라인의 폭이며 W_2 는 후면 패치에 식각된 보조 슬롯라인의 폭이다. [그림 14]의 (a)에서 점선으로 표시된 부분은 스트립라인이 지나가는 경로를 나타내며 W 는 스트립라인의 폭이다.

안테나의 공진 주파수는 z축 방향으로 늘어선 W_1 의 폭을 가지는 기본 슬롯라인의 길이에 의해 크게 영향을 받으며 L_1 의 길이는 약 $\lambda_g/2$ 이다. 유전체의 높이가 2 mm이며 슬롯라인의 폭(W_1)을 1.5 mm로 하였을 때 FR-4 ($\epsilon_r=4.6$) 기판에서 5.5 GHz에 해당하는 $\lambda_g/2$ 는 식 (1)에 의해 약 13.3 mm가 된다. 안테나의 급전은 $\lambda_g/4$ 개방회로 단일 스테브의 원리를 이용하였다. 슬롯과 직각을 이루며 지나가는 스트립라인의 $\lambda_g/4$ 가 되는 지점은 라인 중단이 개방되었으므로 전류가 최대가 되며 이때 슬롯라인에 최대전력을 전달하게 된다^{[17],[18]}. 이러한 이론에 근거하여 5.5 GHz에서 유전체의 두께가 2 mm이며 스트립라인의 폭 W_s 가 0.5 mm일 때 $\lambda_g/4$ 는 약 6.29 mm이다.

[그림 15]는 W_2 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화를 보여 준다. W_2 의 적절히 조절함에 따라 서로 다른 두께의 공진 주파수가 인접하여 광대역이 가능한 결과를 얻을 수 있다.



[그림 15] W_2 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화



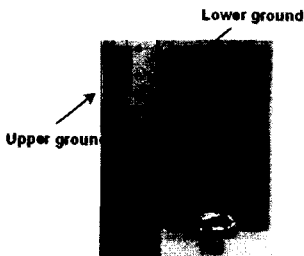
[그림 16] L_2 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화

W_2 의 폭을 가지는 보조 슬롯라인의 삽입되면 그 영향으로 $\lambda_g/4$ 가 되는 스트립라인의 길이 L_2 가 변하게 되고 슬롯라인에 최대 전력을 전달하기 위하여 L_2 의 길이를 조절할 필요가 있다. [그림 16]은 L_2 의 길이의 변화에 따른 S_{11} 의 변화를 보여준다. 보조 슬롯라인의 폭(W_2)을 일정하게 하고 L_2 의 길이를 적절히 조절하면 넓은 대역특성을 얻을 수 있다. L_2 의 길이가 증가할수록 낮은 주파수대의 공진 특성이 좋아지는 특성을 보임을 알 수 있다.

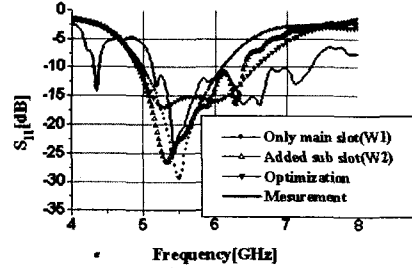
<표 1>은 앞서 소개한 파라미터들을 최적화하여 최종적으로 설계된 안테나의 Parameter값들을 보여주고 있다.

<표 1> 최적화를 통해 설계된 안테나 파라미터

Parameter	L_1	L_2	W_1	W_2
Value(mm)	12.55	5.04	1.5	1.0



[그림 17] 제작된 안테나

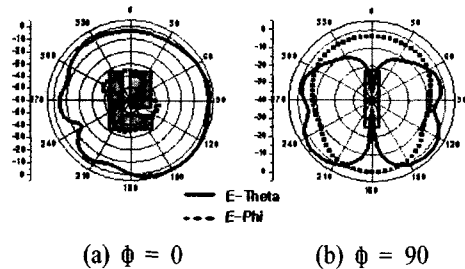


[그림 18] 설계된 안테나의 S_{11} 비교

[그림 17]은 제작된 안테나의 그림을 나타내고 있으며, [그림 18]은 설계된 안테나와 제작된 안테나의 S_{11} 의 변화를 비교한 그래프이다.

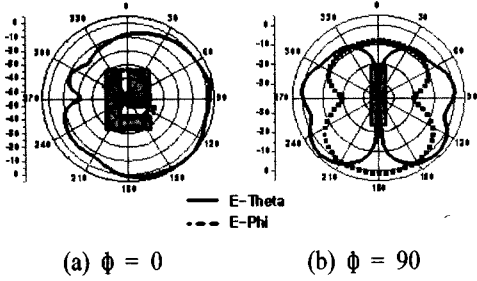
최종적으로 설계된 안테나는 중심주파수 5.75 GHz에서 10 dB 기준 대역폭 28.54 % (4.85~6.39 GHz)를 만족하며 제작된 안테나는 중심주파수 6.23 GHz에서 10 dB 기준 대역폭 35 % (5.12~7.34 GHz)를 만족한다.

[그림 19]는 설계된 안테나의 첫 번째 공진 주파수인 5.28 GHz에서 $\phi=0^\circ$ 과 90° 인 면에서 θ 의 변화에 따른 방사패턴의 변화 모습을 보여주고 있으며 [그림 20]은 설계된 안테나의 두 번째 공진 주파수인 6 GHz에서 θ 의 변화에 따른 방사패턴의 변화 모습을 보여주고 있다. 그리고 [그림 21]에서는 안테나의 중심 주파수 5.75 GHz에서의 θ 의 변화에 따른 방사패턴을 보여주고 있다.

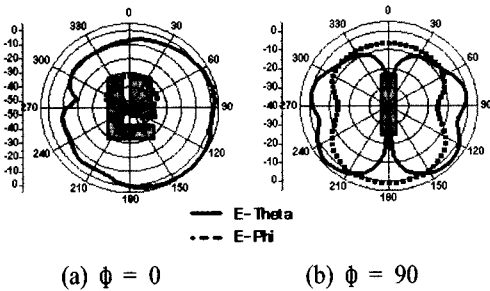


[그림 19] 5.28 GHz에서 θ 에 따른 방사패턴의 변화

참고 문헌



[그림 20] 6 GHz에서 θ 에 따른 방사패턴의 변화



[그림 21] 5.75 GHz에서 θ 에 따른 방사패턴의 변화

[그림 19]~[그림 21]에서 보듯이 본 논문에서 설계된 안테나는 5 GHz 전 대역에서 유사한 방사패턴을 보이고 있으며 3.9~4.2 dBi의 이득을 갖는다.

IV. 결 론

본 고에서는 이중대역 안테나에 관해 평면형 역에프 안테나, 미앤더 라인 칩안테나, 슬롯 안테나를 살펴보았으며 2.4 GHz, 5.7 GHz 대역을 중심으로 대표적인 이중대역 안테나 두 가지를 선정하여 설계 및 제작하여 보았다. 이상에서와 같이 앞으로의 무선통신에서는 경량, 박형, 광대역 또는 멀티밴드 특성을 가진 안테나 기술개발이 필수적이며 이에 대한 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

- [1] L. Economou, R. J. Langley, "Multi-band mobile telephone antennas", *11th International conference on AP*, no. 280, pp. 754-757, 2001.
- [2] Ericsson Inc, "Analysis of intergrated inverted-F antennas for bluetooth applicatons", *antennas and propagation for wireless communications*, pp. 21-24, 2000.
- [3] T. Sittironnarit, Mohommod Ali, "Analysis and design of a dual-band folded microstrip patch antenna for handheld device applications", *proceed. IEEE southeastcon.*, pp. 255-258, 2002.
- [4] Mingyan Fan, Zhenghe Feng and Xuexia Zhang, "Dual frequency double-branch printed inverted-F antenna", *2002 Antenna and propogation society international symposium*, vol. 3, pp. 208-511, 2002.
- [5] A. F. Muscat, C. G. Partini, "Novel compact handset antenna", *11th International conference on AP*, no. 480, pp. 17-20, 2001.
- [6] Yi-Fang Lin, Hua-Ming Chen, Chin-Chun Kuo and Kuang-Chih Huang, "Dual-frequency coplanar triangular monopole antenna", *2002 Antenna and propogation society international symposium*, vol. 1, pp. 48-51, 2002.
- [7] Zhi Ning Chen, Michael Y. W. Chia, "Broad-band suspended plate antenna with vertical grounded wall", *11th International conference on AP*, no. 480, pp. 61-64, 2001.
- [8] K. Fuzimoto, J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech house, 2000.
- [9] M. Ali, G. J. Hayes, H. S. Hwang and R. A Sadler, "Triple-band internal antenna for mobile hand-held terminals", *2002 Antenna and pro-*

pagation society international symposium, pp. 32-35, 2002.

- [10] Dea-sik Yim, Seong-ook Park and Chung-kook Lee, "A Novel small size and wide-band internal chip antenna for IMT-2000", *2002 Antenna and propagation society international symposium*, vol. 1, pp. 18-21, 2002.
- [11] Sangman Moon, Jongmung Woo, "Folded meander line and multi-layered dielectric chip antenna for surface mount", *Proceed. of APMC 2001*, pp. 472-475, 2001.
- [12] Atef Z. Elsherbeni, Chun-Wen Paul Huang and Charles E. Smith, "Wide band meander line antenna for wireless communication systems", *2000 Antenna and propagation society international symposium*, pp. 17-20, 2000.
- [13] 전찬익, 이범선, "새로운 미엔더 라인 칩 안테

나 설계", 2002년도 한국통신학회 하계종합학술발표회, 25(1), pp. 341, 2002년.

- [14] J. Y. Jan, "Low-profile dual frequency circular microstrip antenna for dual ism band", *Electronics Letters*, vol. 37, no. 16, pp. 999-1000, August 2001.
- [15] F. Le Bolter, A. Louzir, "Multi-band annular slot antenna for WLAN applications", *IEEE AP-S*, vol. 2, pp. 529-532, 2001.
- [16] Xianming Qing, Chia M. Y. W, "Broadband annular dual-slot antenna for WLAN applications", *IEEE AP-S*, vol. 2, pp. 452-455, 2002.
- [17] K. C. Gupta, Ramesh Gard, Inder Bahl and Prakash Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines*, second edition, 1996.
- [18] Pozar David M., *Micro wave engineering*, 2nd ed. 1998.

≡필자소개≡

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과 (공학석사)

1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학 (공학박사)

1995년 5월~1995년 8월: 미국 네브래스카

주립대 포닥(Post Doctor)

1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수

[주 관심분야] 안테나 및 전자파이론, 초고주파 수동회로

정 민 석



1999년 8월: 경희대학교 우주과학과 (공학사)

2002년 2월: 경희대학교 정보통신대학원 (공학석사)

2002년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 및 전자파이론, RF 회로

전 찬 익



2002년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)

2002년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계