

2.4GHz ISM 밴드용 소형 슬롯 안테나의 설계

The Design of a compact slot antenna for 2.4GHz ISM band applications

김의중*, 김병삼*, 장봉기*, 진정희*, 김영*, 이영순*

Ui-Jung Kim*, Byoung-Sam Kim*, Bong-Ki Jang*, Jeong-Hi Jin*,
Young Kim* and Young-Soon Lee*

요 약

본 논문에서는 2.4 GHz ISM 밴드용 소형 슬롯 안테나를 설계하였다. 안테나의 구조는 제한된 PCB 공간을 활용하여 안테나를 설계할 수 있도록 하기위해 폴디드 슬롯 안테나에 부가적인 미앤더 슬롯이 도입된 형태가 이용된다. 제작된 안테나의 동작 주파수 범위는 2.32~2.58 GHz로서 비대역폭이 11%이고, 동작 대역폭 범위에서 다이폴 안테나와 유사한 방사패턴이 유지된다. 또한 제작된 안테나는 49% 이상의 방사효율과 1.2dBi 이상의 이득을 갖는다. 설계 결과의 검증을 위해 모의실험 결과와 측정 결과를 비교하여 제시하였다.

Abstract

In this paper, a compact slot antenna for 2.4GHz ISM band applications has been designed. The folded slot with some additional meander sections are used in the design of the antenna within the restricted PCB space. The operating frequency band and the fractional bandwidth of the antenna is about 2.32~2.58 GHz and 11% , and the radiation patterns within the operation bandwidth are almost same. Also, the radiation efficiency and gain of the antenna is more than 49% and 1.2 dBi respectively. To check the validity of the design result, the measurement and simulation results are compared and presented.

Key words : slot antenna, ISM band, Zigbee, Wireless communication

I. 서 론

휴대용 무선 통신기기의 보급과 다양한 분야에서 무선 통신 기술을 응용하여 생활의 편리함을 추구할 수 있는 서비스들이 늘어남에 따라 다양한 형태의 안테나에 대한 필요 또한 높아지고 있다. 그 중에서도 무선기기의 크기가 점점 소형, 경량화 되기 때문에 보다 적은 공간을 차지하는 안테나의 개발 필요성이

높아지고 있다. 이러한 점을 감안할 때 생산 공정이 단순하면서 대량 생산에 용이한 PCB(printed circuit board) 안테나는 매우 좋은 대안으로 인식되고 있다.

일반적인 PCB 안테나에서 이용되는 도체 패치(patch) 대신에 슬롯(slot)을 방사체로 이용하는 슬롯 안테나의 경우, 안테나의 크기를 소형화하거나 대역폭을 확보하기에 용이하기 때문에 최근 많은 연구자들에게 관심의 대상이 되고 있다[1-7].

* 금오공과대학교 전자공학부(Department of Radio Communication Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 김의중

· 투고일자 : 2009년 3월 16일

· 심사(수정)일자 : 2009년 3월 18일 (수정일자 : 2009년 4월 13일)

· 게재일자 : 2009년 4월 30일

슬롯 안테나의 크기를 소형화하는 방법 중에서 가장 대표적인 것은 슬롯을 미앤더(meander) 형태로 구부려 전기적인 길이를 조절하는 방법이다. 이러한 안테나의 기존 연구 결과들에는 일정한 두께를 갖는 슬롯을 미앤더 형태로 이용[1]하거나, 서로 다른 슬롯의 폭을 이용하는 방법, 미앤더 슬롯을 bow-tie 형태로 변형하는 방법 등이 있다.[2-3]. 이처럼 미앤더 형태를 갖는 슬롯을 이용하게 되면 원하는 동작 주파수에서 동작하는 안테나를 기존에 비해 30~50% 정도의 크기로 소형화된 안테나를 설계할 수 있게 된다. 그러나 미앤더 형태 슬롯 안테나의 동작 대역폭(operation or impedance bandwidth)과 방사효율(radiation efficiency)은 각각 1~3%, 4~8% 정도로써 기존의 슬롯 안테나에 비해 매우 낮아지게 된다. 이러한 미앤더 슬롯 안테나의 낮은 방사효율을 개선하기 위해 참고문헌 [4]에서는 도체 반사판을 갖는 미앤더 슬롯 안테나구조의 두 접지 면을 도체 비아(conducting via)로 서로 연결하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 이용하게 되면 미앤더 슬롯 안테나의 방사효율과 이득을 개선할 수 있게 되지만, 도체 반사판을 갖지 않는 일반적인 슬롯 안테나 구조에는 적합하지 않다.

이에 반해 접지 면과 내부 도체에 의해 형성되는 직사각형 슬롯 루프(loop) 형태를 갖는 폴디드 슬롯 안테나(folded slot antenna)[5-7]는 다른 슬롯 안테나들과 비교하여 넓은 동작 대역폭과 높은 방사효율을 갖는 것으로 알려져 있다. 그러나 폴디드 슬롯 안테나는 미앤더 슬롯 안테나에 비해 넓은 공간을 필요로 한다. 그 이유는 폴디드 슬롯 안테나의 동작 주파수는 직사각형의 긴 변에 해당하는 슬롯 길이에 의해 결정되며, 이 길이가 반 파장($1/2$ wavelength) 정도이기 때문이다.

본 논문에서는 2.4 GHz 주파수 대역을 이용하는 무선기기에 적합한 소형 슬롯 안테나 설계방법에 대해 살펴보고자 한다. 본 논문에서 설계될 안테나는 폴디드 슬롯 안테나 구조에 부가적인 미앤더 슬롯이 더해진 형태를 갖는다. 이러한 구조를 이용하게 되면 폴디드 슬롯 안테나의 크기를 효과적으로 줄일 수 있게 되며, (반 파장 정도의 크기를 갖는)제한된 PCB 공간을 활용하여 안테나의 설계가 가능해진다. 또한

설계된 안테나는 기존의 미앤더 슬롯 안테나에 비해 넓은 대역폭과 높은 방사효율을 갖게 된다.

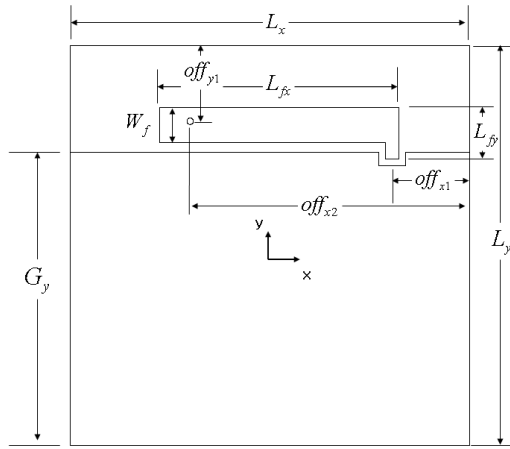
안테나의 설계를 위해서는 모의실험 소프트웨어인 CST MWS(CST Microwave studio 2008)가 이용되었고, 제작된 안테나의 반사손실(return loss) 및 방사패턴(radiation pattern) 측정 결과를 모의실험 결과와 비교하여 제시하였다.

II. 안테나의 구조

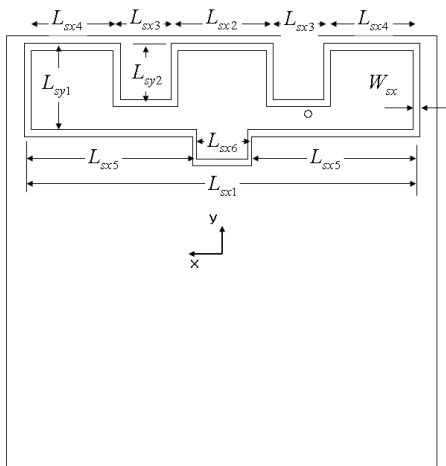
그림 1에 설계될 안테나의 구조를 보였다. 그림 1(a)에서 전체 PCB 공간($L_x \times L_y$)의 $L_x \times G_y$ 부분은 무선기기 동작에 필요한 회로 부품들이 실장 될 공간이며, 안테나는 이 공간을 제외한 나머지 공간에 설계된다. 그리고 PCB의 top 면에는 회로 부품(예를 들어 Transceiver chip)의 신호 출력단 또는 임피던스 정합회로와 직접 연결되는 마이크로스트립 급전선이 위치하게 되고, bottom 면에 위치한 PCB의 접지면(ground plane)에는 전파 방사에 이용되는 슬롯이 위치하게 된다. 안테나의 급전선으로 사용되는 마이크로스트립 라인의 길이(L_{fx}, L_{fy})는 접지면의 슬롯 내부 도체와 연결되는 비아의 위치에 의해 결정되고, 급전선의 시작 위치(off_{x1})는 회로부품들의 배치에 의해 결정된다.

그림 1(b)에는 설계될 안테나의 bottom 면(접지면) 구조를 보였다. 접지 면에는 top 면에서 미앤더 슬롯이 포함된 직사각형 모양의 슬롯 루프가 위치한다. 슬롯 루프는 내부 도체와 이를 둘러싼 접지면에 의해 형성되며, 내부 도체는 급전선과 비아로 직접 연결된다. 급전선을 통해 입력된 신호가 비아를 통해 접지면에 위치한 슬롯 내부 도체로 전달되고, 슬롯 루프를 여기(excitation)하여 공간상으로 전파되도록 한다.

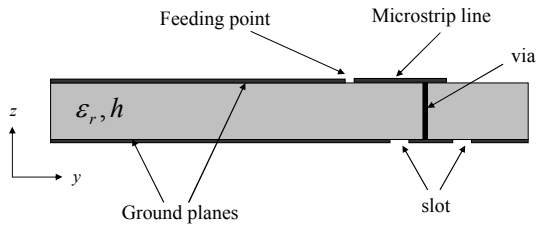
따라서 접지 면에 위치한 슬롯 루프의 각 부분 길이를 조절함으로써 원하는 주파수에서 동작하는 안테나를 설계할 수 있게 된다. 물론 급전선의 길이에 의해서도 안테나의 동작 특성이 변화하게 되지만 그 영향은 슬롯에 비해 적다. 그리고 비아의 위치(off_{y1}, off_{x2})는 안테나의 동작 주파수(operation frequency)와 대역폭(bandwidth) 등을 고려하여 결정된다.



(a) top surface of the antenna



(b) bottom surface of the antenna



(c) side view of the antenna

그림 1. 제안된 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

III. 안테나의 설계

안테나의 설계에는 비유전율이 4.4이고 두께가 1.6mm인 FR-4 기판($\tan\delta = 0.02$)이 이용되었다. 설계에 이용된 기판의 크기($L_x \times L_y$)는 30x30mm이며, 안테나의 설계에는 회로부품의 실장 공간($L_x \times G_y$, 30x22mm)을 제외한 나머지 공간(30x8mm)이 이용된다. 여기에서 안테나의 설계에 이용되는 PCB 크기는

설계될 안테나의 중심주파수(2.45 GHz)에서 약 1/2 관내 파장(guided wavelength)에 해당한다. 따라서 안테나의 크기는 1/2 파장보다 작아야 하기 때문에 일반적인 폴디드 슬롯 안테나 구조를 이용할 수 없게 된다. 그러나 그림 1에 보인 바와 같이 부가적인 미앤더 슬롯을 도입하게 되면 제한된 공간 내에 안테나를 설계할 수 있게 된다.

안테나의 설계는 동작 주파수와 대역폭을 고려하여 급전선과 비아의 위치, 슬롯의 각 부분 길이 및 위치를 조절함으로써 가능하게 된다. 아래에는 슬롯의 크기와 형태를 결정하는 대표적인 파라미터들 변화에 따른 반사손실(return loss) 특성 변화를 보였다.

그림 2는 상부 슬롯에 위치하는 미앤더 슬롯 간의 거리를 결정하는 파라미터인 L_{sx2} 에 따른 반사손실 변화를 모의실험한 결과이다. 그림에서 보인 바와 같이 L_{sx2} 값이 5에서 11mm로 길어짐에 따라 안테나의 반사손실이 최대가 되는 공진 주파수는 점차 높아지고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 3에는 하부 슬롯의 길이인 L_{sx5} 에 따른 반사손실 변화를 보였다. 이 경우에도 L_{sx5} 의 길이가 9.0에서 12mm로 길어짐에 따라 안테나의 공진 주파수는 높아지고 있음을 알 수 있다. 즉 슬롯의 상부에 위치한 미앤더 슬롯간의 거리(L_{sx2}) 또는 하부 슬롯의 길이(L_{sx5})가 증가하게 되면 공진 주파수가 높아지게 된다.

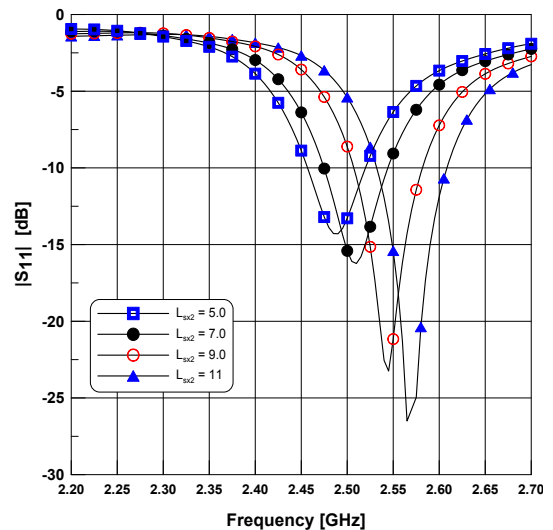


그림 2. L_{sx2} 값에 따른 반사손실 비교

Fig. 2. The return losses of the antenna versus the value of L_{sx2} .

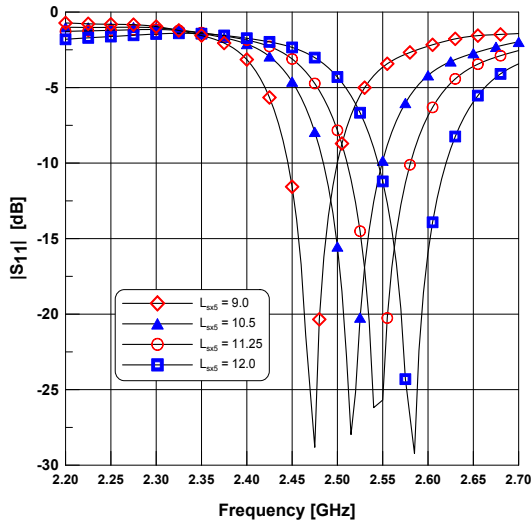


그림 3. L_{sx5} 값에 따른 반사손실 비교

Fig. 3. The return losses of the antenna versus the value of L_{sx5} .

여기에서 주목할 점은 앞서 살펴본 L_{sx2}, L_{sx5} 값들이 변하더라도 전체 슬롯의 길이나 PCB 접지면에서 차지하는 공간은 변화하지 않는다는 것이다.

그림 4에는 슬롯의 y축 방향 길이에 해당하는 L_{sy1} 값에 따른 반사손실 변화를 보였다. y축 방향의 슬롯 길이가 5~6으로 길어짐에 따라 슬롯의 총 길이는 길어지게 되며, 안테나의 공진 주파수는 낮아지게 된다.

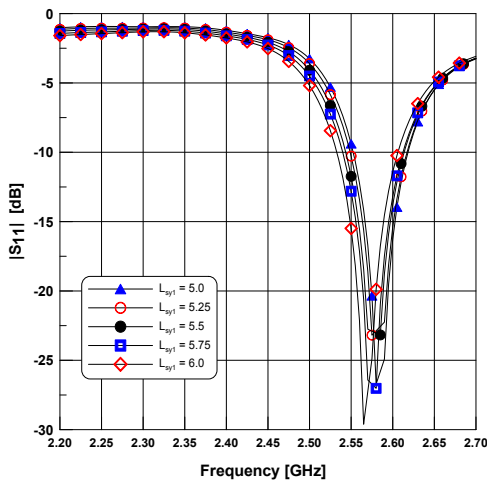


그림 4. L_{sy1} 값에 따른 반사손실 비교

Fig. 4. The return losses of the antenna versus the value of L_{sy1} .

위에서 살펴본 모의실험 결과들로부터 슬롯의 총 길이에 의해 공진 주파수가 조절됨을 알 수 있다. 또

한 슬롯의 총 길이가 증가하지 않더라도 부가적으로 도입된 미앤더 슬롯을 조정하면 동일한 효과를 기대할 수 있다. 따라서 한정된 공간 내에 안테나를 설계해야 하는 경우에 본 논문에서의 안테나 구조가 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

표 1에는 본 논문에서 설계된 안테나의 최적화된 파라미터들을 보였다. 그림 2~4에서 보인 모의실험 결과들에 이용된 슬롯의 길이 파라미터들 ($L_{sx1}, L_{sx2}, L_{sx3}$, etc.)은 표 1에 제시된 값들이 이용되었으며, 급전부의 길이 및 위치에 해당하는 파라미터들 (L_{fx}, L_{fy} , etc.)은 안테나의 동작 대역폭, 방사패턴 및 방사효율을 고려하여 최적화 되었다.

표 1. 최적화된 안테나의 설계 파라미터

Table 1. The optimized parameters of the antenna design.

파라미터	값 [mm]	파라미터	값 [mm]
L_{sx1}	27.1	L_{sy1}	6.0
L_{sx2}	6.65	L_{sy2}	3.91
L_{sx3}	4.0	L_{fx}	18
L_{sx4}	6.225	L_{fy}	3.875
L_{sx5}	11.75	W_{sx}	0.5

설계된 안테나에서의 전파 방사가 접지면에 위치한 슬롯에 의해 이루어지고 있음을 확인해 보기 위해, 슬롯에 여기되는 표면전류 분포를 그림 5에 보였다. 그림에서 알 수 있듯이 접지 면에 위치한 슬롯 주변에 대부분의 표면전류가 집중되어 있다. 따라서 설계된 안테나로부터의 전파 방사가 슬롯 주변의 표면전류에 의한 것임을 확인할 수 있다.

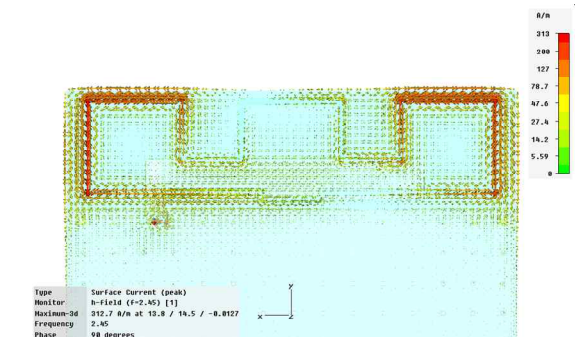
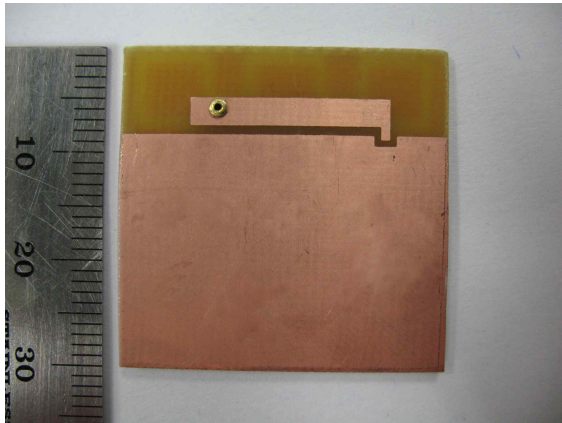


그림 5. 설계된 안테나의 표면전류 분포(@ 2.45 GHz)

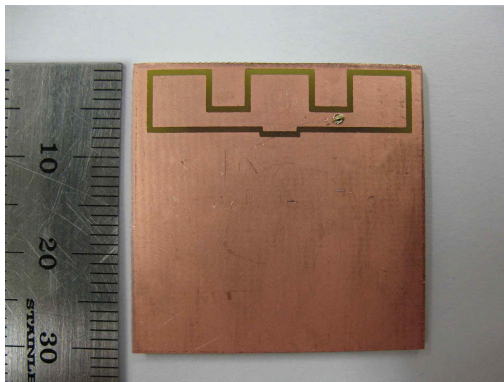
Fig. 5. The surface current distribution of the designed antenna(@ 2.45 GHz)

IV. 제작 및 측정

제작된 안테나의 실물 사진을 그림 6에 보였다. 그림 6에서 알 수 있듯이 PCB의 크기는 30x30mm 이며, 안테나가 차지하는 공간은 30x8mm이다.



(a) top surface of the antenna



(b) bottom surface of the antenna

그림 6. 제작된 안테나의 실물사진

Fig. 6. The photograph of the fabricated antenna.

제작된 안테나의 반사손실 측정을 위해서는 Agilent사의 E8358A VNA(vector network analyzer)가 이용되었으며, 전자파 무반향실(anechoic chamber)에서 방사패턴을 측정하였다. 그리고 모의실험과 측정 결과를 비교하여 제시하였다.

그림 7은 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 모의실험과 비교한 것으로써, 모의실험에서 예측된 반사손실 특성이 측정결과와 비교적 잘 일치하고 있다. 제작된 안테나의 동작 대역폭($|S_{11}| < -10dB$)은 모의실험 결과에서 예측된 190 MHz(2.31~ 2.5 GHz)보다 다소 넓은 260 MHz(2.32~2.58 GHz)로써, 2.4 GHz 주파수 대역을 이용하는 Zigbee, Wireless Lan,

Bluetooth에서 사용되는 전 주파수 범위(2.4~2.5 GHz)를 포함하게 된다.

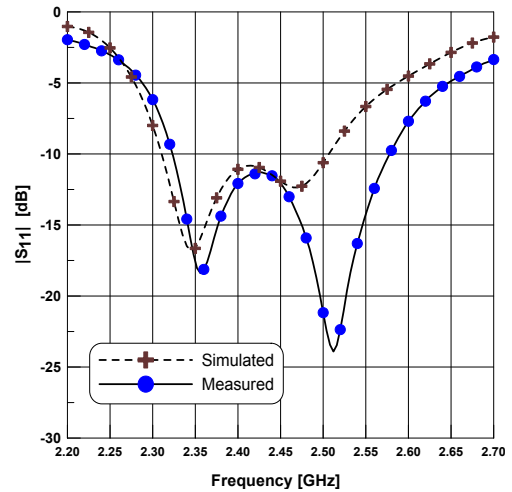
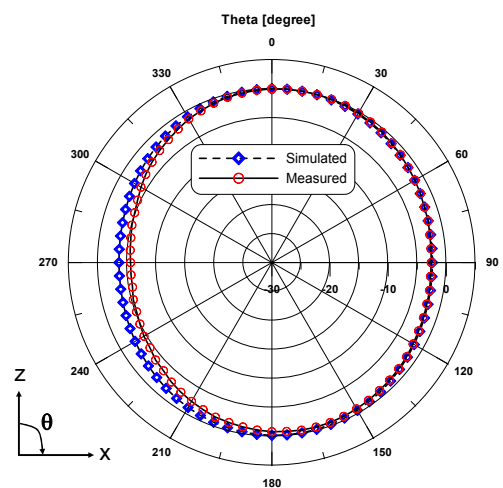


그림 7. 모의실험과 측정된 안테나의 반사손실

Fig. 7. Simulated and measured scattering parameter of the antenna.

그림 8과 9에는 각각 x-z 평면과 y-z 평면에서의 방사패턴 측정 결과를 모의실험 결과와 비교하여 제시하였다. 그림들에서 알 수 있듯이 안테나의 방사패턴이 동작 대역폭 범위에서 매우 일정하게 유지되고 있다. 그리고 제작된 안테나의 방사효율은 기존의 미앤더 슬롯 안테나의 4~8%에 비해 높은 49~63.3%이고, 안테나의 이득은 1.23~2.74 dBi이다.



(a) 2.4 GHz

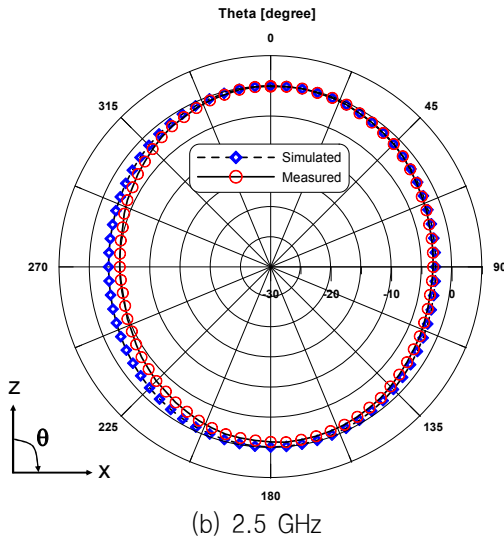


그림 8. x-z 평면에서의 방사패턴 비교
Fig. 8. The radiation patterns of the simulated and measurement on the x-z plane.

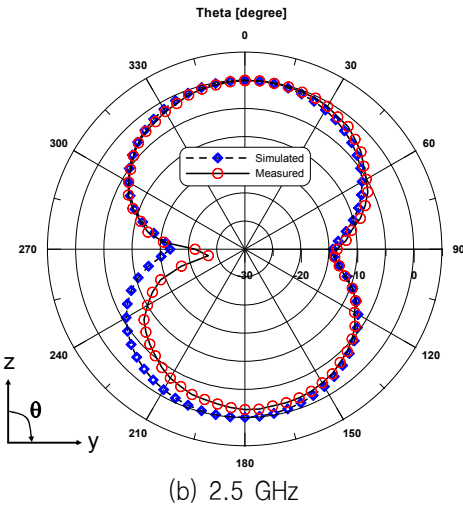
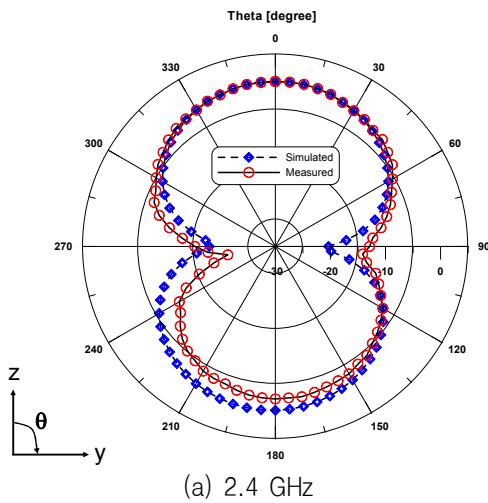


그림 9. y-z 평면에서의 방사패턴 비교
Fig. 9. The radiation patterns of the simulated and measurement on the y-z plane.

그림 8에서 보인 x-z 평면상의 방사패턴 측정 결과를 살펴보면, 전체적으로 비교적 균일한 방사패턴을 확인할 수 있다. 즉, $\theta = 270$ 방향을 기준으로 약 90도 범위에서는 이득의 편차가 3.0~3.4 dBi 정도이지만 나머지 각도에서는 이 값이 3.0 dBi 이하이다.

그림 9에서 보인 y-z 평면상의 방사패턴은 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나와 유사함을 알 수 있다. 위의 두 결과를 종합해 보면 설계된 안테나가 동작 대역폭 범위에서 반파장 다이폴 안테나와 유사한 (omni-directional) 방사패턴을 가지고 있음을 알 수 있다. 각 주파수에서의 방사패턴 측정 결과들은 표 2에 정리되어 있다.

표 2. 주파수별 방사패턴 측정 결과 요약

Table 2. Summary of the measured radiation pattern results.

Frequency [GHz]	Directivity [dBi]	Gain [dBi]	Efficiency [%]
2.40	4.32	1.23	49.0
2.45	4.81	2.78	62.7
2.50	4.73	2.74	63.3

V. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역용 소형 무선기기에 적용 가능한 슬롯 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나의 측정 결과 비 대역폭(fractional bandwidth)은 약 11%(2.32~2.58 GHz)이었고, 안테나의 방사효율과 이득은 각각 49~63%, 1.23~2.74 dBi이었다.

본 논문에서 설계된 안테나는 폴디드 슬롯 안테나 구조에 부분적으로 미앤더 슬롯이 추가된 구조를 가지고 있다. 본 논문에서 제안한 안테나 구조의 특징은 추가된 미앤더 슬롯 부분을 조절함으로써 (약 반 파장 정도의 크기를 갖는)제한된 PCB 공간을 활용하여 안테나의 설계가 가능하다는 것이다. 그리고 기존에 제안된 미앤더 슬롯 안테나들에 비해 넓은 대역폭과 높은 방사효율을 갖는다. 또한 반 파장 다이폴 안테나와 유사한 방사패턴이 동작 대역폭 범위에서 일정하게 유지되고 있기 때문에 무지향

(omni-directional) 방사패턴이 요구되는 무선기기들에 적용되기에 적합할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-20060353-D00024)과 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] J. S. H. Y. Wang, C. Emson, M. J. Lancaster, "Compact meander slot antennas," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 24, no. 6, pp. 377-380, 2000.
- [2] K. Jung-Min, K. Kun-Wook, Y. Jong-Gwan and P. Han-Kyu, "Compact stripline-fed meander slot antenna," *Electronics Letters*, vol. 37, no. 16, pp. 995-996, 2001.
- [3] W. Sang-Hyuk, K. Jung-Min, Y. Tae-Hoon, L. Hyun-Jin, P. Jae-Yeong, Y. Jong-Gwan and P. Han-Kyu, "Bow-tie-shaped meander slot antenna for 5GHz application," *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, pp. 456-459, 2002.
- [4] K. Jung-Min and Y. Jong-Gwan, "A parallel-plate-mode suppressed meander slot antenna with plated-through-holes," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 4, pp. 118-120, 2005.
- [5] W. R. Deal, V. Radisic, Q. Yongxi and T. Itoh, "A broadband microstrip-fed slot antenna," *Technologies for Wireless Applications, Digest. 1999 IEEE MTT-S Symposium on*, pp. 209-212, 1999.
- [6] P. Y. L. Ching-Lieh Li, Chun-Kai Huang, "Impedance bandwidth improvement for microstrip-fed slot antennas using short-circuited termination," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 45, no. 1, pp. 67-70, 2005.
- [7] B. Z. W. Qing-Qiang He, Zhong-Liang Yin, "Research on broadband characteristics of double folded-slot antenna with back ground conductor," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 8, pp. 1829-1833, 2007.
- [8] Trade mark of CST corp.

김 의 중 (金義中)



1996년 2월: 금오공과대학교 전자통신공학과 (공학사)

1998년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)

2005년 2월: 금오공과대학교 전자통신공학과 (공학박사)

2005년~2006년 3월: (주)오성전자 리모컨사업부 연구소

2006년 9월~현재: 금오공과대학교 모바일연구소 연구교수

관심분야 : Closed-form Green's function method, 안테나의 산란 문제, 도파관 필터

김 병 삼 (金炳三)



1994년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)

2004년 8월: 금오공과대학교 전자및 전기공학과 (공학석사)

2007년 3월~현재: 금오공과대학교 전자통신공학과 (공학박사)

2001년 6월~현재: WILL SYSTEM

(대표)

관심분야 : ESD(ElectroStatic Discharge) 분석 및 대책 분야, 전자파 환경

장 봉 기 (張奉基)



1995년 2월: 광운대학교 전자재료 공학과 (공학사)
1998년 2월: 경북대학교 통신공학과 (공학석사)
2007년 3월~현재: 금오공과대학 전파통신공학과 (공학박사)
2005년 1월~현재: 국방기술품질원 유도전자센터 선임연구원

관심분야 : 레이더 시스템 설계, EMC/EMP, 전자파 환경 및 최적화, 안테나의 산란 문제

김 영 (金 英)



1988년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1988년 1월 ~ 1993년 5월: 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원
1993년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연

구원

1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수

2003년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 조교수

관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계

진 정 희 (陳政喜)



1998년 2월: 금오공과대학 전자공학과 (공학학사)
2003년 2월: 금오공과대학 전자공학과 (공학석사)
2005년 3월~현재: 금오공과대학 전파통신공학과 (공학박사)
1986년 8월~1991년 3월: 금성전기(주)

전자파 시험 대책 연구원

1991년 4월~1994년 8월: 금성정밀(주) 전자파 시험 대책 연구원

1994년 9월~2000년 4월: LG정밀(주) 전자파 시험 대책 설계 연구원

2000년 5월~2004년 6월: LG이노텍(주) 전자파 시험 대응 설계 설비 최적 설계 주임 연구원

2004년 7월~현재: 넥스원퓨처(주) 신뢰성센터 전자파 Part 장

관심분야 : EMC/EMP 대응 설계, 한국군의 전자파 환경 연구 분야, System 전자파 최적 환경 공학, 전자파 측정 설비(챔버 최적 설계 분야)

이 영 순 (李永淳)



1979년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년~현재: 금오공과대학교 전

자공학부 교수

관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란 문제, 도파관 불연속, 개구 결합