

지그비 모듈용 미앤더 슬롯 안테나 설계 및 반사손실 개선에 관한 연구

이영순† · 김의중* · 김병삼** · 장봉기***

†,*,**,*** 금오공과대학교 전자공학부

A Study on the Design of Meander Slot Antenna for the Zigbee Module and Improvement of Its Return Loss

Young-Soon Lee† · Ui-Jung Kim* · Byoung-Sam Kim** · Bong-Ki Jang***

†,*,**,*** School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약 : 지그비 모듈용 소형 PCB안테나를 30mm×8mm의 좁은 영역으로 제한된 공간에서 구현함과 동시에 안테나의 반사손실을 개선시키기 위하여, 기생소자로 접지면과 이격되는 도체를 가지는 미앤더 슬롯 안테나가 제안된다. 본 논문을 통해 설계되어 제작된 안테나의 공진주파수는 대략 2.44GHz이고, 대역폭은 113MHz(VSWR≤2)이다. 방사패턴은 동작주파수영역에서 다이폴 안테나의 방사특성과 거의 유사하고, 안테나의 효율 및 이득은 각각 60% 및 2.7dBi이상의 값을 가진다. 이러한 안테나의 모든 특성들은 지그비에 응용되기 위해 요구되어지는 규격을 모두 만족함을 알 수 있다. 본 논문이 제안하는 안테나의 타당성을 보여주기 위해 모의실험 결과 및 측정결과를 비교하여 제시하였다.

핵심용어 : 지그비 응용, 슬롯 안테나, 미앤더링, 접지면과 이격된 도체, 기생소자

Abstract : In order to design small printed antenna restricted within narrow area of 30mm×8mm for the Zigbee module and improve its return loss, meander slot antenna with a floating conductor as the parastic element has been proposed. The resonant frequency and bandwidth(VSWR≤2) of the antenna designed and fabricated in the present study is about 2.44GHz and 113MHz respectively. The radiation pattern is almost similar to that of dipole antenna within the operation frequency range. Also the radiation efficiency and gain of the proposed antenna is more than 60% and 2.7dBi respectively. It has been observed that the characteristics the proposed antenna mentioned above satisfy the specification required of the Zigbee application. In order to validate the proposed antenna, some simulated and measured results are presented and compared.

Key words : Zigbee application, Slot antenna, Meandering, Floating conductor, Parastic element

1. 서 론

본 논문에서는 홈 네트워크를 구성하는데 필요한 지그비(Zigbee) 모듈용 2.4GHz대역의 내장 안테나를 개발한 과정을 제시하고자한다. 설계될 안테나는 지그비 모듈을 구성하는 부품들이 실장되는 PCB의 일부분을 이용하여 설계되며, 지그비 모듈과 동일한 PCB의 일부분이 이용되기 때문에 별도의 조립 과정이 필요하지 않게 된다. 또한 PCB 제작과정과 동일한 공정을 이용하기 때문에 안테나 부품에 해당하는 비용이 매우 적으며 대량 생산시 성능의 편차가 매우 적어질 수 있다는 장점을 갖는다. 본 논문에서의 내장형 안테나는 기존의 지그비 모듈 PCB의 약 30% 정도의 면적(30mm×8mm)을 이용하여 안테나가 설계되어야 하며, 방사특성은 기존의 다이폴 안테나와 유사한 특성을 갖도록 설계되어야 한다.

최근 PCB안테나에서 방사체(Radiator)를 도체 패치(Patch)

대신에 슬롯(Slot)을 이용하는 슬롯안테나의 연구가 관심의 대상이 되고 있는데, 그 이유는 슬롯안테나가 패치안테나에 비해 안테나 크기를 소형화하면서도 대역폭을 확보하는데 용이하기 때문이다.[1-4] 그러므로 본 논문에서는 다이폴안테나와 유사한 방사특성을 가지면서 극히 제한된 면적을 사용하여 안테나의 소형화 설계에 적합한 미앤더(Meander) 슬롯안테나를 안테나의 기본구조로 선택하였다.[3-4]

본 논문에서의 지그비 모듈용 내장형 안테나의 설계는 2차에 걸쳐 진행되었으며, 안테나의 모의실험[5]에는 CST사의 MWS(Microwave Studio)가 이용되었다. 먼저 MWS를 이용하여 미앤더 슬롯 안테나의 기본 구조의 변화에 따른 주파수 응답 특성을 살펴보고 최적화의 반사손실 및 대역폭을 가지는 기본 안테나 구조에 대한 설계를 진행하였다. 이렇게 모의실험을 통해 설계된 안테나를 1차로 지그비 모듈용 PCB에 제작한 후, 반사손실을 측정하고 모의실험결과와 비교해보았다. 1'

† 교신저자 : 정희원, yslee@kumoh.ac.kr 010)3826-4810

* 대표저자 : 정희원, elijah@kumoh.ac.kr 011)9960-9310

** 정희원, bskim@willsystem.net 010)4533-9836

*** 정희원, jang815@hanmail.net 019)335-8878

차로 제작된 내장형 안테나로부터 반사손실을 줄이고 대역폭을 증가시키기 위한 안테나 특성 개선을 위해, 슬롯 패턴의 정중앙에 위치하여 펄스(Pulse)모양으로 돌출된 접지면을 gap으로 floating하여 기생소자 성분을 부가하는 방법을 사용하기로 하였다. 그리하여 1차로 설계 제작된 안테나를 사용하여, 수작업으로 gap을 조금씩 잘라내면서 측정을 통해 가장 개선된 반사손실 및 대역폭 특성을 가지는 gap크기를 결정하였다. 1차 설계 제작된 안테나의 동일한 슬롯 패턴을 사용하면서, 결정된 gap만을 가지는 내장형 안테나를 2차로 제작하여 반사손실 및 방사패턴 등의 측정결과를 제시하였다. 그 결과 지그비 모듈에서 요구되는 안테나의 특성이 충분히 만족함을 알 수 있었고, 그 타당성을 보이기 위해 2차 설계된 내장형 안테나의 모의실험 결과를 측정결과와 비교하여 제시하였다.

2. 내장형 안테나의 설계

내장형 안테나는 표1과 같은 설계 기준을 만족하도록 설계되어야 하며 지그비 모듈과 동일한 PCB를 이용하므로, 안테나 설치를 위한 별도의 조립 공정이 필요하지 않는다.

Table 1 Specification required for designing the internal antenna

Mechanical specification	
Demension	30mm×8mm (max.)
Operation temp.	-30° ~ +70°
Electronic Specification	
Frequency range	2400 ~ 2485MHz
Antenna gain	+2dBi (min.)
3dB Beam width	120° (min.)
VSWR	Less than 2
Impedance	50 ohm
Polarization	Linear (vertical/horizontal) or Circular (left/right hand)

2.1 내장형 안테나의 1차 설계

본 논문에서 설계될 내장형 안테나는 지그비 모듈과 동일한 PCB에 설계되어야 하므로 지그비 모듈용 PCB에서 모듈 구성 부품들을 제외한 나머지 공간을 이용하게 된다. 또한 지그비 모듈용 PCB의 크기가 한정되어 있기 때문에 안테나의 설계에 이용될 수 있는 공간도 함께 한정되게 된다.

그림 1에서는 본 연구에서 설계될 내장형 안테나의 기본구조를 보였다.

그림 1(a)에서 볼 수 있듯이 지그비 모듈용 PCB의 전체 크기는 30mm × 30mm이며, 안테나의 설계에 이용되는 부분은 30mm × 8mm이다. 그리고 PCB의 두께와 비유전율은 각각 1.6mm와 4.2이다.

그림 1(b)는 지그비 chip 및 RF소자와 같은 지그비 모듈의 부품이 실장 될 PCB 윗면에서 안테나 급전구조를 제시한 그림

이고, 그림 2(b)는 PCB의 뒷면인 접지면에서 안테나의 방사부 역할을 하게 될 미앤더 슬롯 구조를 제시한 그림이다. 이러한 안테나의 기본구조는 MWS를 이용한 수직 차례의 모의실험을 통해, 본 논문의 PCB크기(30mm × 30mm) 및 허용된 안테나 점유 면적(30mm × 8mm)의 경우에 대하여 2.4GHz 대역에서 가장 적합한 공진특성을 가질 뿐만 아니라, 반사손실 개선을 위한 튜닝(안테나 정합)이 용이한 구조로 선택되어진 것이다. 본 논문에서는 전체 모의실험 결과 중에서 최적화 과정에 이용된 대표적인 설계 결과만을 제시하고자 한다.

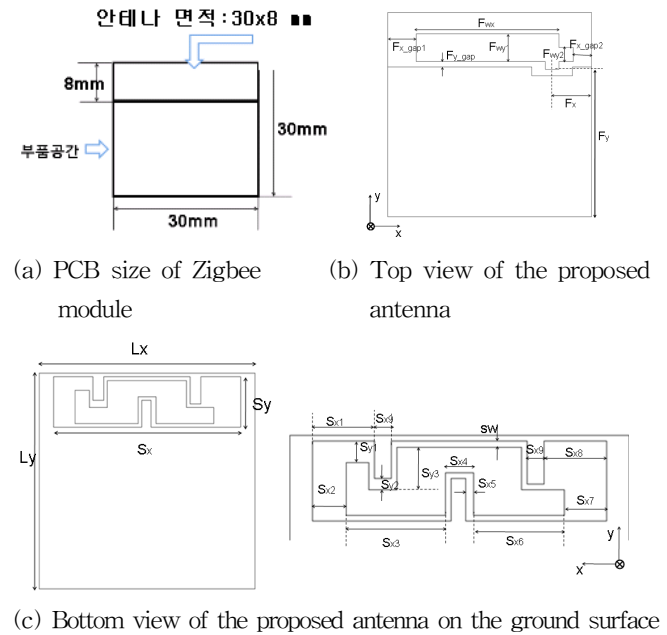


Fig. 1 Basic geometry of the proposed antenna

그림 1의 기본 해석 구조에서 안테나의 주파수 응답특성에 가장 큰 영향을 주는 부분은 접지면에 위치한 슬롯 패턴 부분을 알게 되어, 그림 2에서는 공진주파수 응답특성에 가장 큰 영향을 주는 파라미터인 S8_xt와 S2_xt를 그림 1(c)에서 Sx8과 Sx2와 차별화하여 그림 2에 제시하였다. 그림 2에서 흰색 부분이 슬롯이고, 슬롯의 안쪽에 위치한 도체패턴은 네모로 표시된 급전점을 통해 PCB 윗면의 급전선과 비아(via)로 연결된다. 따라서 이 부분 패턴 변화에 따른 주파수 응답특성(반사손실) 변화 경향을 파악하여 안테나의 최적 설계를 진행하게 된다. 접지면 슬롯 패턴변화인 S8_xt와 S2_xt에 따른 반사손실 모의실험 결과를 그림 3 및 그림 4에 각각 제시하였다.

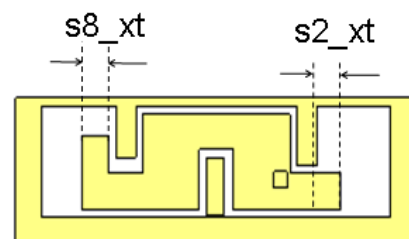


Fig. 2 Slot pattern(white part) on the ground surface

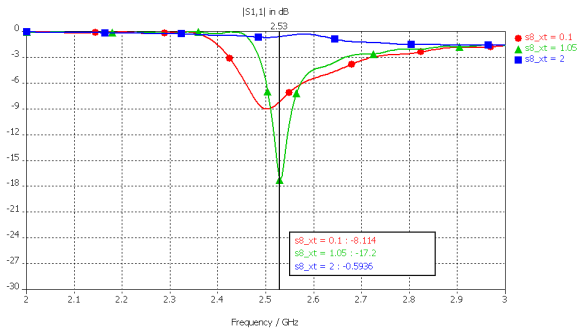


Fig. 3 Simulated return losses as a function of S8_xt

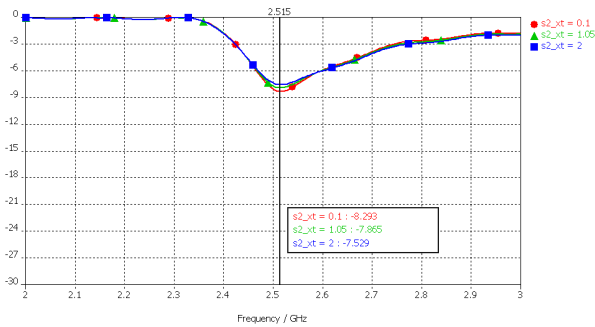


Fig. 4 Simulated return losses as a function of S2_xt

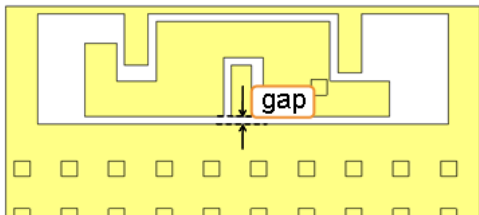


Fig. 5 Slot pattern (white part) with the floating gap

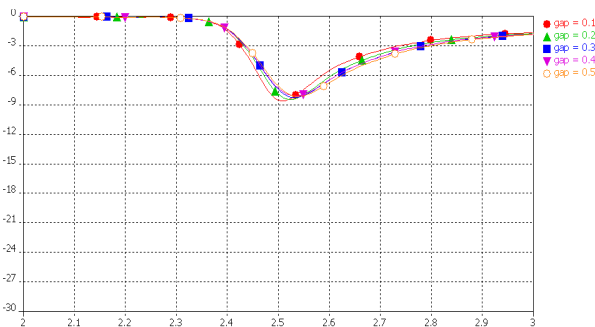


Fig. 6 Simulated return losses as a function of gap size

그림 3 및 4에서 알 수 있듯이 S2_xt 값이 변화함에 따라 안테나의 반사계수는 큰 변화를 보이지 않는 반면 S8_xt 값의 변화에 의해서는 큰 변화를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 5에서는 그림 1 및 2의 기본구조에서 접지면의 정중앙에 위치하여 펄스모양으로 돌출된 부분을 접지면과 floating하기 위하여 gap을 가지는 슬롯패턴을 제시하였다. 이 경우 접지면과 floating 된 도체부분이 기생소자로 작용하여 안테나 입력 임피던스에 변화를 줄 수 있을 것으로 기대된다. gap의 크기

에 따른 반사손실 모의실험 결과를 그림 6에 제시하였고, 그 결과 gap 값이 변함에 따라 안테나의 공진주파수의 변화는 적으나 반사계수 값이 변화함을 알 수 있다.

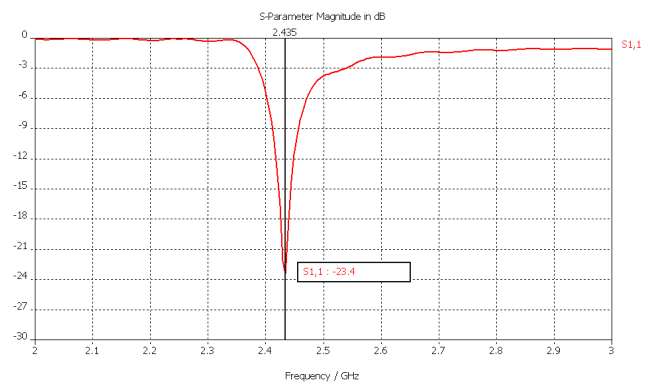
위에서 살펴본 각 파라미터들 변화 경향을 토대로 그림 1의 안테나 기본구조를 모의실험 과정을 통해 1차로 설계된 급전선 부분 및 방사(슬롯)부분의 최적화된 설계 파라미터들을 표 2 및 표 3에 각각 제시하였다.

Table 2 The optimized parameters of the feeding part

파라미터	값 [mm]	파라미터	값 [mm]
Fwx	21	Fy	21.7
Fwy1	4.1	Fy-gap1	0.8
Fwy2	2.1	Fx-gap1	4.2
Fx	5.8	Fx-gap2	2.7

Table 3 The optimized parameters of the slot part

파라미터	값 [mm]	파라미터	값 [mm]
Lx	30	Sx6	8
Ly	30	Sx7	3.75
Sx	26	Sx8	5.5
Sy	7	Sx9	1.5
Sx1	5.5	sw	0.5
Sx2	3	Sy1	1.85
S2_xt	0.8	Sy2	1
Sx3	8.75	Sy3	3.75
Sx4	2.5	S8_xt	1
Sx5	0.7		



Frequency [GHz]	2.405	2.435	2.48
Reflection coefficient [dB]	-6.574	-23.4	-4.947

Fig. 7 Simulated return loss of the first antenna designed with the optimized parameters

그림 7에서는 표 2 및 표 3의 최적화 설계 파라미터 값으로 설계된 안테나의 반사손실 모의실험결과를 제시하였으며, 그 결과 최적화된 안테나의 공진주파수는 2.435GHz로 설계 요구 규격을 만족하고 있으나 대역폭은 약 50MHz로 요구되는 75MHz 보다 적은 값을 갖는다. 이러한 문제는 슬롯안테나의

경우, 실제 PCB제작 시 설계 값보다 슬롯이 커지는 경향이 있어 공진주파수 및 대역폭의 변화가 있으므로 안테나 제작 후, 특정 결과들을 확인 후 다시 검토하기로 한다.

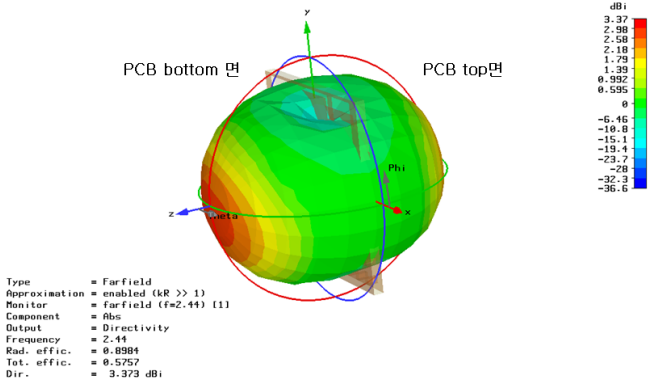


Fig. 8 Simulated 3D radiation pattern of the first antenna designed with the optimized parameters

최적화된 안테나의 전파 방사 특성을 확인하기 위해 모의실험에서의 방사 패턴을 확인해 보았다. 지그비 모듈용 안테나에서 요구되는 방사패턴은 모노폴 안테나의 방사패턴과 유사한 형태(omni-directional)가 요구된다.

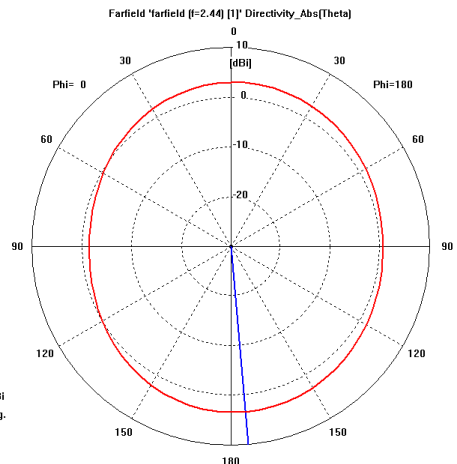
그림 8에서 1차 설계된 안테나의 3D 방사패턴의 모의실험 결과를 제시하였고, 그 결과는 PCB top면과 bottom면과 수직 방향으로 전파의 방사가 매우 효율적인 것으로 확인되며 PCB와 수평 방향으로로는 전파의 방사가 비교적 적게 된다. 그리고 안테나의 directivity는 약 3.37dBi 임을 알 수 있다. 이러한 방사패턴을 자세히 확인하기 위해 2차원 평면에서의 방사패턴의 모의실험 결과를 그림 9에 제시하였다.

위 그림들에서 알 수 있듯이 최적화된 안테나로부터 가장 방사가 효율적인 main lobe 방향은 PCB면과 거의 수직 방향인 175°이며, X-Y 평면에서의 방사패턴은 무지향 특성을 보이며, Y-Z 평면에서 반 전력 빔폭(HPBW)은 87.3°임을 알 수 있다.

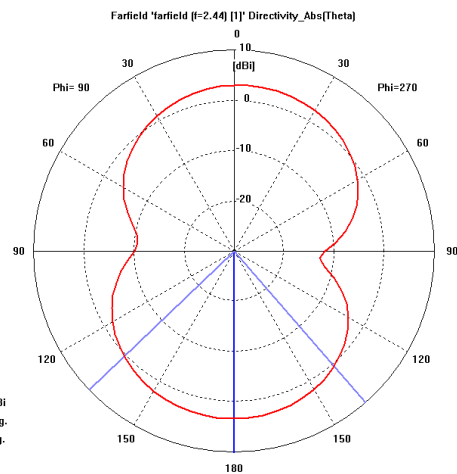
이러한 방사패턴은 반과장 다이폴 안테나의 방사패턴과 매우 유사한 것으로써 설계 요구 규격을 충분히 만족 시키고 있음을 알 수 있다.

2.2 1차 설계된 안테나의 제작/측정

안테나의 설계 결과를 검증하기 위해 표 2 및 표 3의 설계 파라미터 값으로 1차 설계된 안테나를 지그비 모듈 PCB에 적용하여 제작하였다. 제작된 지그비 모듈의 실물 사진은 그림 10과 같다.

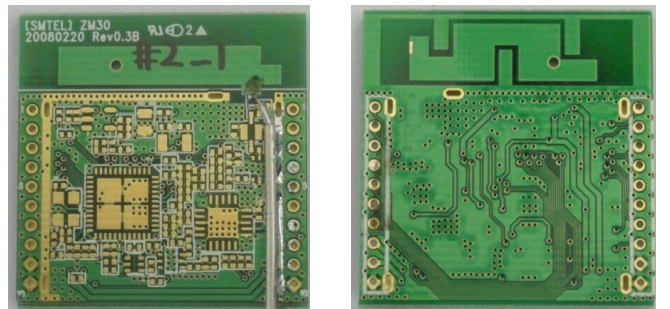


(a) X-Y plane



(b) Y-Z plane

Fig. 9 Simulated 2D radiation pattern of the first antenna designed with the optimized parameters



(a) Top view

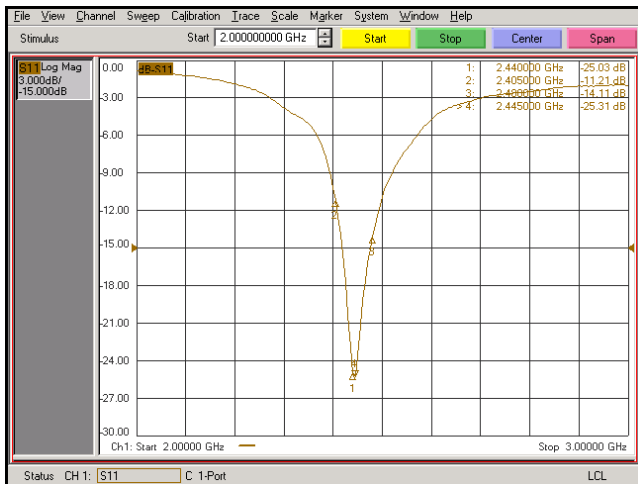
(b) Bottom view

Fig. 10 Photograph of the first antenna fabricated with the optimized parameters

1차로 제작된 안테나의 반사계수 측정을 위해서는 Agilent사의 E8358A 벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer:VNA)가 이용되었다. 안테나의 반사계수 측정은 안테나 단독의 모의실험 결과를 확인하기 위하여 안테나에 semi-rigid cable을 연결하여 측정하였다. VNA를 이용하여 측정된 안테나의 반사계수 측정 결과를 그림 11에 보였다.

위의 측정 결과에서 알 수 있듯이 1차로 제작된 안테나의 반사계수 측정 결과 안테나의 공진주파수는 2.445GHz이며, 지그비 모듈에서 사용되는 전 주파수대역(2.405GHz~2.48GHz)에

서 반사계수가 -10dB이하의 값을 갖는다.



Frequency [GHz]	2.405	2.445	2.48
Reflection coefficient [dB]	-11.21	-25.03	-14.11

Fig. 11 Measured return loss of the first fabricated antenna

측정 결과에서의 1차로 제작된 안테나 공진주파수는 모의실험 결과에서의 2.435GHz와 매우 유사하였으나 대역폭의 경우에는 모의실험 결과보다 넓은 약 100MHz정도를 갖는다. 모의 실험과 측정결과를 비교하면 표 4와 같다.

Table 4 Comparison between simulated and measured return loss for the first antenna

Frequency [GHz]		2.405	2.445	2.48	대역폭 [MHz]
Reflection coefficient [dB]	모의실험	-6.574	-12	-4.947	75
	측정	-11.21	-25.31	-14.11	100

2.3 내장형 안테나의 2차 설계 및 측정

지금까지 살펴본 1차 설계된 안테나는 모의실험 과정에서 살펴본 PCB 접지면 패턴과 관련을 갖는 gap 파라미터를 0으로 두었을 때의 결과이다. 앞서 그림 6의 결과를 통해 언급한 바와 같이 접지면과 floating을 하기 위한 gap 사용 시 공진주파수 변화는 적고, 반사계수 값을 변화시킬 수 있다는 특성을 이용하여, 1차 설계 제작된 그림 10에 제시된 안테나의 정중앙에 돌출된 펄스모양의 접지면을 수작업으로 gap을 조금씩 잘라내면서 반사손실 및 대역폭 특성을 측정을 통해 확인하였다. 안테나의 성능 확인 결과 gap의 값이 0.7mm인 경우에 안테나의 대역폭이 기존 안테나에 비해 넓어짐을 확인할 수 있었다. 2차 설계된 안테나는 1차 설계된 안테나와 동일한 구조를 가지고 있으며, 접지면 슬롯패턴만이 앞의 그림 5에서와 같이 gap을 가지고 있다. 이와 같은 구조의 동일한 PCB에 2차로 제작하였다. 2차로 제작된 안테나의 실물사진을 그림 12에 제시하였다.

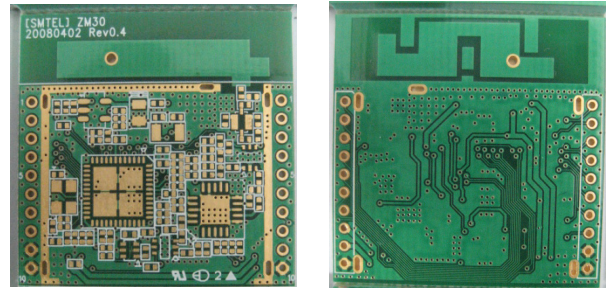
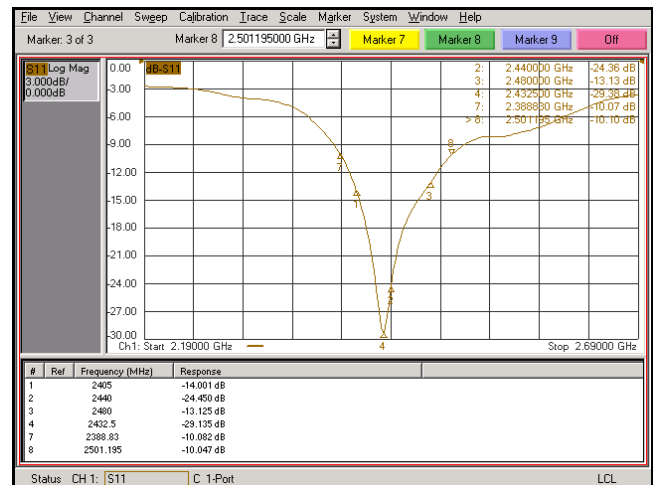


Fig. 12 Photograph of the second fabricated antenna with the gap

그림 12에서 볼 수 있듯이 PCB top면의 패턴은 1차 제작된 안테나와 동일함을 알 수 있고, PCB bottom면 패턴에서는 수작업을 통해 결정된 gap값에 따라, 슬롯 패턴 정중앙에 접지면과 분리된 floating conductor를 확인할 수 있다.

2차로 제작된 안테나의 반사계수는 Agilent사의 E8358A 벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer:VNA)를 이용하여 측정하였으며 측정 결과를 그림 13에 제시하였다.



Frequency [GHz]	2.405	2.44	2.48
Reflection coefficient [dB]	-14.01	-24.45	-13.125

Fig. 13 Measured return loss of the second fabricated antenna

2차로 제작된 안테나의 반사계수 측정결과 1차 설계 결과에 비해 사용주파수 대역에서의 반사계수가 작아짐을 확인할 수 있었다. 또한 안테나의 대역폭의 경우에도 기존의 측정 결과와 비교하여 증가하였음을 확인할 수 있다. 그리고 1,2차에서 설계 및 제작된 안테나들의 측정 결과를 요약하면 표 5와 같다.

표 5에서 알 수 있듯이 2차 설계된 안테나의 대역폭이 1차 설계결과에서의 100MHz 보다 약 10% 정도 높아진 113MHz 임을 알 수 있다. 그리고 지그비 모듈의 사용주파수 범위에서의 반사계수도 1차 설계에서 보다 낮아졌음을 알 수 있다.

Table 5 Comparison of measured return loss between the first and the second fabricated antenna

Frequency[GHz]		2.405	2.44	2.48	대역폭 [MHz]
Reflection coefficient[dB]	1차 제작	-11.21	-20.5	-14.11	100
	2차 제작	-14.01	-24.45	-13.13	113

위의 측정결과로부터 1차 설계 제작된 안테나보다 2차 설계 제작된 안테나를 이용하는 것이 안테나의 대역폭과 반사계수 측면에서 유리함을 알 수 있으며, 지그비 모듈에 적용되는 경우보다 높은 무선 통신 효율을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

2차로 제작된 안테나의 2D 방사패턴을 모의실험결과(실선)와 측정결과(점선)를 비교하여 그림 14에 제시하였고, 또한 안테나 이득과 같은 중요한 파라미터들을 표 6에 비교하여 제시하였다.

Table 6 Comparison of the gain between the first and the second fabricated antenna

	value	
	simulated	measured
Directivity [dBi]	3.163	4.81
Efficiency [%]	69.1	62.68
Gain [dBi]	1.78	2.78

위의 결과들에서 알 수 있듯이 2차 설계로 제작된 안테나로부터의 전파 방사 특성이 모의실험 결과와 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 모의실험 결과와 유사하게 안테나의 효율은 60% 이상이며 이득은 2.7dBi 이상의 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

본 논문을 통해 설계된 내장형 안테나는 지그비 모듈과 동일한 PCB를 이용하여 설계되었기 때문에 별도의 조립 과정이 필요하지 않다. 그리고 전체 PCB에서 안테나가 차지하는 면적(30mm × 8mm)이 적기 때문에 지그비 모듈용 PCB의 크기가 크게 증가하지 않는다는 장점을 갖는다. 따라서 본 논문을 통해 설계된 내장형 안테나는 지그비 모듈용으로 사용하기에 적합할 것으로 사료된다.

3. 결론

본 논문에서는 2.4GHz대역의 지그비 모듈에 적용할 수 있는 내장형 안테나의 설계 결과를 보였다. 내장형 안테나의 설계는 지그비 모듈과 동일한 PCB를 이용하여 진행되었으며 총 2차에 걸쳐 진행 되었다. 안테나의 2차 설계는 1차 설계 결과를 바탕으로 안테나의 대역폭과 반사계수 특성을 향상시키기 위해 진행되었으며, 제작된 안테나의 측정 결과 모의실험 결과보다 넓은 대역폭(113 MHz)을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 제작된 안테나의 방사패턴 측정 결과 모의실험 결과와 매우 잘 일치하는 결과를 확인할 수 있었다. 또한 안테나의 방사패턴이 모노폴 안테나와 유사하며(omni-directional) 2.7 이상의 이득을 가지고 있음도 확인할 수 있었다. 더욱이 본 연구에서 설계된 내장형 안테나는 전체 지그비 모듈 PCB(30x30mm)에서 약 30% 이하의 면적(30mmx8mm)을 이용하여 설계되었기 때문에 안테나의 일체형 설계에 의한 PCB 면적의 증가는 그리 크기 않게 된다. 또한 동일한 성능을 갖는 안테나의 대량 생산이 용이할 것으로 생각된다.

본 논문을 통해 설계된 내장안테나는 지그비 모듈이 사용하는 2.4GHz대역의 주파수 범위에서 매우 양호한 반사계수 특성을 가지고 있으며, 모노폴 안테나와 유사한 방사특성을 가지고 있기 때문에 다양한 환경에서 이용되는 지그비 모듈에 이용되기에 적합할 것으로 사료된다. 특히 본 논문의 내장형 안테나의 경우에는 지그비 모듈과 동일한 PCB에 설계되기 때문에 별도 부품이나 조립 과정이 필요하지 않기 때문에 대량 생산 시 매우 유리한 이점을 갖게 될 것으로 사료된다.

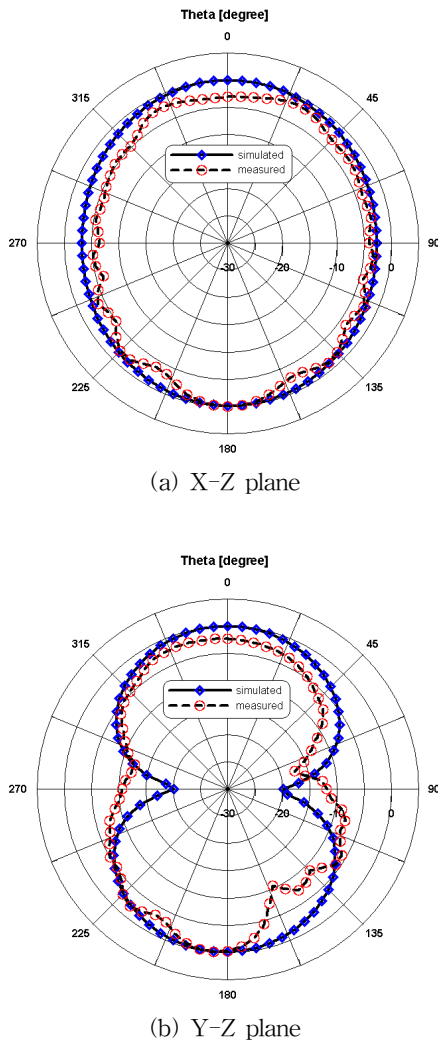


Fig. 14 Comparison of the 2D radiation pattern between simulated and measured results of the second fabricated antenna

후 기

본 연구는 구미전자산업진흥원에서 지원한 「지역밀착형 산학협동 기반 소재.부품.모듈 핵심기술 연구개발사업」의 일환으로 수행되었으며, 또한 이 연구는 부분적으로 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 「인력양성사업」으로 수행된 결과입니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Deal, W. R., Itoh, T., Radisic, V., and Yongxi, Q. (1999), "A broadband microstrip-fed slot antenna," Technologies for Wireless Applications, Digest. 1999 IEEE MTT-S Symposium on, pp. 209-212.
- [2] Emson, C., Lancaster, M. J., and Wang, J. S. H. Y. (2000), "Compact meander slot antennas," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 24, no. 6, pp. 377-380.
- [3] He, Q. Q., Wang, B. Z., and Yin, Z. L. (2007), "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.
- [4] Kim, J. M., Kim, K. W., Park, H. K., and Yook, J. G. (2001), "Compact stripline-fed meander slot antenna," Electronics Letters, vol. 37, no. 16, pp. 995-996.
- [5] Trade mark of CST corp.

원고접수일 : 2010년 3월 4일

심사완료일 : 2010년 3월 21일

원고채택일 : 2010년 3월 25일