

## 지그비 통신용 PCB 내장형 슬롯 안테나

# Slot Antenna Embedded in a PCB for Zigbee Communication

우희성<sup>1</sup>·신동기<sup>2</sup>·이영순<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국방기술품질원 지휘정찰4팀

<sup>2</sup>LIG넥스원 C4ISTAR 생산기술실.2팀

<sup>3</sup>금오공과대학교 전자공학과

Hee-Sung Woo · Dong-Gi Shin · Young-Soon Lee\*

<sup>1</sup>C4ISR Systems Team 4 Defense Agency for Technology and Quality, Gyeongsangnam-do, 51474, Korea

<sup>2</sup>C4ISTAR Production Engineering Team 2 LIGNex1 Co.,Ltd, Gyeongsangbuk-do 39262, Korea

<sup>3</sup>Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 지그비 통신 (2.4 ~ 2.484 GHz) 을 위한 마이크로스트립 급전 구조를 가지는 PCB 내장형 슬롯 형태의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 유전상수 4.3, 유전체 두께 1.6mm 의 FR4 기판에 50×65 mm<sup>2</sup>의 크기 중 상단 32.8×15.5 mm<sup>2</sup>의 공간을 이용하였다. 모의 실험을 통해 파라미터들의 경향을 분석하여 최적화하였으며, 크게 3개로 구성된 슬롯들이 해당 주파수 대역을 만족시킨다. 제작된 안테나의 측정 결과로 임피던스 대역폭(|S<sub>11</sub>| ≤ -10dB)이 지그비 2.4 GHz 대역에서 900 MHz (2 ~ 2.9 GHz) 를 얻어 충분히 사용하고자 하는 지그비 대역을 모두 포함한다. 또한 방사패턴은 E, H-plane에서 모두 무지향성 특성을 보였고 1.782 dBi의 이득을 확인하였다.

### [Abstract]

In this paper, we proposed a slot-type antenna with microstrip feed embedded in a PCB for Zigbee communication (2.4 ~ 2.484 GHz). The proposed antenna is designed on a FR-4 substrate with dielectric constant 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of 50×65 mm<sup>2</sup>. Through simulations, trends of design parameters are analyzed and optimized, and the proposed antenna composed with three slots satisfy the frequency band. The measured impedance bandwidths (|S<sub>11</sub>| ≤ -10 dB) of fabricated antenna are 900 MHz (2 ~ 2.9 GHz) in Zigbee frequency band. In addition, the radiation pattern showed omnidirectional characteristics for E and H-planes, and the gain of antenna in Zigbee frequency band was 1.782 dBi.

**Key word** : Microstrip feed, Omni-directional radiation patterns, Planar antenna, Slot antenna, Zigbee.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.3.223>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 14 May ; Revised 6 June 2021

Accepted (Publication) 25 June (30 June 2021)

\*Corresponding Author; Young-Soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

### I. 서론

우리나라를 포함한 선진국들이 에너지 문제를 정보통신 기술을 활용해 해결하기 위해 다각적인 노력을 하고 있다. 현존하는 에너지를 효율적으로 사용하거나 새로운 에너지원을 찾는 두 부분으로 구분할 수 있다. 새로운 에너지원을 찾는 것은 중장기적인 연구개발이 필요하지만, 기존 제품을 에너지 절감형으로 대체하는 기술은 단기적인 결과를 얻을 수 있다[1]. 따라서 에너지 절감을 위해 센서 간의 지그비 통신을 통해 연동제어로 전력 절감을 할 수 있다.

본 논문의 목적은 지그비 통신용 안테나로 지그비는 IEEE 802.15.4 기반의 근거리 통신 기술이며 별도의 저비용, 저전력 등의 특징으로 널리 이용 중이다. 시중에 지그비 통신을 위한 SIP(system in package) 타입의 제품들 대부분이 칩 안테나와 외장형 다이폴 안테나들이 주를 이루고 있다.

자체적인 선형 연구결과로 칩(chip) 안테나, PCB (printed circuit board) 안테나, 외장형 다이폴 안테나 3가지 형태의 안테나를 적용해보았다. 먼저 칩 안테나의 경우 소요 부품이 추가되는 단점이 있고, TI (texas instruments)사에서 제공하는 Small Size 2.4 GHz PCB antenna[2]는 반사손실 특성은 양호했지만 방사패턴의 Y-Z 평면에서 null 점이 관찰되었다. 이는 모노폴 안테나의 전형적인 특성이지만 특정 방향에서 무선 통신이 제한될 수 있다는 점을 드러낸다. 마지막으로 다이폴 안테나는 외장형으로 장착되기 때문에 칩 안테나의 단점을 그대로 가지면서 추가로 부피가 크고, 안테나와 RF 모듈 간의 연결에 별도의 SMA 커넥터를 사용하므로 모듈의 제작 단가가 상승한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 안테나에 대한 저비용 및 무지향성 방사패턴과 같은 성능개선에 중점을 두고 마이크로스트립 급전 방식의 슬롯 구조를 가지는 PCB 내장형의 안테나로 설계하고자 한다. 보편적으로 역-F 형 안테나(IFA)[3-4], 슬롯 안테나[5-6], 패치 안테나[7]들을 주로 이용하는데, 본 논문이 제안하고자 하는 슬롯 안테나의 경우 도체로 이루어진 패치 대신에 슬롯을 방사체로 이용하므로 보다 넓은 대역폭을 얻거나, 안테나를 소형화할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 기존의 에너지 절감 센서와 Zigbee 모듈과의 동일한 PCB내에서 상단 모서리 부분을 이용하기 때문에 PCB 앞면에 많은 부품을 실장 할 수 있는 충분한 공간을 제공할 뿐만 아니라 안테나와의 연결에 유리하다. 게다가 PCB 내장형 형태(embedded type)의 안테나로 모듈에 필요한 부품 실장이나 생산 공정에서 발생할 수 있는 상태 변화에 따른 안테나 특성 변화 효과를 슬롯 형태의 안테나 사용으로 인하여 저감시킬 수 있을 것이며, 외장형 안테나 결합을 위한 SMA 커넥터가 불필요 하므로 생산 공정의 간소화에 따른 비용 절감으로 앞서 언급한 목표를 실현할 수 있을 것으로 기대된다.

안테나 모의실험 설계 전반기에 CST MWS(microwave studio)를 사용하였다. 모의실험의 타당성을 입증하기 위해 안테나를 제작하고 특성을 측정한 후 비교 제시하였다.

### II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안 하고자 하는 안테나를 그림1에 제시하였다. 안테나 모의실험에는 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유

전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1 oz)을 사용하였다. 급전선 폭은 50Ω 전송선 임피던스를 가지도록 설계하였으며 PCB의 크기는 에너지 절감 센서와 Zigbee 모듈이 실장된 실제 사용될 PCB 크기인 50×65 mm<sup>2</sup>이고 안테나는 기판의 상단에 32.8×15.5 mm<sup>2</sup>의 크기로 위치하고 있다. 윗면에는 급전선의 폭 Wf, 급전을 위한 선로 Lf가 존재하고 비아를 통해 접지면의 스트립 선로와 연결되어 슬롯들을 여기시킨다. 그림 1에서 보는 바와 같이 본 논문의 안테나 구조는 접지면에 크게 3개의 슬롯과 각각을 이어주는 슬롯들로 구성된다. 그림 1(c)의 확대된 사진에서 왼쪽부터 순서대로 슬롯의 세로 길이가 SL1 및 가로 길이가 SL2인 양 끝이 개방된 U 형태의 보조 방사부 슬롯이 첫 번째 슬롯이고, 두 번째 슬롯은 정합을 위한 목적으로 세로 길이가 SL4 및 가로 길이가 SW3인 직사각형 슬롯이며, 마지막으로 우측 끝에 위치한 길이가 SL6 및 폭이 SW5인 한쪽이 개방된 가늘고 긴 직사각형 형태의 주 방사부 모노폴 슬롯이 세 번째 슬롯이다. 앞서 설명한 세 개의 슬롯들을 연결해주는 슬롯들이 있는데, 첫 번째와 두 번째 슬롯을 이어주는 폭이 SW2이며 가로 길이가 SL3 인 연결 슬롯이 있으며, 두 번째 슬롯과 세 번째 모노폴 슬롯을 이어주면서 임피던스 정합을 위한 DGS (defected ground structure) 의 형태로 세로 길이가 SL5, 가로 길이가 SW4 인 슬롯으로 구성된다.

제안된 안테나를 구성하고 있는 일부 안테나 설계 파라미터들에 대한 공진주파수 및 반사계수 경향 그래프를 제시하고 분석하여 그림2에서 그림 7에 제시하였다.

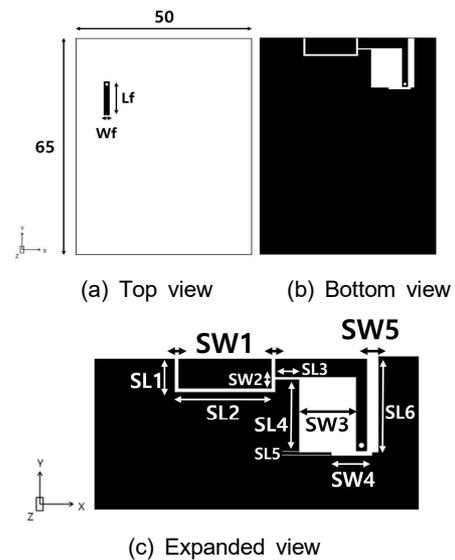


그림 1. 제안된 안테나의 구조  
(a) Top view (b) Bottom view (c) Expanded view  
Fig. 1. The geometry of proposed antenna.

그림 2은 U 형태 슬롯에서 왼쪽 세로 길이를 의미하는 SL1 슬롯을 5.5 mm에서 11.5 mm 까지 3 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 공진주파수의 변화 경향을 나타낸 그림이다. 길이가 점점 길어질수록 반사계수 특성이 크게 변하는 것을 확인할 수 있으며 공진주파수의 변화는 크게 관찰되지 않는다. SL1 값이 5.5 mm 일 때, 대역을 만족하는 특성을 얻을 수 있었다.

그림 3은 U 형태의 슬롯과 두 번째 사각형 슬롯을 이어주는 역할을 하는 슬롯 폭에 해당하는 SW2 파라미터를 0.55 mm에서 2.55 mm 까지 1 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 공진주파수의 변화 경향을 나타낸 그림이다. 슬롯의 폭이 점점 넓어지면서 반사계수 특성이 나빠지며 동시에 공진주파수의 이동도 관찰된다. SW2의 값이 0.55 mm 일 때, 가장 좋은 반사계수 특성과 대역폭을 만족했다.

그림 4는 위에서 설명한 SW2 파라미터와 유사하게 첫 번째와 두 번째 슬롯 사이의 간격을 조절 할 수 있는 SL3 파라미터의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 변화 경향을 나타낸 것이다. SL3를 5 mm에서 7 mm까지 1 mm간격으로 변화 시켰을 때, 사용하고자 하는 대역에서 반사계수 특성 변화와 동시에 공진주파수의 이동이 관찰되었다. 슬롯 사이의 간격이 임피던스 정합에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 SL3가 7mm 일 때 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.

그림 5는 SW3의 변화에 따른 반사계수와 공진주파수 변화 경향을 나타내었다. 파라미터 SW3은 두 번째 슬롯의 가로 길이를 나타낸다. 접지면에서 비아로 연결되어 있는 급전에 필요한 스트립 선로와 슬롯 내부 도체의 간격을 의미한다. 슬롯의 가로 길이를 5 mm에서 10 mm 까지 2.5 mm 씩 증가 시켰을 때, 중심주파수인 2.45 GHz 대역에서 반사계수의 변화가 두드러지게 보이는데 앞서 언급한 SW2 파라미터와 유사하게 임피던스 정합에 큰 영향을 미치는 파라미터 중 하나라고 볼 수 있다. 따라서 충분한 대역폭과 반사계수 특성을 얻기 위해 SW3의 값을 10 mm로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

그림 6은 SL5 파라미터의 변화에 따른 반사계수의 경향을 나타낸 것이다. 이 파라미터는 두 번째 사각형 슬롯과 세 번째 슬롯을 이어주는 슬롯의 폭을 의미한다. SL5 파라미터를 1 mm에서 3 mm 까지 1 mm 간격으로 증가시켰을 때의 주파수 및 반사계수의 경향을 보게 낮은 주파수 대역으로 중심주파수가 이동 하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 지그비 2.4 GHz 대역을 만족하는 최적의 값으로 1 mm를 선택했다.

그림 7은 PCB 최상단에서 시작되는 세로 슬롯의 폭을 나타내는 SW5 파라미터의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 변화 경향을 나타낸 것이다. SW5 파라미터를 1 mm에서 3 mm 까지 1 mm 씩 증가시켰을 때, SW5가 1 mm 일 때 반사계수 특성이 다른 그래프들에 비해 좋지 않은 것을 확인할 수 있으며, 2 mm 일 때 반사계수는 물론 공진주파수도 원하는 대역을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안한 안테나를 지그비 통신 주파수 대역의 심 주파수인 2.45 GHz 대역에서 식(1)을 통해 관내파장  $\lambda_g$ 로

정규화해보면 75.22 mm를 얻을 수 있다. 이 때, 안테나를 구성하고 있는 세 개의 슬롯을 모두 연결한 총 길이가 67.7 mm로 계산되어 관내파장의 약 한 파장에 해당되는 것을 알 수 있으며 이것에 의해 공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

앞서 나타낸 그림 2~7에 제시된 파라미터들의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수의 경향을 토대로 모의실험결과 제안된 안테나를 구성하는 최적화 설계 파라미터들의 수치를 표 1에 제시하였다.

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{1}$$

여기서  $\epsilon_{eff} = (\epsilon_r + 1)/2$ , c는 광속, 그리고 f는 지그비 주파수 대역의 중심주파수이다.

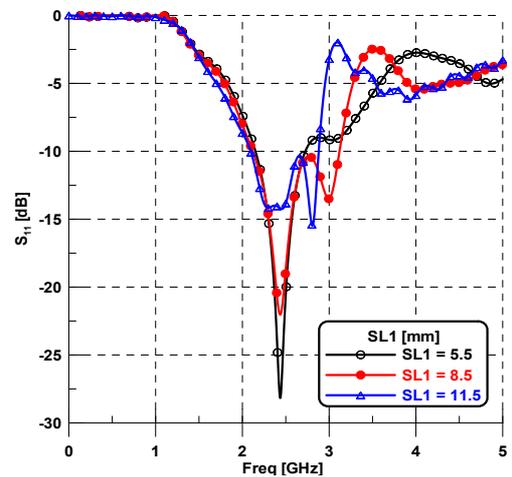


그림 2. SL1의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
Fig. 2. Simulated return losses for different values of parameter SW2.

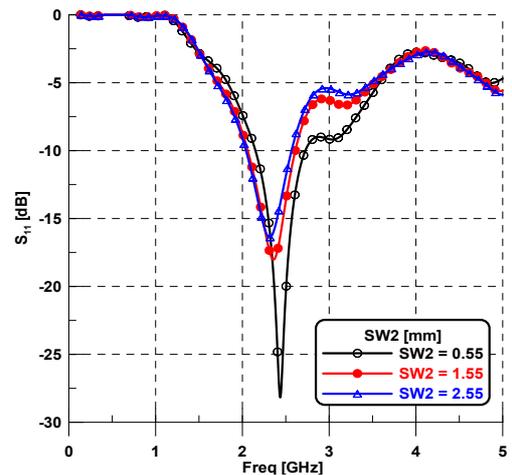


그림 3. SW2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter SW2.

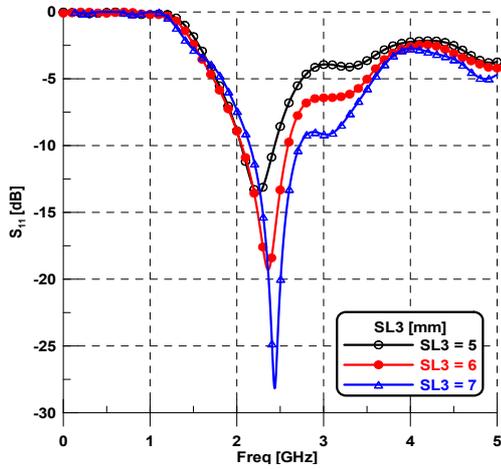


그림 4. SL3의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter SL3.

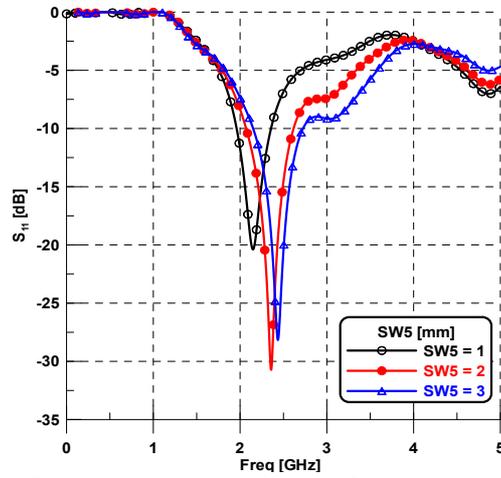


그림 7. SW5의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 7. Simulated return losses for different values of parameter SW5.

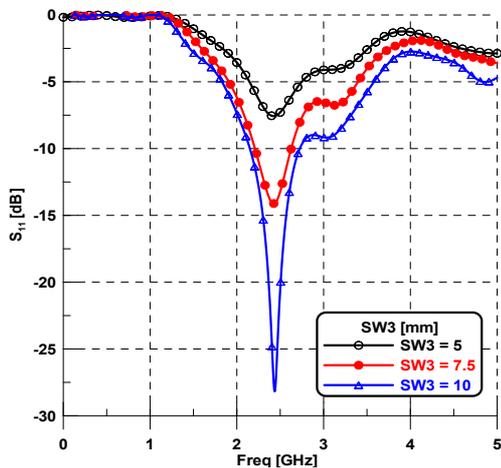


그림 5. SW3의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter SW3.

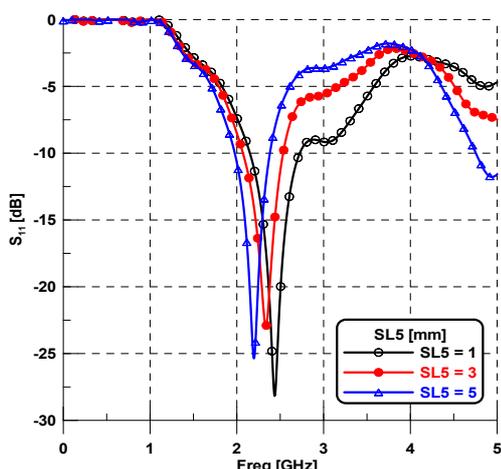


그림 6. SL5의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter SL5.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
PCB width	50	SL3	3.5
PCB length	65	SL4	11.45
SL1	5.5	SW3	9
SL2	15.8	SL5	0.5
SW1	0.8	SW4	7.5
SW2	0.55	SW5	3

### III. 제작 및 측정결과



(a) Top  
 (b) Bottom  
 그림 8. 제작된 안테나  
 Fig. 8. Fabricated antenna.

앞서 분석된 결과를 토대로 최적화된 파라미터들을 안테나 구조에 적용하여 제작한 안테나를 그림 8에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1 oz)을 사용하였다.

그림 9는 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 모의실험 결과는 지그비 통신 주파수 대역인 2.4 GHz 대역에서 임피던스 대역폭 ( $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ )이 약 560 MHz (2.16 GHz~2.72 GHz)를 가지는 것을 확인 할 수 있으며, 실제 제작된 안테나는 임피던스 대역폭 ( $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ )이 약 900 MHz (2 GHz~2.9 GHz)를 가진다. 모의실험 보다 제작하여 측정된 결과의 대역폭이 넓어진 것을 알 수 있는데, 전반적으로 그래프의 형태가 유사하지만 안테나 제작 과정에서 안테나를 구성하고 있는 각각의 슬롯들이 최적화된 수치보다 조금 더 넓어진 결과로 판단된다. 모의실험 결과와 측정결과가 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 전세계 지그비 주파수 대역 2.4 GHz (2.4 ~ 2.484 GHz) 대역폭을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다. 또한, 해당 주파수대역에서 안테나 이득과 효율은 각각 1.78 dBi, 90 % 이상을 얻었다.

다음으로 중심 주파수인 2.45 GHz 대역에서의 Y-Z 평면(E-plane) 과 X-Z 평면(H-plane)에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과를 그림 10과 11에 각각 제시하였다. E-plane, H-plane 모두 무지향성 경향의 방사패턴을 확인 할 수 있다. 서론에서 언급한 TI사에서 제공하는 Small Size 2.4 GHz PCB antenna[2]의 단점으로 서술된 Y-Z 평면에서의 null 점으로 무선 통신이 제한되는 점과 비교해 본 논문에서 제안한 안테나는 지그비 통신을 위한 안테나로 적절하다고 사료된다.

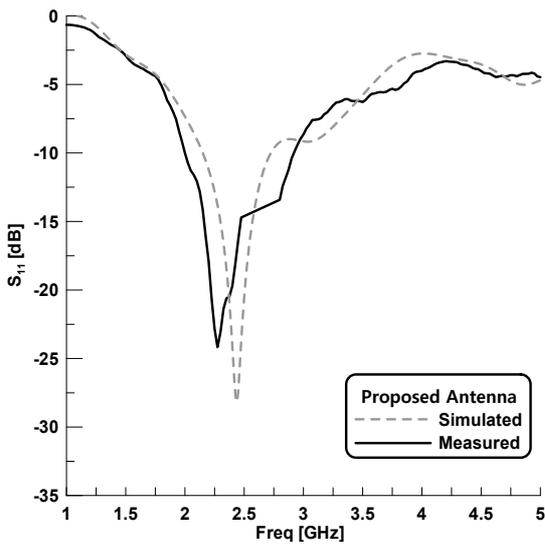


그림 9. 모의실험과 제작된 안테나의 반사계수 비교  
 Fig. 9. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.

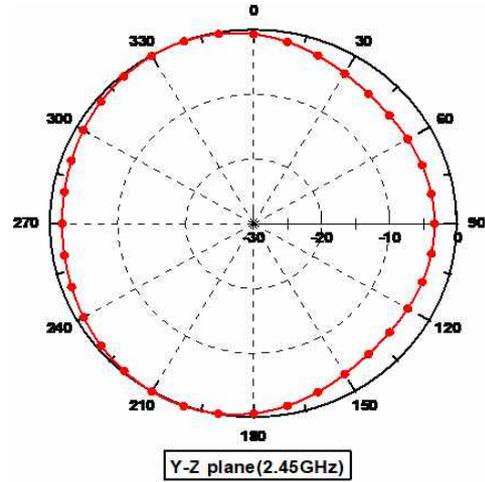


그림 10. 안테나의 2D 방사패턴(Y-Z Plane)  
 Fig. 10. 2D radiation patterns of antenna(Y-Z plane)

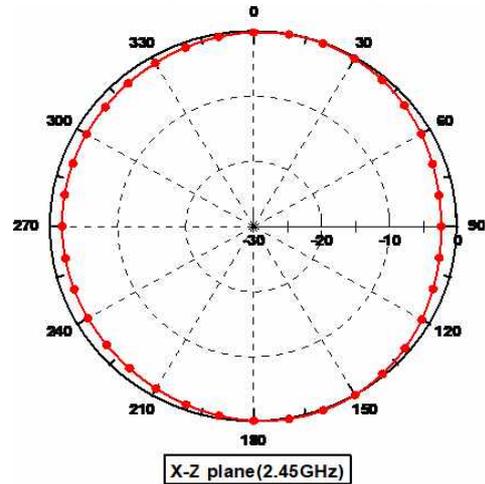


그림 11. 안테나의 2D 방사패턴(X-Z Plane)  
 Fig. 11. 2D radiation patterns of antenna(X-Z plane)

#### IV. 결 론

본 논문에서는 지그비 대역(2.4 ~ 2.484 GHz)에서 사용할 수 있는 마이크로스트립 급전을 가지는 슬롯 형태의 PCB 내장형 안테나로 설계 및 제작하였다. 전체 PCB 크기는  $50 \times 65 \text{ mm}^2$ 를 이며 기판의 상단에  $32.8 \times 15.5 \text{ mm}^2$ 의 크기로 안테나가 설계되었다.

2 ~ 2.9 GHz 범위에서  $-10\text{dB}$  이하의 반사계수를 만족하며, E-Plane, H-plane 모두 무지향성 방사패턴 경향을 가져 기존의 TI사의 IFA 안테나 구조와 같이 방사패턴의 null 점을 가지는 단점을 극복한 지그비 통신용 안테나로 적절한 것을 확인했다.

본 논문의 안테나를 전자 소자들과 함께 동일 PCB에 집적화된 (integrated) 일체형 PCB 안테나로 제작하게 된다면 별도의 정합을 위한 회로가 필요 없을 뿐만 아니라, 주변에 배치된 소자에 의해 발생할 수 있는 안테나 특성 변화가 슬롯 구조의 안테나

로 구성되어 있기 때문에 비교적 적을 것으로 사료된다. 또한 서론에서 언급한 생산 공정의 간소화에 따른 비용 절감의 목표도 달성할 수 있다. 추가로 기관 상단부에 안테나가 위치하고 있어, 이것을 제외한 이외의 공간에 전자 부품 배치를 위한 많은 부분을 할당할 수 있는 이점도 있을 것으로 사료된다. 실제로 본 논문이 제안하는 안테나는 국내 H사에서 지그비 통신 상업용으로 사용중에 있다. 끝으로 본 논문에 제안된 안테나는 저가로 PCB 일체형 제작이 가능할 뿐만 아니라 E-plane과 H-plane 동시에 무지향성을 가지므로 지그비 대역이 아닌 2.4 GHz ISM 대역의 상업용으로도 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### Acknowledgments

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음 (202001780001).

### References

[1] S. J. Hwang, The present situation and implications of green IT in Korea, National IT Industry Promotion Agency, KR, pp. 43-48, 2009.

[2] Audun Andersen, Small size 2.4 GHz PCB antenna, TEXAS INSTRUMENTS, Dallas, TX, USA, Appl. Note AN043, 1-21 Apr. 2008

[3] D. K. Karmokar and K. M. Morshed, "Analysis of inverted-F and loaded inverted-F antennas for 2.4 GHz ISM band applications," *Journal of Electrical*, Vol. EE 36, No. 2, pp 4-9, Dec. 2009.

[4] C. Soras, M. Karaboikis, G. Tsachtsiris, V. Makios, "Analysis and design of an inverted-F antenna printed on a PCMCIA card for the 2.4 GHz ISM band," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, Vol. 44, No. 1, pp. 37-44, Feb. 2002.

[5] J.I. Lee and J. Yeo, "Compact bent slot antenna for 2.45 GHz band", *Electronics Letters*, Vol. 48, No. 8, pp. 1-2, Apr. 2012.

[6] Z. Li, L. Liu, P. Li, J. Wang, "Miniaturized design of CPW-fed slot antennas using slits," in *Proceeding of Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation(APCAP)*, Xi'an, China, pp. 1-3, Oct. 2017.

[7] J. N. Lee, J. K. Park, I. H. Choi and J. S. Kim, "A novel dual-band patch antenna for zigbee system," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 49, No. 8, pp 1864-1867, Aug. 2007.



#### 우희성 (Hee-sung Woo)

2005년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)  
 2016년 2월 : 경북대학교 제어계측공학과 (공학석사)  
 2018년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정  
 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원  
 ※관심분야 : 안테나 소형화 설계 및 해석, RF 수동 소자 설계



#### 신동기 (Dong-Gi Shin)

2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)  
 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2020년 6월 ~ 현재 : LIG넥스원 연구원  
 ※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 소자 설계, 레이다



#### 이영순 (Young-Soon Lee)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수  
 ※관심분야 : 전자기이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합