

## S-대역용 인셋 급전 구형 마이크로스트립 패치 안테나 연구

홍재표<sup>1</sup> · 김병문<sup>2</sup> · 손혁우<sup>3</sup> · 조영기<sup>3\*</sup>

### A Study on The Inset Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna for S-band Applications

Jae-Pyo Hong<sup>1</sup> · Byung-Mun Kim<sup>2</sup> · Hyeok-Woo Son<sup>3</sup> · Young-Ki Cho<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Kyungil University, Gyeongsan 712-701, Korea

<sup>2</sup>Division of IT Cooperative Systems, Gyeongbuk Provincial College, Yecheon 757-807, Korea

<sup>3</sup>School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 S-대역에서 동작하는 구형 마이크로스트립 패치 안테나의 인셋 급전 구조에 대해 연구하였다. 인셋 급전 구조에서 인셋의 길이와 폭의 변화에 따른 안테나의 반사손실 특성을 조사하였고, 결과로부터 최적 인셋 급전 안테나를 설계하고, 이득 및 복사패턴을 구하였다. 2.3 GHz에서 최적화된 안테나의 패치 크기는 45.0mm × 40.9 mm, 인셋의 길이는 14 mm, 인셋의 폭은 1 mm이다. 그리고 유전율이 2.5, 두께가 0.787 mm인 기판을 사용하였으며, HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 인셋 급전 안테나를 제작하여 반사손실을 측정하고, 2.3025 GHz에서 -21.11 dB로 이론 결과와 일치함을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, the characteristics of a inset fed rectangular microstrip patch antenna for S-band applications is studied. The variations of return loss along inset length and inset width are investigated on the inset fed rectangular microstrip patch antenna. From the investigated results, the optimized inset fed antenna is designed. At the resonant frequency 2.3 GHz, the optimized dimension of the patch is 45.0 mm × 40.9 mm. The inset length and width are 14 mm and 1 mm, respectively. The designed antenna is fabricated on the substrate which has a dielectric constant and thickness with 2.5 and 0.787 mm. Simulation results are obtained by a 3D EM(Electromagnetic) solver. The resonant frequency and return loss are measured 2.3025 GHz and -21.11 dB, respectively. The measured and simulated results of the fabricated antenna are in good agreement.

**키워드** : 인셋 급전, 마이크로스트립 패치 안테나, S-대역, 반사손실

**Key word** : inset fed, microstrip patch antenna, S-band, return loss

접수일자 : 2014. 06. 17 심사완료일자 : 2014. 07. 11 게재확정일자 : 2014. 07. 25

\* **Corresponding Author** Young-Ki Cho(E-mail:ykcho@ee.knu.ac.kr, Tel:+82-53-950-5536)

School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.10.2359>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 유전체 기판 위에 안테나 소자인 복사패치가 위치하고, 반대편은 접지면으로 구성된 평면형 구조를 갖는 안테나이다. 이러한 안테나는 대역폭이 좁은 단점을 갖고 있지만 작고 가볍고 여러 가지 편파와 이중 공진 특성을 구현할 수 있고 선형 평면 배열로 제작하기 쉽다는 장점 등을 갖고 있다.

마이크로스트립 안테나의 급전 형태는 직접 급전과 결합 급전이 있으며, 직접 급전에는 동축 선로 급전과 마이크로스트립 선로 급전이 있다[1, 2]. 그리고 마이크로스트립 선로로 직접 급전하는 방법에는 패치와 50Ω 급전선로 사이에  $\lambda/4$  임피던스 정합을 사용하는 방법과 인셋 급전 구조를 이용하는 방법이 있다.  $\lambda/4$  임피던스 변환기를 사용하는 경우에는 임피던스 변환기 선로에 의한 의사복사가 발생하고 폭이 좁은 단점이 있다. 따라서 인셋의 길이와 폭을 변화함으로써 안테나의 정합이 가능하고 제작하기 쉬운 인셋 급전 구조에 대한 연구가 진행되고 있다[3~6]. 또한, 인셋 급전을 이용하여 S-대역 마이크로스트립 안테나의 대역폭 또는 이득을 개선하거나 안테나의 소형화를 위한 연구가 진행되고 있다[7~9].

본 논문에서는 S-대역에서 동작하는 구형 마이크로스트립 패치 안테나의 인셋 급전 구조에 대해 연구하였다. 인셋 급전 구조에서 인셋의 길이와 폭의 변화에 따른 안테나의 반사손실의 변화로부터 최적 인셋 급전 안테나를 설계하고 이득 및 복사패턴을 구하였다. 2.3 GHz에서 최적화된 안테나의 패치 크기는 45.0 mm × 40.9 mm, 인셋의 길이는 14 mm, 인셋의 폭은 1 mm이다. 이론 결과와 비교하기 위해 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 유전체 기판을 사용하여 안테나를 제작하여 측정된 결과와 비교하였다. 실험 결과는 2.3025 GHz에서 -21.11 dB로 이론결과와 거의 일치함을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용된 프로그램은 FEM(finite element method)을 이용한 3D EM Solver인 HFSS를 사용하였다.

## II. 인셋 급전 구형 마이크로스트립 안테나 구조 및 설계

### 2.1. 마이크로스트립 안테나의 급전

마이크로스트립 패치 안테나의 급전 형태는 직접 급전과 결합 급전이 있으며, 직접 급전에는 패치의 복사면 가장자리에 마이크로스트립 선로를 사용하여 직접 급전하는 방법과 동축 선로를 사용하여 패치에 직접 급전하는 방법이 있다. 결합 급전에는 개구결합이나 마이크로스트립 선로에 의한 결합 등이 있으며, 각각에 대한 구조는 그림 1과 같다[2].

마이크로스트립 선로에 의해 직접 급전 방법에는 그림 1(a)와 같이 패치와 50Ω 급전선로 사이에  $\lambda/4$  임피던스 변환기를 사용하는 방법이 있으며, 이 경우에는 임피던스 변환 선로에 의한 의사 복사가 발생할 수 있고, 좁은 선로의 폭에 의해 제작상의 어려움이 있고 또한 안테나 크기가 증가하는 단점이 있다.

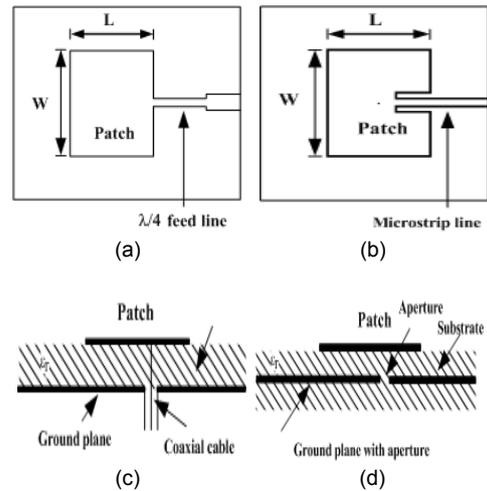


그림 1. 급전 구조 (a)  $\lambda/4$  선로 (b) 인셋 (c) 동축 선로 (d) 개구결합  
**Fig. 1** Configurations of feeding (a) quarter-wavelength line (b) inset (c) coaxial cable (d) aperture coupled

본 논문에서는 이러한 단점을 보완한 그림 1(b)의 인셋 급전 구조를 사용하여 마이크로스트립 안테나를 급전하고 인셋의 길이와 폭 등의 변화에 따른 안테나의 정합 상태를 관찰하면서 최적 특성을 갖는 안테나를 설계하였다.

2.2. 인셋 급전 마이크로스트립 패치 안테나 설계

인셋 급전 구조를 갖는 구형 마이크로스트립 패치 안테나는 그림 2와 같다. 그림에서 패치 안테나의 길이와 폭은 L, W, 유전체의 두께와 유전율은 각각 h,  $\epsilon_r$ 이다. 그리고 50Ω 급전선로의 길이와 폭은 각각 Feed\_L, Feed\_W이다. 급전선로와 패치사이의 임피던스 정합을 위한 인셋 길이와 폭은 각각 Inset\_L, Inset\_W, 안테나의 전체 길이와 폭은 각각 Sub\_L, Sub\_W이다.

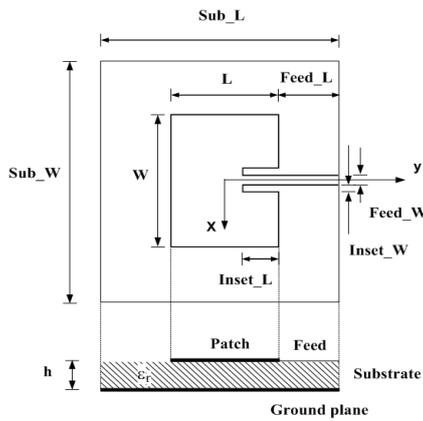


그림 2. 인셋 급전 마이크로스트립 안테나의 구조  
Fig. 2 Configuration of a inset fed microstrip antenna

2.2.1. 마이크로스트립 패치 설계

설계 목표로 하는 공진주파수에서의 패치 폭 W는 안테나의 공진주파수  $f_o$ , 유전체의 유전율과 두께로 근사화 되며, 다음 식과 같다[2, 6].

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

그리고 패치의 길이 L은 패치 가장자리에서 발생하는 가장자리 효과를 고려하여 계산하며, 다음 식과 같이 표현된다.

$$L = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta\ell \quad (2)$$

여기서, c는 광속,  $\epsilon_{eff}$ 는 유효 유전율,  $\Delta\ell$ 은 패치에 대한 선로확장 길이를 나타낸다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

$$\Delta\ell = 0.412h \frac{\epsilon_{eff} + 0.3}{\epsilon_{eff} - 0.258} \frac{\frac{W}{h} + 0.264}{\frac{W}{h} + 0.8} \quad (4)$$

마이크로스트립 급전선로의 특성 어드미턴스  $Y_o$ 는 다음 식과 같으며, 이 식으로부터 50Ω 급전선로의 폭을 구할 수 있다.

$$Y_o = \frac{W\alpha \sqrt{\epsilon_{eff}}}{120\pi h} \quad (5)$$

여기서  $\alpha$ 는 상수이다.

$$\alpha = 1 + 1.393 \frac{h}{W} + 0.667 \frac{h}{W} \ln \left[ \frac{W}{h} + 1.444 \right] \quad (6)$$

2.2.2. 인셋 급전에서 인셋 길이 변화

인셋 급전 구조를 사용한 안테나의 입력 임피던스  $R_{in}$ (Inset\_L)는 인셋의 길이 Inset\_L에 따라 변화하며, 다음과 같이 표현된다[3].

$$R_{in}(\text{Inset}_L) = R_{in}(0) \cos^2 \left\{ \frac{\pi \text{Inset}_L}{L} \right\} \quad (7)$$

여기서,  $R_{in}(0)$ 는 패치의 복사면 가장자리에서 급전될 때 안테나의 입력 임피던스이며, 이는 패치의 복사 어드미턴스와 상호 결합 컨덕턴스로 표현된다. 패치의 복사 어드미턴스는 슬릿이 있는 평행-평판 도파로 등가회로로부터 구할 수도 있다[10].

본 논문에서는 먼저, 2.3 GHz에서 패치 안테나의 폭과 길이 및 급전선로의 폭을 식 (1)~(6)으로부터 구하였다. 그리고 임피던스 정합을 위해 인셋의 길이와 폭의 변화에 따른 안테나의 반사손실을 분석하여 최적 특성을 나타낼 때의 인셋 길이와 폭을 구하였다.

2.3 GHz에서 공진하기 위해 설계된 패치와 급전선로 및 유전체의 제원은 표 1과 같다. 표 1에서와 같이 안테나 전체의 크기는 90.0 mm × 80.9 mm, 패치는 45.0 mm × 40.9 mm, 급전선로의 폭은 2.21 mm이다.

안테나의 입력 임피던스에 영향이 큰 인셋의 길이

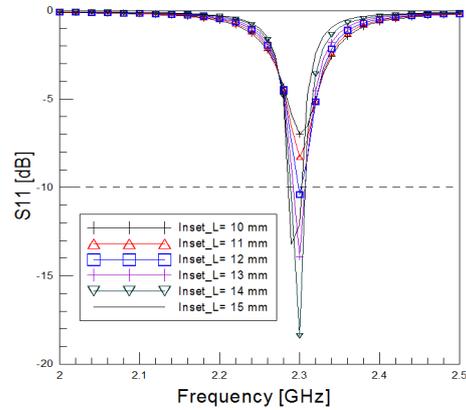
변화에 대한 공진 특성을 관찰한 결과를 그림 3~5에 나타내었다.

**표 1.** 인셋 급전 마이크로스트립 안테나 파라미터  
**Table. 1** Parameters of the inset fed microstrip antenna

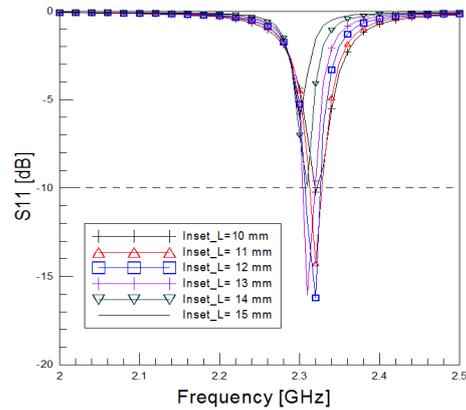
Parameter	Value
Operation frequency	2.3 GHz
Dielectric constant( $\epsilon_r$ )	2.5
Substrate thickness(h)	0.787 mm
Patch length(L)	40.9 mm
Patch width(W)	45.0 mm
Inset length(Inset_L)	1~19 mm
Inset width(Inset_W)	1~8 mm
Feed length(Feed_L)	20.0 mm
Feed width(Feed_W)	2.21 mm
Substrate length(Sub_L)	80.9 mm
Substrate width(Sub_W)	90.0 mm

그림 3은 인셋의 폭이 1 mm일 때 인셋 길이의 변화에 대한 안테나의 공진 특성을 나타내었다. 그림에서와 같이 인셋 길이의 변함에 따라 공진주파수의 변화는 거의 없으나 정합 특성이 크게 변화하였다. 인셋 폭이 1 mm인 경우 길이가 14 mm일 때 반사손실이 약 -18.42 dB로 가장 양호하며 공진주파수도 설계주파수인 2.3 GHz로 나타났다.

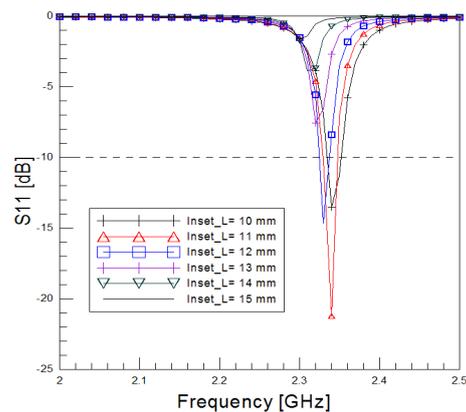
그림 4는 인셋 폭이 3 mm인 경우이다. 그림에서와 같이 인셋 폭이 3 mm일 때 인셋 길이가 12 mm와 13 mm에서 양호한 정합 특성을 나타내었으며, 공진주파수는 각각 2.32와 2.31 GHz로 나타났다. 따라서 인셋 폭이 1 mm에 비해 3 mm로 증가함에 따라 안테나의 정합 특성이 양호하기 위한 인셋의 길이는 감소하게 된다. 그리고 인셋 길이가 감소함에 따라 안테나의 공진주파수는 높은 쪽으로 이동하여 설계주파수와의 편차가 발생하게 된다. 그림 5는 인셋 폭이 5 mm에 대한 결과이며, 그림 4와 동일한 특성을 나타내었다. 인셋 길이가 11 mm일 때 양호한 정합 특성을 나타내었고, 공진주파수는 2.34 GHz로 나타났다. 따라서 식 (7)에서와 같이 인셋 급전 구조에서 안테나의 입력 임피던스는 인셋 길이에 따라 변화됨을 확인하였다. 이상으로부터 패치의 길이와 폭, 인셋 폭이 일정할 때 인셋 길이가 감소함에 따라 공진주파수는 증가함을 알 수 있었다.



**그림 3.** 인셋 길이에 따른 반사손실: 인셋 폭 = 1 mm  
**Fig. 3** Return loss against inset length: inset width=1 mm



**그림 4.** 인셋 길이에 따른 반사손실: 인셋 폭=3 mm  
**Fig. 4** Return loss against inset length: inset width=3 mm



**그림 5.** 인셋 길이에 따른 반사손실: 인셋 폭=5 mm  
**Fig. 5** Return loss against inset length: inset width=5 mm

2.2.3. 최적 안테나 설계

그림 6에서는 패치의 크기가 45.0 mm × 40.9 mm 일 때 인셋 길이에 따른 최적 공진 특성을 나타내는 인셋 폭과 공진주파수사이의 관계를 도시하였다. 그림에서와 같이 설계주파수인 2.3 GHz에서 최적의 공진 특성을 나타내는 인셋 길이는 14 mm, 폭은 1 mm이다. 이때 그리고 인셋의 길이가 감소함에 따라 안테나가 정합되는 인셋 폭은 증가하고 또한 공진주파수는 높은 쪽으로 이동하게 된다.

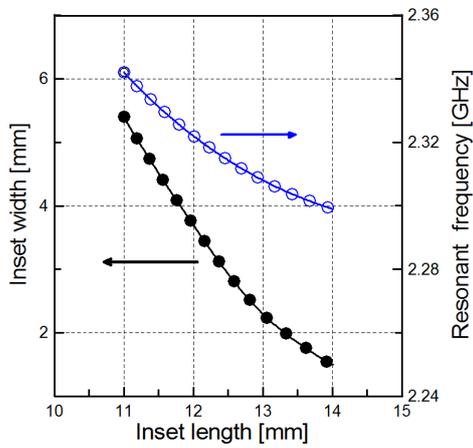


그림 6. 인셋 길이에 따른 최적화된 안테나의 인셋 폭과 공진 주파수  
 Fig. 6 Inset width and resonant frequency of the optimized antenna against inset length

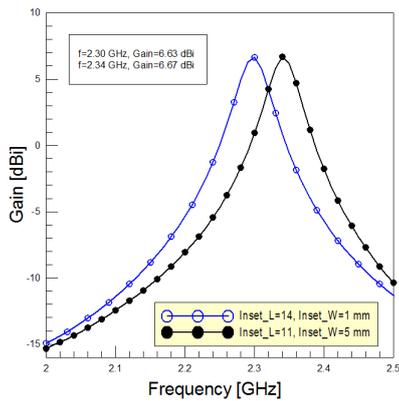
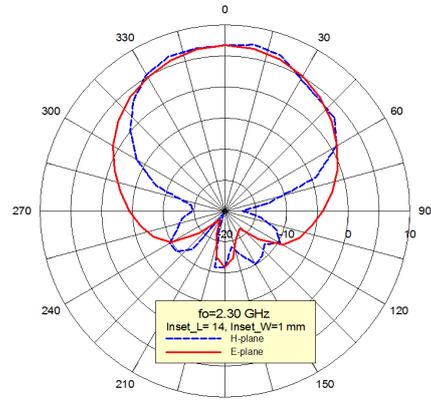
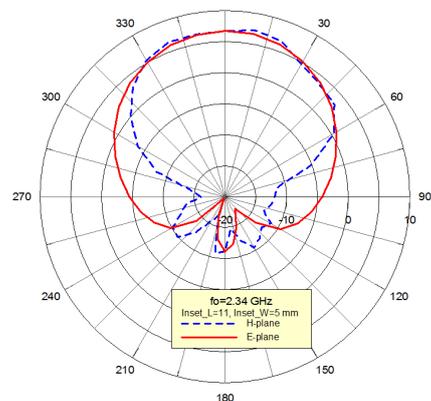


그림 7. 이득[시뮬레이션]  
 Fig. 7 Gain[simulation]



(a)



(b)

그림 8. 복사패턴[시뮬레이션] (a) L=14, W=1 mm(2.3 GHz 용) (b) L=11, W=5 mm(2.34 GHz 용)

Fig. 8 Radiation pattern[simulation] (a) L=14, W=1 mm (2.3 GHz) (b) L=11, W=5 mm(2.34 GHz)

설계주파수 2.3 GHz에서 최적 조건인 인셋 길이가 14 mm, 인셋 폭이 1 mm일 때와 2.34 GHz에서 인셋 길이가 11 mm, 인셋 폭이 5 mm일 때의 이득을 시뮬레이션한 결과는 그림 7과 같다. 그림에서 안테나의 최대 이득은 각각 설계주파수 2.3 GHz와 2.34 GHz에서 6.63 dBi 및 6.67 dBi로 최대 이득을 나타내었다. 그리고 그림 8(a), (b)는 각각 2.3 GHz용과 2.34 GHz용 안테나에 대한 시뮬레이션한 복사패턴 결과이며, 두 경우 비슷한 안테나의 복사특성을 나타내었다.

### III. 안테나 제작 및 측정 결과

인셋 급전 구조에서 최적 특성을 갖는 안테나를 설계하고, 이론 결과를 비교하기 위해 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 유전체 기판을 사용하여 안테나를 제작 실험하였다. 그림 9(a)는 2.3 GHz에서 최적 설계된 안테나이며, 인셋의 길이는 14 mm, 인셋 폭은 1 mm이다. 그리고 그림 9(b)는 2.34 GHz 안테나이며, 인셋 길이 11 mm, 인셋 폭이 5 mm이다. 두 경우 모두 마이크로스트립 패치의 크기는 45.0 mm × 40.9 mm, 안테나 전체의 크기는 90.0 mm × 80.9 mm이다.

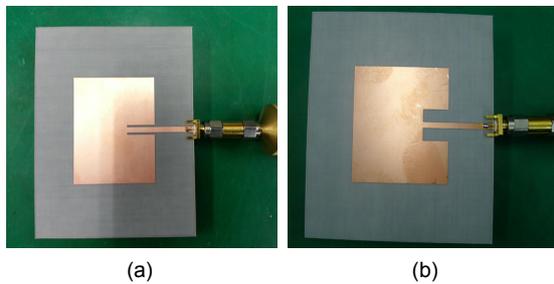


그림 9. 제작된 안테나 (a) 2.3 GHz용 (b) 2.34 GHz용  
 Fig. 9 Photograph of fabricated antennas (a) 2.3 GHz (b) 2.34 GHz

안테나의 반사손실을 측정한 결과와 이론 결과를 비교하면 그림 10과 같다.

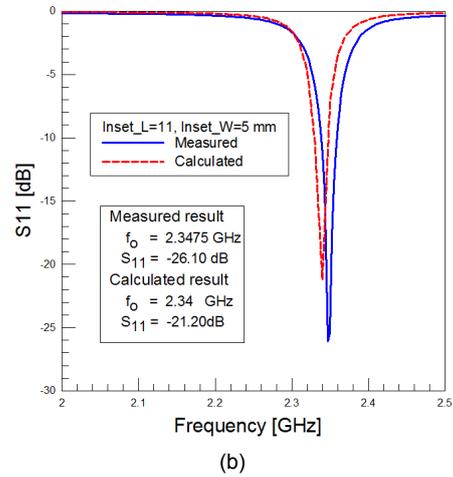
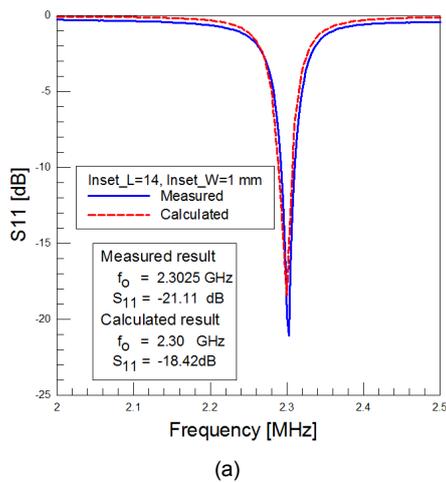


그림 10. 안테나의 반사손실 (a) 2.3 GHz용 (b) 2.34 GHz용  
 Fig. 10 Return loss of the antenna (a) 2.3 GHz (b) 2.34 GHz

그림 10(a)에서와 같이 안테나의 공진주파수와 반사손실의 이론 결과는 2.30 GHz, -18.42 dB, 측정 결과는 2.3025 GHz에서 -21.11 dB로 나타났으며, 이론 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 10(b)는 2.34 GHz에서 반사손실의 이론 결과는 -21.20 dB, 측정 결과는 2.3475 GHz에서 -26.10 dB이며, 이 또한 이론 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고 각각의 경우 VSWR < 2인 대역폭은 약 25 MHz로 좁게 나타났다.

### IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 급전하기 위해 인셋 구조를 사용하였으며, 인셋의 길이와 폭에 따른 안테나의 최적 공진 특성을 갖는 안테나를 설계하였다. 먼저 패치가 S-대역 2.3 GHz에서 동작하도록 패치의 폭과 길이 및 급전선로의 폭을 구하였다. 그리고 인셋의 길이와 폭을 변화하면서 안테나의 공진 특성을 관찰하여 최적 특성을 갖는 인셋 길이와 폭을 구하였으며, 최적 설계된 안테나의 반사손실, 이득 및 복사패턴을 분석하였다. 그 결과, 인셋 길이가 감소하고, 인셋 폭이 증가함에 따라 공진주파수는 증가하고, 안테나의 정합 특성에도 변화를 주게 된다.

따라서 2.3 GHz에서 동작하기 위해서는 패치의 폭과 길이는 각각 45.0 mm, 40.9 mm, 인셋 길이는 14 mm, 폭은 1 mm로 나타났다. 그리고 유전율이 2.5, 두께 0.787 mm인 기판을 사용하여 안테나를 제작 실험한 결과, 2.3025 GHz에서 반사손실이 -21.11 dB로 측정되었으며, 이론 결과와 일치함을 알 수 있었다.

제시된 방법으로 인셋 급전 구조에서 안테나의 최적 특성을 갖는 인셋 길이와 폭을 설계할 수 있었고, 향후 인셋 급전 마이크로스트립 안테나의 크기를 감소하거나 이득을 증가시키기 위하여 안테나에 SLR(single loop resonator) 또는 CSLR(complementary single loop resonator)을 적용하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 교육부(NRF-2010-0024647)의 지원 및 BK21+(21A20131600011) 사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

### REFERENCES

- [ 1 ] N. P. Waweru, D. B. O. Konditi and P. K. Langat, "Variation of input impedance with feeding position in probe and inset-fed microstrip patch antenna," *Innovative Systems Design and Engineering*, vol. 3, no. 7, pp. 77-85, 2012.
- [ 2 ] Microstrip Antenna - Feeding Methods[Internet]. Available: <http://antenna-theory.com/antennas/patches/patch3.php>
- [ 3 ] M. A. Matin, and A. I. Sayeed, "A design rule for inset-fed rectangular microstrip patch antenna," *WSEAS Transactions on Communications*, vol. 9, pp. 63-72, Jan. 2010.
- [ 4 ] D. Bhalla and K. Bansal, "Design of rectangular microstrip patch antenna using inset fed technique," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 08-13, 2013.
- [ 5 ] A. Singh, R. Gusain, S. C. Gupta, and S. Vijay, "Comparitive study of return loss for single and dual inset-fed microstrip antenna," *Conference on Advances in Communication and Control Systems*, pp. 498-501, 2013.
- [ 6 ] S. Pundir, D. Arya, and A. Bansal, "Analysis of electrical parameters of inset fed rectangular microstrip patch antenna(rmpa) by varying inset gap and inset width," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, pp. 126~130, July 2013.
- [ 7 ] K. K. Parashar, "Design and analysis of wide band single slotted microstrip patch antenna for wireless application," *International Journal of Advanced Electronics & Communication Systems*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [ 8 ] Y. S. H. Khraisat, "Design of 4 elements rectangular microstrip patch antenna with high gain for 2.4 GHz applications," *Modern Applied Science*, vol. 6, no. 1, pp. 68-74, Jan. 2012.
- [ 9 ] B. Garg and D. Saleem, "A wide band rectangular microstrip transceiver using 'array of circular SRR' DNG metamaterial structure for microwave applications in s band," *Research Journal of Physical and Applied Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 036-042, June 2013.
- [10] Y. K. Cho, J. P. Hong, and H. Son, "New radiating edges coupling model for the gap between two rectangular microstrip patch antennas," *Electronic Lett.*, vol. 26, no. 16, pp. 1295-1297, Aug. 1990.



홍재표(Jae-Pyo Hong)

1981년 경북대학교 전자공학과 학사  
 1983년 경북대학교 전자공학과 석사  
 1989년 경북대학교 전자공학과 박사  
 1990년 ~ 현재 경일대학교 전자공학과 교수  
 ※ 관심분야: 평면 안테나 설계, 전자파 산란



**김병문(Byung-Mun Kim)**

1986년 경북대학교 학사  
1988년 경북대학교 전자공학과 석사  
1998년 경북대학교 전자공학과 박사수료  
1990년 ~ 1997년 LG정밀 선임연구원  
1997년 ~ 현재 경북도립대학교 IT특약계열 교수  
※ 관심분야: 안테나, 마이크로파 부품 및 탐침 등



**손혁우(Hyeok-Woo Son)**

2009년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사  
2011년 경북대학교 전자공학부 석사  
2011년 ~ 현재 경북대학교 전자공학부 박사과정  
※ 관심분야: 안테나, Metamaterial, MRI RF 코일 등



**조영기(Young-Ki Cho)**

1978년 서울대학교 전자공학과 학사  
1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
1981년 ~ 현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수  
※ 관심분야: 전자기 산란 및 복사, 주기 구조, 안테나 이론 등