

선형편파를 갖는 S-대역 SDR용 SIW 안테나 설계

SIW-Based Linearly Polarized S-Band Antenna for SDR

한 준 용 · 윤 성 식 · 이 재 욱

Jun-Yong Han · Seong-Sik Yoon · Jae-Wook Lee

요 약

본 논문에서는 SIW(Substrate Integrated Waveguide) 구조를 갖는 SDR(Software Defined Radar)용 안테나를 설계하고 제작하였다. SIW 구조는 쉬운 집적화로 인하여 일반 PCB 상에 구현이 가능하고, 기존의 구형 도파관과 같이 높은 전력의 입력 신호에 대하여 낮은 전송손실을 가지는 특성이 있다. 또한, 전자기 간섭에 대하여 강한 내성을 갖는 장점이 있다. 특히 본 논문에서는 제작한 SIW 안테나를 가지고 USRP(Universal Software Radio Peripheral) 플랫폼에 탑재하여 목표물 RCS(Radar Cross Section)탐지 실험을 진행하였다. 제안된 안테나는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역(2.4~2.48 GHz)에서 동작하며, 이득 특성은 8 dBi 이상을 보인다.

Abstract

In this paper, the SIW(Substrate Integrated Waveguide)-based feeding antenna for the application of SDR(Software Defined Radar) is designed and manufactured. It is usually well-known that SIWs are easily integrated on PCB and have low transmission loss toward high powered input signal. Also, it is recommended that SIWs are strongly immunized to Electromagnetic Interferences(EMI). In particular, the manufactured antennas are loaded on the USRP(Universal Software Radio Peripheral) platform and employed to detect target RCS as an experiment in this paper. The operating frequency of the proposed antenna is in ISM(Industrial, Scientific and Medical) band(2.4~2.48 GHz) and the measured gain is over 8 dBi at 2.44 GHz.

Key words: Substrate Integrated Waveguide, Software Defined Radar, Slot Antenna, S-Band

I. 서 론

최근 레이더 센서 기술의 급속한 발전으로 고성능 레이더의 소형·경량화가 용이해지고 있다. 이에 따라 ISM 대역(산업, 과학, 의료의 목적으로 정부의 허가 없이 사용할 수 있는 주파수 대역)에서 사용 가능한 저전력 근거리 레이더에 대한 연구가 증가하는 추세이며, 이 레이더를

SDR 플랫폼에 적용하기 위한 노력이 다방면에서 이루어지고 있다. 일반적으로, 기존의 S-대역 SDR용 안테나로 사용되고 있는 마이크로스트립 패치 안테나의 경우에는 높은 공간 활용도로 인한 장점도 있는 반면, 안테나 급전에 의한 방사패턴의 왜곡, 높은 전송 손실 등의 많은 단점을 가지는 특성을 보인다. 따라서 본 논문에서는 기존의 마이크로스트립 패치 안테나가 가진 단점을 극복하고자

「본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업[14911-01004, 생활 전파 레이더 센서 SDR 플랫폼 기술 개발]의 일환으로 수행하였음.」

한국항공대학교 항공전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

· Manuscript received October 2, 2015 ; Revised December 11, 2015 ; Accepted February 2, 2016. (ID No. 20151002-22S)

· Corresponding Author: Jae-Wook Lee (e-mail: jwlee1@kau.ac.kr)

SIW 구조를 적용하였다. 지금까지 많은 연구가 진행되어 온 SIW 전송선로는 PCB 상에서 구현이 쉽고, 구형 도파관과 같이 동작하는 특성을 가지고 있으므로 다양한 주파수 대역에서 전력 분배기, 결합기, 배열안테나 등에 활용되고 있다. 특히 안테나 급전부분에 SIW 구조가 적용된다면 외부로부터의 간섭과 전력 손실 및 방사패턴의 왜곡을 최소화 할 수 있는 장점이 있다^[1]. 본 논문에서는 설계한 안테나를 기존의 SDR용 안테나로 사용되는 마이크로스트립 패치 안테나와 비교하기 위하여 USRP 플랫폼에 탑재하여 목표물 탐지 시 기저대역 전력 스펙트럼 크기를 비교해 보았다.

II. SIW 원형 슬롯 안테나 설계

2-1 SIW 전송선로

SIW 전송선로는 PCB 기판에서 위의 도체판과 아래의 도체판을 연결하는 비아홀(via hole)을 삽입함으로써 구현할 수 있다. 그림 1은 SIW 전송선로에 대한 개념도이다.

SDR용 안테나의 경우, 송수신 안테나가 근접하여 위치하게 되는데, SIW 전송선로 구조를 적용하면 송수신 안테나간 간섭을 줄여 격리도 특성을 최대로 구현할 수 있다. SIW 구조는 일반적인 구형 도파관과 같이 TE_{10} 모드가 기본모드로 동작하며, 도파관의 물리적인 크기에 의해 차단주파수가 결정된다^[2]. 본 논문에서 설계한 안테나는 ISM 대역인 2.4~2.48 GHz 내에서 동작하므로 SIW 전송

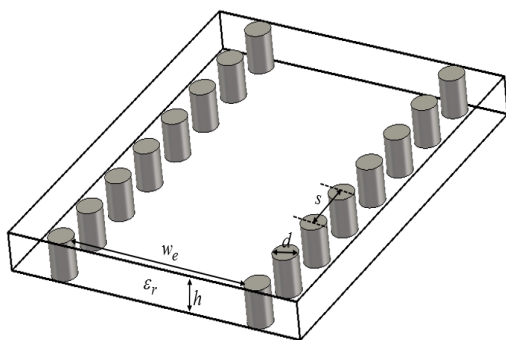


그림 1. SIW 전송선로^[3]
Fig. 1. SIW transmission line^[3].

선로의 폭 w_e 는 57 mm, 비아홀 지름 d 는 1.5 mm, 비아홀 간격 s 는 2.5 mm로 설계하였으며 차단주파수는 약 1.8 GHz가 되게 설정하였다. 본 논문에서는 높이 1.57 mm, 유전율 2.2인 RT Duroid 5880 PCB 기판에 안테나를 설계하였으며, CST MWS를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

2-2 SIW 원형 슬롯 안테나

안테나를 설계함에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나는 임피던스 정합인데, SIW 안테나의 경우에는 원형 슬롯 내부의 shorting via(그림 2의 점선 원)의 위치를 적절하게 조절함으로써 안테나 임피던스를 맞출 수 있다.

Shorting via는 슬롯 내부의 도체판과 슬롯 외부의 그라운드를 연결하며, 안테나의 편파(선형편파, 원형편파)의 생성에도 영향을 미친다. 본 논문에서 설계한 안테나는 shorting via가 y축상에 존재하여 선형편파를 생성시키는데, 이는 SDR에 적용시키기 위함이다. 또한, 원형 슬롯 안테나에서 슬롯의 반지름은 공진 주파수를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 공진주파수와 슬롯의 반지름 a 와의 관계는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{K_{11} \cdot c}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \quad J'_1(K_{11}) = 0 \quad (1)$$

식 (1)에서 K_{11} 은 제 1종 제1차 베셀 함수의 첫 번째 미분 값을 나타내며, 1.8412의 값을 가진다^[4]. 그리고 c 는 빛의 속도, ϵ_r 은 기판의 상대 유전율을 의미한다. 하지만

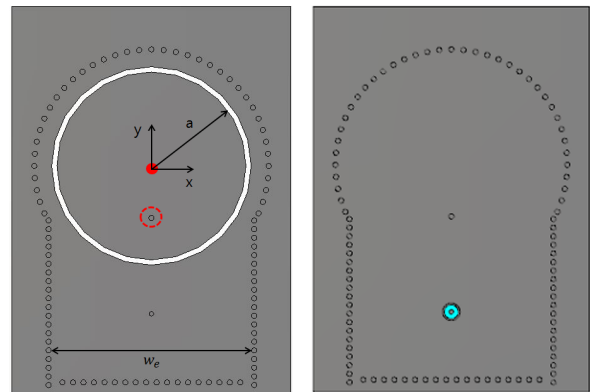


그림 2. 설계한 SIW 원형슬롯 안테나
Fig. 2. Designed SIW ring slot antenna.

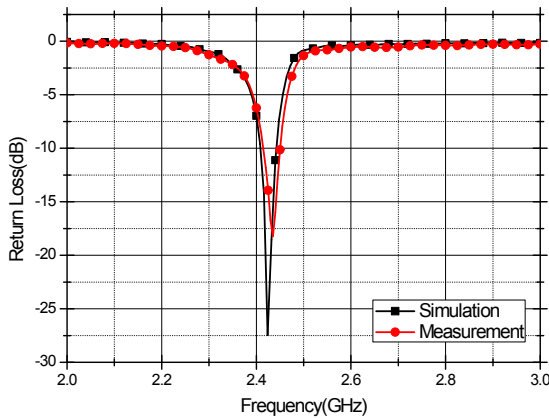


그림 3. 시뮬레이션과 제작한 안테나에 대한 반사 손실 특성결과 비교

Fig. 3. Return loss property of simulated antenna and manufactured antenna.

실제 안테나 설계에 있어서는 관계식이 맞지 않는 경우가 발생하므로 추가적인 파라미터 스테디를 통하여 공진 주파수에 맞는 슬롯의 반지름($a=27.12\text{ mm}$)을 결정하였다. 시뮬레이션과 실제 제작한 안테나의 반사손실 특성은 다음과 같다. 시뮬레이션된 안테나의 반사계수는 -10 dB 기준으로 $2.408\sim 2.443\text{ GHz}$ 이며, 35 MHz 의 대역폭 특성을 보인다. 또한, 제작된 안테나의 대역폭은 $2.415\sim 2.453\text{ GHz}$ 로써 시뮬레이션의 대역폭과 거의 일치한다.

본 논문에서 설계한 안테나는 선형편파 안테나이므로 선형편파 특성을 확인하기 위하여 교차편파 레벨(CPL: Cross-Polarization-Level)을 측정하여 선형편파의 순도를 확인하였다.

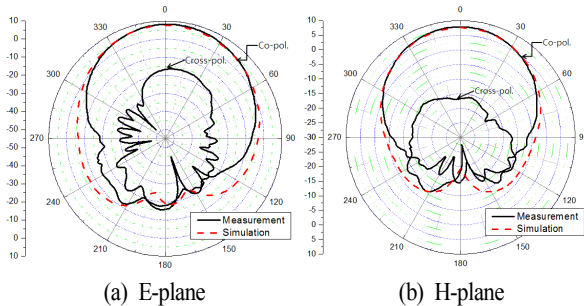


그림 4. 2.44 GHz에서의 안테나 방사패턴 측정결과
Fig. 4. Simulated and measured radiation patterns at 2.44 GHz.

그림 4에서 확인할 수 있듯이, 2.44 GHz에서 8 dBi 이상의 이득 특성을 보이며, 반전력 빔폭(HPBW)은 78° 로 넓은 방사패턴을 형성하는 것을 알 수 있다. 그리고 안테나 bore-sight에서의 Co-pol.과 Cross-pol.은 각각 V-pol.과 H-pol.을 의미하며, 수직, 수평 평면에 있어서 동일편파와의 차는 각각 -23 dB , -25 dB 로 Cross-pol. 대비 높은 순도의 선형편파 특성을 확인할 수 있었다.

2.3 목표물 탐지 실험

기존의 SDR용 안테나로는 주로 마이크로스트립 패치 안테나가 사용되고 있었으며, 특히 S-대역의 경우에는 적용환경인 실내 동작 감시에 맞게 넓은 빔폭을 가질 수 있도록 단일 마이크로스트립 패치 안테나가 사용되고 있었다. 본 논문에서는 기존의 S-대역 SDR용 안테나로 사용되어지고 있는 마이크로스트립 패치 안테나와 설계한 안테나를 비교하기 위하여 USRP 플랫폼에 탑재하여 목표물 탐지 실험을 진행하였다.

그림 5에서 볼 수 있듯이, 실험은 적용환경에 맞게 실내에서 진행하였으며 4 m의 거리에 $30\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 크기의 목표물(RCS $\approx 1\text{ m}^2$)을 안테나의 bore-sight 방향으로 움직이도록 설정하였다^[5]. 목표물은 일정한 속도를 가지고 움직이며, 이로 인하여 도플러 주파수가 발생하게 된다. 본 논문에서는 목표물이 가진 도플러 주파수에서 USRP 플랫폼을 통해 수신되는 기저대역 전력 스펙트럼 크기로 두 안테나의 성능을 비교하였다. 전력 스펙트럼의



그림 5. 목표물탐지 실험환경
Fig. 5. Environment of target detection experiment.

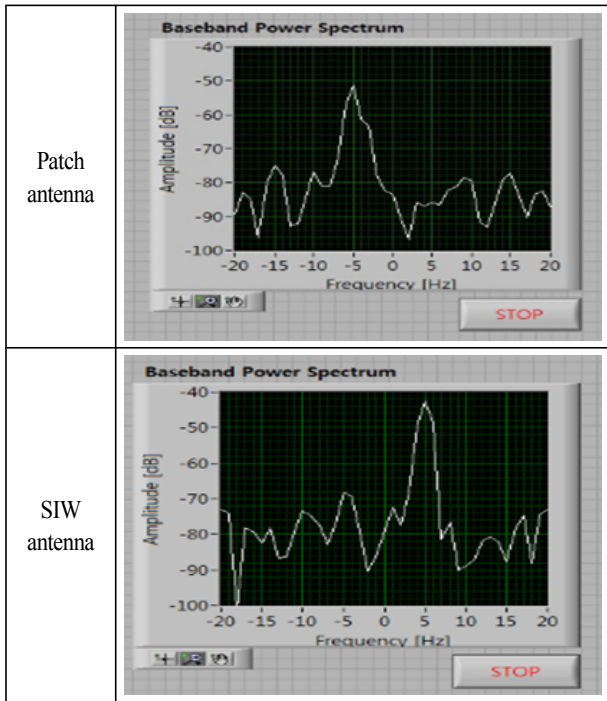


그림 6. 기저대역에서의 전력 스펙트럼 값 비교
Fig. 6. Comparison of baseband power spectrum.

측정은 NI社의 LabVIEW를 이용하였으며, 측정 결과는 그림 6과 같다.

그림 6에서 전력의 최대치는 5 Hz에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 5 Hz는 목표물의 도플러 주파수를 나타낸다. 도플러 주파수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \quad (2)$$

식 (2)에서 v 는 목표물의 속도를 의미하며, 값은 0.3 m/s이다. 그리고 λ 는 목표주파수인 2.44 GHz에서의 파장이며, 두 값을 대입하면 목표물의 도플러 주파수인 5 Hz를 구할 수 있다. 전력 스펙트럼 측정 결과에서 볼 수 있듯이, 패치 안테나에 비해서 SIW 안테나의 최대치가 8 dB 높으며, 이는 SIW 안테나의 탐지 성능이 더 우월하다는 것을 보여준다. 이는 SIW 안테나가 가진 고격리도, 고이득의 전기적 특성으로 인한 것으로 판단된다.

III. 결 론

본 논문에서는 SDR 플랫폼에 탑재할 수 있는 S-band 레이더용 안테나를 설계하고 제작하였다. SDR용 안테나 특성상 높은 격리도를 요구하므로 SIW 구조를 적용하였고, 반복적인 파라미터 스테디를 통하여 안테나 설계변수를 결정하였다. 설계한 안테나는 중심주파수 2.434 GHz 기준으로 38 MHz의 대역폭을 가지며, 2.44 GHz에서 최대 8.2 dBi의 이득 특성을 보인다. 그리고 최대 -25 dB의 교차 편파 특성으로 높은 순도의 수직 편파가 발생하는 결과를 얻었다. 또한, 기존의 SDR용 안테나보다 기저대역에서 더 높은 전력 값을 나타내므로, 추후에 SDR 플랫폼에 탑재하여 사용한다면 더 나은 탐지 성능을 보일 것으로 기대한다.

References

- [1] Dong-Yeon Kim, Jae W. Lee, Taek K. Lee, and Choon Sik Cho, "Design of SIW cavity-backed circular-polarized antennas using two different feeding transitions", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 4, pp. 1398-1403, Apr. 2011.
- [2] F. Xu, K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide", *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005.
- [3] S. S. Yoon, J. Y. Han, and Jae. W. Lee, "SIW-based linearly polarized S-band antenna for software defined radar", *11th International Workshop on Antenna Technology 2015(IWAT 2015)*, Seoul, Korea, Mar. 2015.
- [4] N. C. Karmakar, "Investigations into a cavity-backed circular-patch antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 50, no.12, pp. 1706-1715, Dec. 2002.
- [5] In-Sang Woo, Jung-Soo Jung, Myeong-Seok Park, and Young-Kil Kwag, "Software defined radar platform test-bed for micro-Doppler detection", *5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar(APSAR 2015)*, pp. 50-53, Singapore, Sep. 2015.