

# 메타표면 덮개를 적용한 C-대역 큐브위성 탑재용 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나

## C-Band CubeSat Substrate Integrated Waveguide Slot Array Antenna with Metasurface Superstrate

안 형 준 · 김 창 성 · 박 용 배

Hyungjun An · Changseong Kim · Yong Bae Park

### 요 약

본 논문에서는 C대역에서 동작하는 메타표면 덮개를 갖는 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나를 제안하였다. 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나는 낮은 방사 손실과 전송 손실, 높은 고립도 특성으로 큐브위성 탑재용 안테나로 유리하지만, 높은 Q인자 특성으로 인해 좁은 대역폭 특성을 갖고 있다. 이를 보완하기 위해 메타표면 덮개의 추가 공진모드인  $TM_{10}$ 를 이용하였다. 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나는  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 0.675 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.05 \lambda_0 \times 0.01 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.67 GHz)의 크기를 가지며, 4.65~4.69 GHz(약 1%)의 대역폭, 4.7 dBi의 최대실현이득을 갖는다. 메타표면 덮개를 적용할 경우 크기는  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 3.7 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.07 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.74 GHz), 대역폭은 4.73~4.87 GHz(3%)를 가지며, 최대실현 이득은 6.58 dBi의 특성을 유지하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a substrate integrated waveguide(SIW) slot array antenna with a metasurface superstrate operating in the C band. SIW slot array antennas have advantages for CubeSat applications due to their low radiation loss, low transmission loss, and high isolation characteristics. However, these antennas have narrow bandwidth characteristics due to high Q factor. To compensate for this, the additional resonance mode  $TM_{10}$  of the metasurface superstrate has been used. An SIW slot array antenna without metasurface superstrate has dimensions of  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 0.675 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.05 \lambda_0 \times 0.01 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.67 GHz), bandwidth of 4.65~4.69 GHz (approximately 1%), and maximum realization gain of 4.7 dBi. Using the metasurface superstrate, the size of the antenna is  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 3.7 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.07 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.74 GHz), the bandwidth is 4.73~4.87 GHz(3%), and the maximum realized gain is 6.58 dBi.

Key words: LEO Satellite Antenna, Small Stellite Antenna, Metasurface Superstrate Antenna, Substrate Integrated Waveguide Antenna

### I. 서 론

최근 위성 산업의 발달로 비용 및 시간적 이점을 얻기

위해 기존의 중·대형 위성 임무를 대체한 소형 위성 연구가 활발하다. 특히 초소형 위성인 큐브위성은 1999년

「이 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과(IITP-2019-2018-0-01424)로 수행되었음.」  
아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· Manuscript received September 17, 2019 ; Revised October 16, 2019 ; Accepted November 27, 2019. (ID No. 20190917-087)

· Corresponding Author: Yong Bae Park (e-mail: yong@ajou.ac.kr)

미국 California Polytechnic State University와 Stanford University에서 교육용 목적으로 개발되었으나, 다양한 활용 가능성으로 민간, 군용, 정부에서도 연구개발이 늘어나는 추세이다. 큐브위성은 주로 저궤도인 500~1,500 km 사이에서 과학정보 수집 및 측정, 광학 센서와 기술을 이용한 관측, 심우주 탐사와 같은 임무가 있다<sup>[11][12]</sup>. 큐브위성은 가로 10 cm× 세로 10 cm×높이 10 cm의 부피 1 리터를 갖는 것으로 단위는 “U”를 사용하며, 1 U당 무게 약 1.33 kg을 기준으로 하고 있다<sup>[13]</sup>. 큐브위성 1 U당 부피가 일정하기 때문에 큐브위성 탑재용 안테나는 소형화, 상호 간섭이 최소화되어야 한다.

기판 집적 도파관(substrate integrated waveguide: SIW) 슬롯 배열 안테나는 도파관 슬롯 배열안테나에 비해 크기, 무게, 제작비용 등에서 이점을 갖고 있기 때문에 위성 통신 산업에서도 주로 사용되어 왔다<sup>[4]</sup>. 또한 도파관 슬롯 배열 안테나와 유사한 전기적 특성이 있어 패치 안테나에 비해 방사손실, 전송손실이 낮으며, 격리도 특성이 좋기 때문에 큐브위성 탑재용으로 유리하다. 하지만 높은 Q인자 특성으로 인해 좁은 대역폭을 갖는다<sup>[5]~[7]</sup>. 안테나의 성능을 향상시키는 기술에는 메타표면을 이용한 기술이 있으며, 추가 공진 모드인 TM<sub>10</sub> 모드를 이용하여 대역폭과 이득을 향상시킨 연구도 진행되었다<sup>[8]~[11]</sup>.

큐브위성 탑재용 안테나의 사용 주파수 대역은 L, S, C, X, Ku 대역 등이 있으며, 본 논문에서는 C대역 동작주파수를 선택하였다. C 대역은 X, Ku 대역보다 비교적 낮은 주파수이기 때문에 더욱 적은 자유공간손실을 갖는다<sup>[13]</sup>. 또한 S 대역 안테나에 비해 비교적 작은 크기를 갖기 때문에 큐브위성 탑재용으로 용이하다.

기존에 연구된 C 대역 큐브위성 탑재용 안테나는 마이크로스트립 패치를 이용한 위성 간 통신용 패치 안테나로 5 GHz에서 최대 약 5 dBi의 이득을 갖는다<sup>[12]</sup>. 본 논문에서는 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나에 추가 공진 모드 TM<sub>10</sub>를 발생시키는 메타표면 덮개를 적용하여 최대 실현 이득 6.58 dBi를 갖는 큐브위성 탑재용 안테나를 설계하고, 제작, 측정한다.

## II. 기판 집적 도파관 안테나 설계

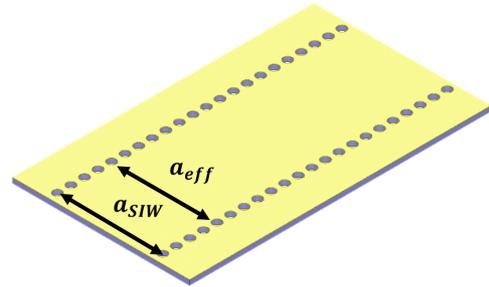


그림 1. 유전체 기판에 적용된 기판 집적 도파관 구조  
Fig. 1. Substrate integrated waveguide structure applied to substrates.

### 2-1 기판 집적 도파관의 구조

기판 집적 도파관은 그림 1과 같이 유전체 기판 상부 접지면과 하부 접지면, 이를 연결하는 좌우 비아 홀 배열을 통해 전파가 진행된다.  $a_{SIW}$ 는 좌우 비아 홀 중심 사이 간격이며, 다음과 같이 나타낸다<sup>[4]</sup>.

$$a_{SIW} = a_{eff} + \frac{d^2}{0.95p} \quad (1)$$

$a_{eff}$ 는 기판 집적 도파관의 등가폭이며,  $d$ 는 비아 홀의 직경,  $p$ 는 비아 홀 사이 간격이다. 이때 간격  $p$ 는 전력누설 방지를 위해 관내 파장에 1/10 이하의 거리를 갖는다<sup>[13]</sup>. 변수  $d$ ,  $p$ ,  $a_{eff}$ 의 값은 각각 1.2 mm, 1.8 mm, 14 mm이다. 기판은 안테나의 소형화를 위해 유전율이 높은 Taconic사의 RF-10( $\epsilon_r=10$ )을 사용하였다.

### 2-2 기판 집적 도파관의 천이구조

기판 집적 도파관의 급전 구조는 그림 2와 같이 일반적인 마이크로스트립 선로를 이용하였다. 급전은 50Ω 마이크로스트립 선로를 사용하였으며, 마이크로스트립 선로의 천이구조 폭과 길이 수식은 다음과 같다<sup>[14],[15]</sup>.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w_f}} \quad (2)$$

$$= \frac{4.38}{a_{eff}} e^{-0.627 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_e}} \quad (3)$$

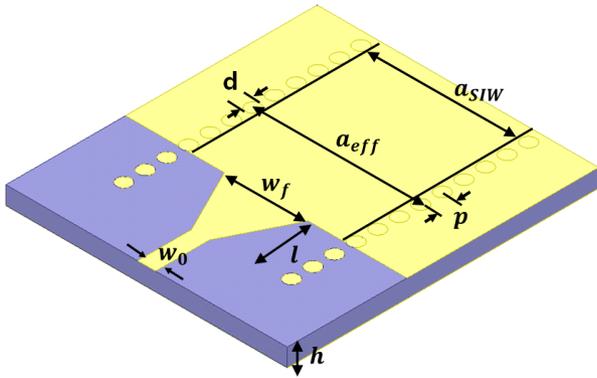


그림 2. 기판 집적 도파관의 천이구조  
Fig. 2. Transition structure of substrate integrated waveguide.

$$l = \frac{3\lambda_t}{4} \left( \lambda_t = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \right) \quad (4)$$

천이구조의 길이( $l$ )와 폭( $w_f$ )은 식 (3)과 식 (4)를 통해 각각 6 mm, 2.9 mm이다.

### 2.3 기판 집적 도파관의 슬롯 배열

기판 집적 도파관의 슬롯 배열 안테나는 그림 3(a)와 같으며, 슬롯의 길이( $l_{slot}$ )는 안테나의 공진주파수에 비례하며, 수식은 다음과 같다<sup>[16]</sup>.

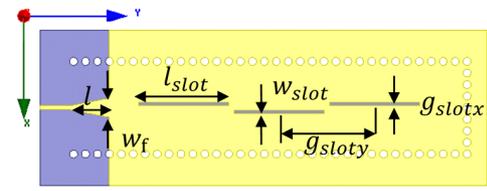
$$l_{slot} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \quad (\lambda_0 : \text{공진주파수}) \quad (5)$$

슬롯의 배열은 총 3개로 슬롯의 길이( $l_{slot}$ )는 14 mm, 슬롯의 폭( $w_{slot}$ )은 0.5 mm이다. 슬롯 간 간격( $g_{sloty}$ )은 14.2 mm, 슬롯중심과 y축 간 거리( $g_{slotx}$ )는 0.6 mm이다. 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나의 크기는 23.5 mm×67.5 mm×0.675 mm( $0.37\lambda_0 \times 1.05\lambda_0 \times 0.01\lambda_0$ )이다. 그림 4는 기판 집적 도파관 슬롯 배열안테나의  $S_{11}$ 이고, 대역폭은 4.65~4.69 GHz(약 1%)이다. 그림 5는 최대실현 이득으로 대역폭 내 최대 실현 이득은 4.7 dBi이다.

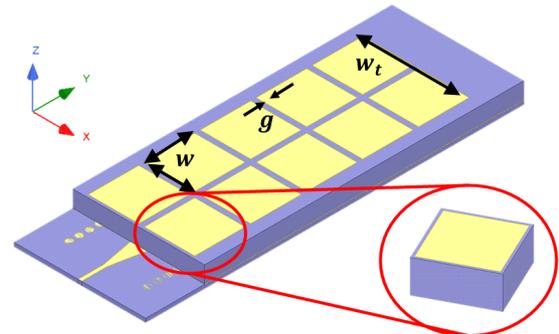
## III. 메타표면 덮개를 적용한 안테나 설계

### 3.1 메타표면 덮개

메타표면 덮개 도체의 주기 구조로 이루어져 있으며,



(a)



(b)

그림 3. (a) 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나, (b) 메타표면 덮개를 적용한 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나 및 메타표면 단위 셀

Fig. 3. (a) SIW slot array antenna, (b) SIW slot array antenna with metasurface superstrate and unit cell.

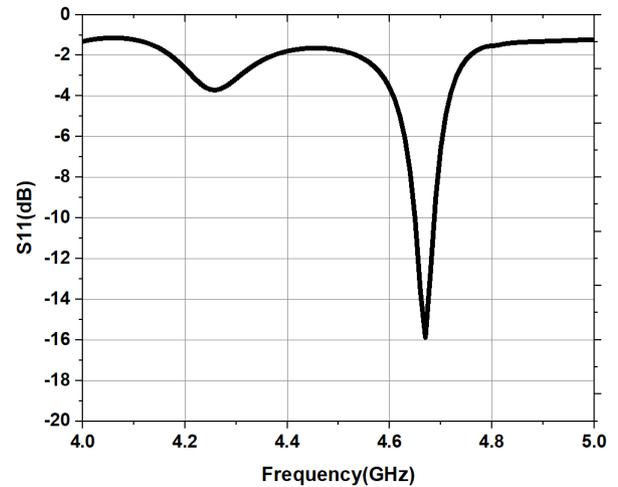


그림 4. 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나의  $S_{11}$

Fig. 4.  $S_{11}$  of SIW slot array antenna.

본 논문에서 제시한 정사각 패치 형태의 단위 셀은 그림 3(b)와 같다. 단위 셀은 CRLH mushroom 구조에서 via를 제거한

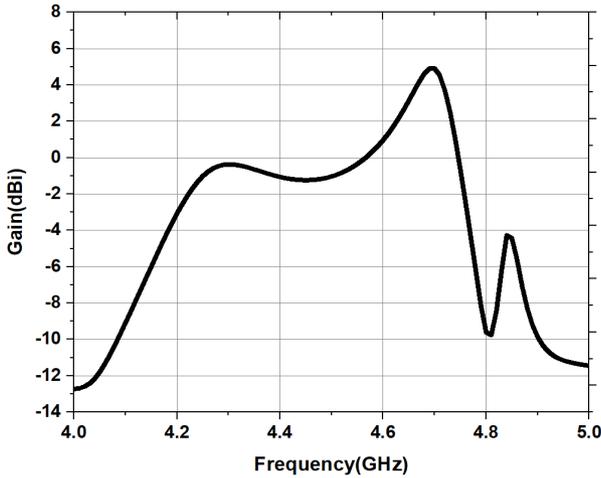


그림 5. 기관 집적 도파관 슬롯 배열 안테나의 이득  
Fig. 5. Gain of SIW slot array antenna.

형태로 병렬 인덕턴스 성분은 줄이고, RH 분산 특성은 유지한다. 단위는 mm를 사용하며, 파라미터 변수의 값은 다음과 같다( $w=9$  mm,  $g=0.5$  mm,  $h_2=3$  mm). 유전체는 Taconic사의 RF-30( $\epsilon_r=3$ )이다. 그림 3(b)는 단위 셀을  $2 \times 5$ 로 배열한 구조이며, 기관 집적 도파관 슬롯 안테나 상부에 없어 적용한다. 또한 자유공간에서의 파장에 비해 기관의 높이가 작을 경우, 전송선 모델을 이용하여 분산 특성을 확인할 수 있다. 그림 3(b)의 메타표면 덮개 단위 셀 사이 간격은  $g$ , 단위 셀의 크기를  $w$ , 두께를  $h_2$ 라고 할 때 전송선 모델의 분산 특성 수식은 다음과 같다<sup>9)</sup>.

$$\beta_u = \frac{\pi - 2\beta_e \Delta L_2}{mp_u}, TM_{10} \text{ mode} \quad (6)$$

$$\beta_e = 2\pi f \sqrt{\epsilon_{re}} / c \quad (7)$$

$$\Delta L = h_2 \times 0.412 \frac{(\epsilon_{re} + 0.3)(w_t/h_2 + 0.262)}{(\epsilon_{re} - 0.258)(w_t/h_2 + 0.813)} \quad (8)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_{r2} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{r2} - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h_2/w_t}} \quad (9)$$

$\beta_u$ 는 단위 셀의 전파상수이며,  $\beta_e$ 는 fringing field의 전파상수이다.  $m$ 은  $x$ 축 메타표면 덮개의 단위 셀 개수로 2이고,  $p_u = w + g$ 이다.  $w_t$ 는  $2p_u$ 이다. 단위 셀의 전파상수  $\beta_u$ 는 시뮬레이션(HFSS)를 이용하여 추출하였다. 본 논문

에서는 RH 영역에서 동작하는 TM모드를 통해 안테나를 설계하였다.  $TM_{10}$  모드의 공진 주파수는 다음과 같은 수식에 의해 결정된다<sup>9)</sup>.

$$\beta_u p_u m + 2\beta_{eff} \Delta L = \pi \quad (10)$$

### 3-2 메타표면 덮개를 적용한 안테나의 특성

본 논문에서 사용한 단위 셀의 분산특성을 알아보기 위해 시뮬레이션(HFSS)의 경계조건을 그림 6과 같이 나타내었다. 단위 셀을 주기적으로 배열하게 되면 재구성된 형태의 배열과 기본 형태의 배열은 같다. 따라서 port를 형성하기 위해 단위 셀의 형상을 그림 6과 같이 재구성하여 시뮬레이션을 진행한다.

$TM_{10}$  모드를 설명하기 위해서는 제시한 식 (10)을 만족해야 한다. 그림 7은 단위 셀 RH 영역의 분산 특성과 메타표면과 SIW 표면 사이에서 발생된 fringing field의 분산 특성이다. 앞서 설명한 그림 6의 경계조건을 통해 시뮬레이션(HFSS)을 통해 단위 셀의 분산특성( $\beta_u$ )을 구한다. 단위 셀의 분산특성( $\beta_u$ ) 결과는 그림 7의 검은색 실선으로 나타내었다. 메타표면과 SIW 표면 사이에서 발생된 fringing field의 전파상수( $\beta_{eff}$ )는 붉은색 점선으로 나타내었다. 두 선의 교점에서 식 (10)을 만족시키며, 이때 공진 주파수는 4.8 GHz이다. 공진 주파수에서의  $TM_{10}$  모드는 그림 8의 전기장 분포를 통해 알 수 있다. 그림 8(a)는 3차원으로 본 메타표면의 전기장 분포이고,  $y$ 축 메타표면의 gap에서 전기장의 세기가 가장 크게 나타나며, 이를 통해 방사된다. 그림 8(b)는  $xz$  평면에서의 전기장 분포이다. 그림 8(c)는 그림 8(b)에서의 전기장을 도식화하였으며  $TM_{10}$  모드로

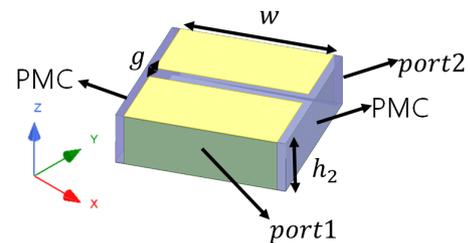


그림 6. 재구성된 메타표면 덮개 단위 셀과 경계조건  
Fig. 6. Reconstructed unit cell of metasurface superstrate and boundary condition.

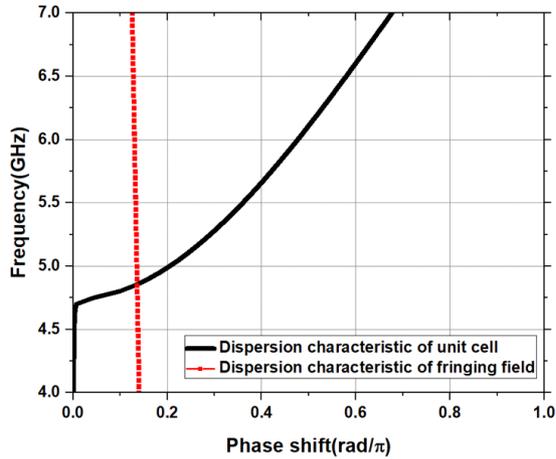
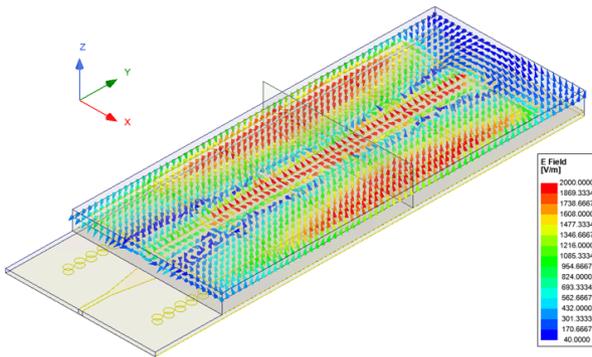
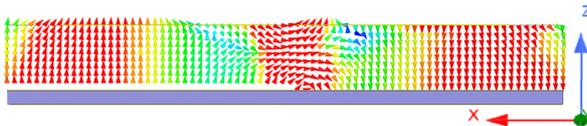


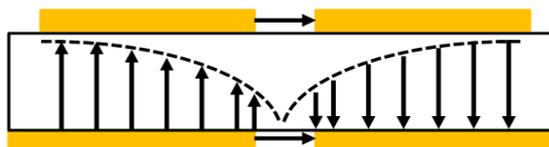
그림 7. 단위 셀의 분산특성  
Fig. 7. Dispersion characteristic of unit cell.



(a) 4.8GHz에서 메타표면을 적용한 안테나의 E-field 분포  
(a) E-field distribution of the antenna with metasurface at 4.8 GHz



(b) 4.8 GHz에서 xz평면에서의 전기장 분포  
(b) Electric field distribution in the xz plane at 4.8 GHz



(c) 전기장 동작 메커니즘  
(c) Electric field operating mechanism

그림 8.  $TM_{10}$  모드  
Fig. 8.  $TM_{10}$  mode.

동작하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 메타표면을 적용한 기관 집적 도파관 슬롯 배열 안테나의 이득 및 대역폭 향상을 확인할 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 및 측정 결과 비교 분석

그림 9(a)는 실제 제작한 안테나의 모습이며, 그림 9(b)는 인천 송도 정보통신산업진흥원의 원역장 챔버 사진이다. 안테나의 전체 크기는  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 3.7 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.07 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.74 GHz)이다.

그림 10은 메타표면을 적용하기 전, 후 안테나의  $S_{11}$ 이다. 메타표면을 적용하기 이전 대역폭 4.65~4.69 GHz(약 1%)에 비해 측정결과는 4.73~4.87 GHz (3%)로 대역폭이 향상된

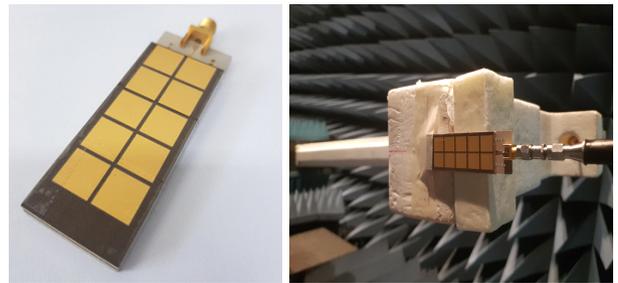


그림 9. (a) 제작 안테나 모습, (b) 안테나 원역장 챔버  
Fig. 9. (a) Fabricated antenna, (b) Far field chamber.

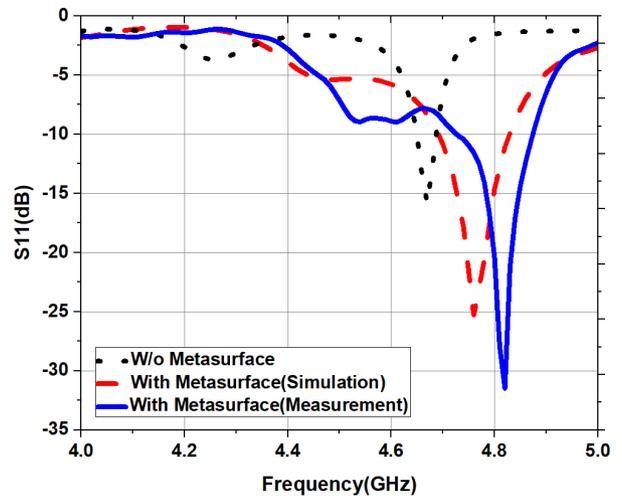


그림 10. 시뮬레이션 및 측정된 안테나의  $S_{11}$   
Fig. 10.  $S_{11}$  of the simulation and measurement.

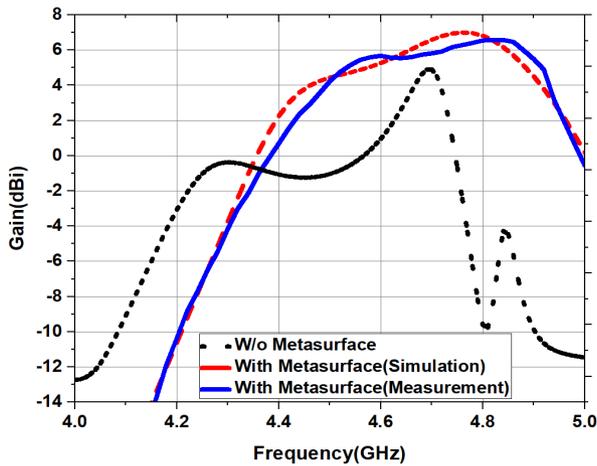


그림 11. 시뮬레이션 및 측정된 안테나의 실현 이득  
Fig. 11. Realized gain of the simulation and measured antenna.

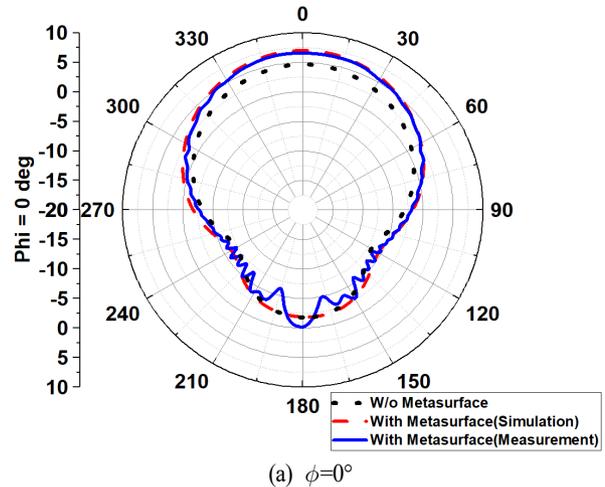
것을 확인하였다. 메타표면을 적용한 안테나의 시뮬레이션 결과에 비해 중심주파수 측정 결과는 중심주파수가 4.81 GHz로 약 50 MHz 이동했다.

그림 11은 주파수에 따른 실현 이득이다. 메타표면을 적용하기 이전 안테나 중심주파수(4.67 GHz)의 실현 이득은 4.7 dBi이다. 메타표면을 적용한 후 중심주파수(4.8 GHz)에서 측정된 실현 이득은 6.58 dBi로 약 1.9 dBi 향상되었으며, 시뮬레이션 결과와 측정결과는 유사하게 나타났다.

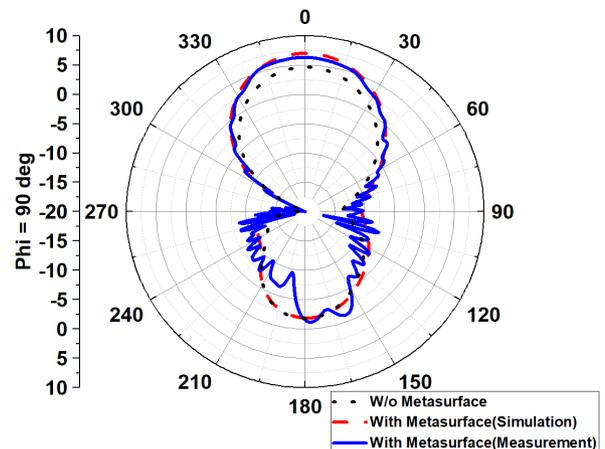
그림 12(a)는  $\phi=0^\circ$ , (b)는  $\phi=90^\circ$ 에서의 방사 패턴이다. 메타표면을 적용한 결과, 지향하는 방향의 이득이 전반적으로 향상된 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 크게 다르지 않은 것을 확인하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 C 대역에서 동작하는 큐브위성 탑재용 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나를 설계하였다. 이득 및 대역폭 향상을 위해 추가 공진 모드인  $TM_{10}$  모드를 발생시키는 메타표면 덮개를 적용하였으며, 크기는  $23.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm} \times 3.7 \text{ mm}$  ( $0.37 \lambda_0 \times 1.07 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  at 4.74 GHz)로 큐브위성에 적용할 수 있을 만큼 충분하다. 대역폭은 4.73~4.87 GHz(3%)를 가지며, 최대 실현 이득은 6.58 dBi로 기존에 연구된 큐브위성 탑재용 패치 안테나<sup>[12]</sup>에 비



(a)  $\phi=0^\circ$



(b)  $\phi=90^\circ$

그림 12. 방사 패턴  
Fig. 12. Radiation pattern.

해 약 1.5 dBi 높은 것을 확인하였다.

메타표면 적용 결과, 기존 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나에 비해 중심주파수에서 약 1.9 dBi 향상되었으며, 대역폭은 4.65~4.69 GHz(약 1%)에서 4.73~4.87 GHz(3%)로 향상되었다. 본 논문에서 제시한 메타표면을 적용한 기판 집적 도파관 슬롯 배열 안테나는 C-대역 큐브위성용 안테나로 사용될 수 있다.

### References

[1] J. S. Chae, C. K. Kim, M. Y. Park, S. Y. Kim, J. S. Lee,

- and H. Y. Park, et al., "The feasibility study on the X-band compact SAR antenna of microsatellite," in *KSAS 2018 Spring Conference*, Goseong, Apr. 2018, p. 482.
- [2] Y. S. Yoon, K. J. Min, "Industry trend and development status of nano/micro satellite," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 14, no. 1, pp. 18-25, Jul. 2016.
- [3] M. N. Sweeting, C. I. Underwood, "Small-satellite engineering and applications," in *Spacecraft Systems Engineering*, London, John Wiley & Sons, 2003.
- [4] D. K. Cho, J. D. Byun, and H. Y. Lee, "SIW slot array antenna for dual-polarization phased array system," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 2, pp. 228-235, Feb. 2011.
- [5] F. Xu, K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005.
- [6] D. Deslandes, K. Wu, "Accurate modeling, wave mechanism, and design consideration of a substrate integrated waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 6, pp. 2516-2526, Jun. 2006.
- [7] M. Bozzi, A. Georgiadis, and K. Wu, "Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 5, no. 8, pp. 909-920, Jun. 2011.
- [8] W. Liu, Z. N. Chen, and X. Qing, "Metamaterial-based low-profile broadband aperture coupled grid-slotted patch antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 7, pp. 3325-3329, Jul. 2015.
- [9] W. Liu, Z. N. Chen, and X. Qing, "Metamaterial-based low-profile broadband mushroom antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 3, pp. 1165-1172, Mar. 2014.
- [10] S. X. Ta, I. Park, "Low-profile broadband circularly polarized patch antenna using metasurface," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 12, pp. 5929-5934, Dec. 2015.
- [11] F. Costa, O. Luukkonen, C. R. Simovski, A. Monorchio, S. A. Tretyakov, and P. M. de Maagt, "TE surface wave resonances on high-impedance surface based antennas: Analysis and modeling," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 10, pp. 3588-3596, Oct. 2011.
- [12] M. A. Maged, F. Elhefnawi, H. M. Akah, and H. M. El-Hennaw, "C-band transparent antenna design for intersatellites communication," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 9, no. 3, pp. 248-252, Mar. 2018.
- [13] H. Y. Lee, "High efficiency active phased array antenna based on substrate integrated waveguide," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 3, pp. 227-247, Mar. 2015.
- [14] D. Deslandes, "Design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions," in *2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Anaheim, CA, May 2010, pp. 704-707.
- [15] M. I. Nawaz, Z. Huiling, and M. Kashif, "Substrate integrated waveguide(SIW) to microstrip transition at X-Band," in *Proceedings of the 2014 International Conference on Circuits, Systems and Control*, Shaan, 2014, pp. 61-63.
- [16] S. Moitra, A. K. Mukhopadhyay, and A. K. Bhattacharjee, "Ku-band substrate integrated waveguide(SIW) slot array antenna for next generation networks," *Global Journal of Computer Science and Technology Network, Web & Security*, vol. 13, no. 5, 2013.

안 형 준 [아주대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-4480-249X>



2018년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)

2018년 2월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 위성 통신 안테나, 마이크로 스트립 패치 안테나 등

박 용 배 [아주대학교/전자공학과 교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7095-4614>



1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)

2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2003년 2월~2006년 8월: KT인프라연구

소 선임연구원

2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 안테나, 전자장 해석, EMI/EMC

김 창 성 [아주대학교/석박사통합과정]

<https://orcid.org/0000-0003-3069-662X>



2015년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)

2015년 2월~현재: 아주대학교 전자공학과 석박사통합과정

[주 관심분야] 위성 통신 안테나, 마이크로 스트립 패치 안테나 등