

X-band 대역용 2-패치 마이크로스트립 인셋 급전 어레이 안테나 시뮬레이션 연구

응쿤드와나요 세스¹, 채규수^{2*}
¹백석대학교 일반대학원 소프트웨어융합전공 석사과정
²백석대학교 첨단IT학부 교수

A Simulation Study of the Inset-fed 2-patch Microstrip Array Antenna for X-band Applications

Nkundwanayo Seth¹, Gyoo-Soo Chae²

¹MS Student, Dept. of Software convergence, Graduate School of Baekseok University

²Professor, Div. of Advanced IT, Baekseok University

요약 본 논문에서는 10.3GHz(x-band) 주파수에서 동작하는 단일 및 2-패치 마이크로스트립 배열 안테나 설계 및 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 전송선로 이론을 통한 패치와 급전 선로 설계 파라미터를 구하였고 CST MWS를 사용하여 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 최적화 설계하는 과정을 제안하였다. 먼저 단일 마이크로스트립 패치 안테나를 설계한 후 최적의 반사 손실 및 이득을 얻기 위해 CST MWS를 사용하여 각 파라미터를 최적화하였다. 그리고 X-대역 애플리케이션을 위한 2×1 마이크로스트립 배열 안테나로 설계를 확장하였다. 사용된 기판은 Roger RO4350B(h=0.79mm, $\epsilon_r = 3.54$) 이고 급전 방식은 안테나 크기와 급전 효율을 고려하여 인셋(inset) 급전 방식을 사용하였다. CST MWS를 활용한 시뮬레이션 결과를 제시하였으며, 동작 주파수(10.3GHz)에서 -18dB의 S11, 10.2dBi의 이득, 0.165GHz의 대역폭, 30°(Az, $\varphi=0$), 121°(El, $\varphi=90$)의 3-dB 빔폭을 얻었다. 향후 본 연구 결과를 기본으로 4×4 어레이로 추가 확장하여 안테나를 설계 및 제작하여 다양한 X-밴드 애플리케이션에 활용될 수 있다.

주제어 : 마이크로스트립 안테나, 배열, X-밴드, 시뮬레이션, 인셋 급전

Abstract This paper presents a single and 2-patch microstrip array antenna operated on a frequency of 10.3GHz(x-band). It outlines the process of designing a microstrip patch array antenna using CST MWS. Initially, a single microstrip antenna was designed, followed by optimization using CST MWS to attain optimal return losses and gain. Subsequently, the design was expanded to create a 2×1 microstrip inset-fed array antenna for the X-band applications. The construction material is Roger RO4350B, with specific dimensions (h=0.79mm, $\epsilon_r = 3.54$). The achieved results include an S11 of -18dB at the resonant frequency (10.3GHz), a gain of 9.82dBi, a bandwidth of 0.165GHz, and a 3-dB beamwidth of 30°, 121° in Az($\varphi=0$) and El($\varphi=90$) plane, respectively. The future plan involves the fabrication of this array antenna and further expansion to a 4×4 array of microstrip antennas. It is then incorporated on the X-band applications for practical uses.

Key Words : Microstrip Antenna, Array, X-band, Simulation, Inset-fed

*This study was supported by the Enhancement of Defense Export Support Program for Global Defense Enterprises funded by KRIT(Korea Research Institute for Defense Technology Planning and Advancement) (No. E210002).

Corresponding Author : Gyoo-Soo Chae(gschaeb@bu.ac.kr)

Received January 26, 2024

Revised February 13, 2024

Accepted June 20, 2024

Published June 30, 2024

1. 서론

상업용 및 군용 유무선 통신 서비스는 최근 몇 년 동안 매우 빠른 속도로 성장해 왔다. 소형이면서 다기능의 무선 통신 시스템에 대한 필요성으로 인해 작은 크기의 안테나 개발의 필요성이 커졌다. 무선 사용자 수가 증가하고 사용 가능한 대역폭이 제한됨에 따라 무선 서비스 제공업체는 사용자의 이동성 요구사항을 충족하기 위해 더 큰 용량과 향상된 품질 적용 범위를 위해 네트워크를 최적화하기 위해 노력하고 있다. 이러한 요구들의 급증으로 인해 안테나 설계 분야는 지속적으로 발전하고 광대역, 저비용, 소형화되고 쉽게 통합되는 안테나에 대한 사용자 요구를 수용하게 되었다. 다이폴안테나(Dipole antenna), 혼안테나(Horn antenna) 등 다양한 종류의 안테나 중에서 마이크로스트립 안테나(Microstrip antenna)는 소형, 저비용, 경량, 제조 용이성, 평면 및 비 평면 표면에 대한 적합성과 같은 독특한 특성으로 인해 다양한 분야에 적용되고 있다. 마이크로스트립 패치 안테나는 사물인터넷(Internet of Things), 모바일 시스템, 레이더(Radar), 위성항법시스템(Global Positioning System), 전자태그(Radio-Frequency Identification) 등 다양한 민간 및 군사용 분야에 널리 사용되고 있다. 특히 시스템, 차량 충돌 방지 시스템, 위성 통신, 감시 시스템, 방향 설정, 레이더 시스템, 원격 감지, 미사일 유도 등의 분야에서 많이 활용되고 있다[1-3].

그러나 마이크로스트립 안테나가 제공하는 장점에도 불구하고 낮은 이득, 좁은 대역폭, 낮은 전력 처리 용량과 같은 몇 가지 단점이 있다. 수년에 걸쳐 마이크로스트립 안테나와 관련된 이러한 단점을 극복하기 위해 많은 연구가 수행되었다[4-7]. 기존 패치 안테나의 대역폭과 이득을 개선하기 위해 연구자들이 제안한 인기 있는 기술 중 일부는 다양한 안테나 급전 기술과 치수, 두꺼운 기판, 결합 있는 접지 구조(DGS)라고 불리는 공진 슬롯, 다중 공진기 적층 패치 구조(메타물질)를 사용하는 것이다[8-11].

본 연구의 목적은 X-밴드 송신기용 고이득 마이크로스트립 패치 안테나(RMPA)를 설계하고 시뮬레이션하는 것이다. 이번 연구에서는 X-밴드 범위(8~12GHz)에서 10GHz의 동작 주파수와 높은 이득, 더 넓은 빔폭, 높은 방사 효율로 작동하는 경량 안테나를 개발하였다. 이 연구는 디코이 안테나를 이용한 전자파 교란

을 위한 플랫폼에서 X-밴드 대역의 신호 송신을 위한 고이득 안테나 개발을 목표로 하였다. 무선 통신 시스템에서 효과적인 신호 송신을 위한 높은 이득, 향상된 효율성, 더 넓은 대역폭을 제공하는 경량 안테나 시스템 및 장치로 관련 분야 시장 선점에 도움이 될 것이다.

2. 안테나 설계

본 연구에서는 X-밴드(10.3GHz) 대역에서 동작하는 microstrip 배열 안테나를 설계하고 시뮬레이션하였다. 소형 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하기 위한 다양한 접근 방식을 조사하였으며 안테나 패치와 급전 라인 설계를 위해 전송선 모델을 사용하였다. 본 연구에서 제시된 마이크로스트립 패치 배열 안테나 설계를 기본으로 배열의 크기, 이득 등의 특정 요구사항 및 주파수 대역에 따라 활용할 수 있다.

2.1. Microstrip Patch Design 이론

설계된 안테나의 시뮬레이션은 CST MWS를 사용하여 반사 손실(S11) 및 이득을 예측하였다. 시뮬레이션을 위해 단일 패치 안테나 설계 파라미터를 선행 연구들에서 소개된 수식들을 활용하여 계산하였다[1]. 그리고 제안된 안테나의 정합(matching) 특성을 향상시키고 소형화를 위해 인셋 피드(inset-fed) 마이크로스트립 라인을 사용하였다[8, 9]. 이 연구에서 단일 패치는 전송선로 계산 식과 CST MWS 소프트웨어를 사용하여 Rogers RO 4350B 기판(유전율 3.54)에 설계되었다. 10.3GHz의 X-band 응용 분야들을 고려하여 선택한 유전체 기판의 높이는 0.79mm이다. 기판의 높이는 다음 식을 기반으로 계산되었다.

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

여기서 c 는 빛의 속도(mm/s)이고 f_0 는 동작 주파수(GHz)이다. 설계 사양에서 고려되는 또 다른 요소는 제안된 안테나의 급전 방법이다. 본 연구에서는 패치 급전 시 정합 성능이 우수한 인셋 피드(inset-fed) 마이크로스트립 라인 피드 기술을 사용한다[9]. Table 1은 제안된 안테나 설계에 사용된 설계 사양을 나타낸다.

Table 1. Antenna design parameter

Parameter	Operating frequency	Substrate	Permittivity (ϵ_r)	Substrate height(h)	Feed method
Spec.	10.3GHz	Roger RO4350B	3.54	0.79mm	Inset-fed

단일 요소, 단일 밴드 직사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하기 위한 세부 절차 및 파라미터 계산 방법은 다음과 같다.

•패치 폭(W) 계산:

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

위 식에서 $c = 3 \times 10^{11} \text{mm/s}$, $\epsilon_r = 3.45$ 그리고 $f_0 = 10.3 \text{GHz}$ 이면, $W = 9.75 \text{mm}$ 로 계산되었다.

•유효 유전율(effective dielectric constant, ϵ_{eff}) 계산:
유효 유전율은 다음과 같이 구한다. 효율적인 방사기를 위해 마이크로스트립 패치의 폭(W)은 다음의 전송선 모델 방정식을 기반으로 계산되었다.

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

위 식에서 $\epsilon_r = 3.45$, $W = 9.75 \text{mm}$, $h = 0.79 \text{mm}$ 를 대입하면 $\epsilon_{eff} = 3.17$ 이다.

•패치의 유효 길이(L_{eff}) 계산:

패치의 유효 길이는 다음과 같이 계산된다.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

위 식에서 $c = 3 \times 10^{11} \text{mm/s}$, $f_0 = 10.3 \text{GHz}$, $\epsilon_{eff} = 3.17$ 을 대입하면 $L_{eff} = 8.18 \text{mm}$ 를 얻었다.

•패치 길이 확장 추정(ΔL):

패치 길이 확장은 다음 식으로부터 얻을 수 있다.

$$\Delta L = \frac{0.412h(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

위 식에서 $\epsilon_{eff} = 3.15$, $W = 9.75 \text{mm}$, $h = 0.79 \text{mm}$ 를 대입하면 $\Delta L = 0.372 \text{mm}$ 를 얻었다.

•패치의 실제 길이(L) 계산:

패치의 실제(물리적) 길이는 다음과 같이 계산된다.

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (6)$$

위 식에서 $L_{eff} = 8.18 \text{mm}$, $\Delta L = 0.372 \text{mm}$ 를 대입하여 $L = 7.436 \text{mm}$ 를 얻었다.

•삽입 피드 깊이(y_0) 계산:

이 설계에는 삽입형 마이크로스트립 라인 피드가 사용되었다. 피드 깊이(y_0)는 입력 임피던스(Z_0)는 공진 주파수에서 50Ω 이다. 직사각형 패치의 공진 입력 예지 저항(Z_i)은 온라인 마이크로스트립 패치 안테나 계산기를 사용하여 $Z_i \cong 204.3 \Omega$ 으로 추정되었다[12]. 따라서 삽입된 피드 깊이는 다음과 같이 계산된다.

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \sqrt{\frac{Z_0}{Z_i}} \quad (7)$$

위 식에서 $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_i = 210 \Omega$, $L = 7.522 \text{mm}$, $\pi = 180^\circ$ 일 때 $y_0 = 2.49 \text{mm}$ 를 얻었다.

•마이크로스트립 라인의 폭(W_0) 계산:

$$W_0 = \frac{2h}{\pi} \left[\frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} - 1 - \ln \left(\frac{120\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) \right] + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \quad (8)$$

위 식에서 $Z_0 = 50 \Omega$, $h = 0.79 \text{mm}$, $\epsilon_r = 3.45$ 이면 $W_{50\Omega} = 1.77 \text{mm}$ 가 된다. 실제 이 계산은 RF design house 등에서 제공되는 Microstrip Line Calculator로 계산하였다[12]. 배열 안테나 설계 시 활용된 급전 라인의 폭은 각각 $W_{55\Omega} = 1.5 \text{mm}$, $W_{70\Omega} = 1.0 \text{mm}$ 이다.

•삽입(피드) 간격(g) 계산:

밀리미터 단위의 피드 갭(노치 폭)은 아래 식을 기반으로 계산되었다.

$$g = \frac{4.65 \times 10^{-18} c f_0}{\sqrt{2\epsilon_{eff}}} \quad (9)$$

위 식에서 $c = 3 \times 10^{11} \text{mm/s}$, $f_0 = 10.3 \text{GHz}$, $\epsilon_{eff} = 3.17$ 을 대입하면 $g = 0.57 \text{mm}$ 가 된다.

2.2. Microstrip Patch 설계

2.1에서 이론적으로 계산된 설계 파라미터를 기반으로 제안된 RMPA(Inset-fed Rectangular Microstrip Antenna)의 안테나의 설계 파라미터가 table 2, fig. 1에 각각 제시되었다. 이론과 설계 파라미터의 차이는 시뮬레이션 과정에서 안테나 특성의 최적화와 접지면의 크기에 따른 최적화 영향으로 인한 것이다.

Table 2. A single patch design parameter

Parameter	Theory	Design
Patch width(W)	9.75mm	10mm
Patch length(L)	7.436mm	7.4mm
Ground width	20(W_g) \times 17(L_g)mm	
Inset length(y_0)	2.62mm	2mm
Inset gap(g)	0.57mm	0.7mm
Feed width(W_f)	1.77mm	1.5mm
50 Ω line width	1.77mm	

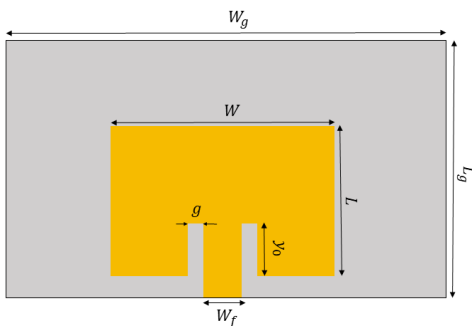


Fig. 1. The designed single patch X-band microstrip antenna parameters

3. 안테나 시뮬레이션 결과

3.1 Inset-fed single patch 시뮬레이션 결과

CST MWS 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 X-band 송신기 애플리케이션용 Inset-fed 직사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하고 시뮬레이션하였다. 안테나는 RO4350B 기판($\epsilon_r = 3.54$, $h = 0.79 \text{mm}$)을 사용하여 $20 \text{mm} \times 17 \text{mm}$ 크기의 기판에 $10 \text{mm}(W) \times 7.4 \text{mm}(L)$ 크기의 단일 패치가 사용되었다. Fig. 2와 같이 S11 특성을 개선하기 위해 패치의 급전은 패치 안쪽은 $1.1 \text{mm}(70 \Omega)$, 패치 외부는 $1.5 \text{mm}(55 \Omega)$ 라인을 사용하였다.

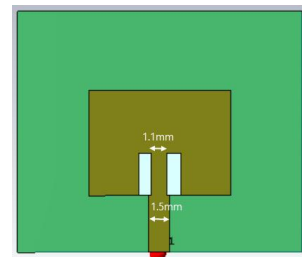


Fig. 2. A single patch X-band microstrip antenna simulation structure

소프트웨어를 사용한 단일 요소 RMPA의 시뮬레이션 결과는 fig. 3~6에 제시되었다. 반사 손실(S11), 이득과 지향성, 방사 패턴, 방사패턴 및 빔폭 등 안테나 특성 파라미터를 사용하여 제안된 안테나 설계의 안테나 성능을 시뮬레이션으로 분석하였다.

a) 반사 손실(S11)

Fig. 3에서 설계된 RMPA는 10.3GHz의 작동 주파수에서 공진하고 측정된 반사 손실은 -18dB 이다. 이 반사 손실 값은 우수한 MPA 설계를 위한 -10dB 최소 지정 값보다 낮지만 좋은 값이며, 최소 전력이 안테나에서 급전 입력 포트에 반사된다는 것을 의미한다.

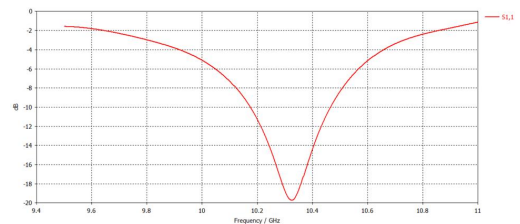


Fig. 3. S11 for the single patch X-band microstrip antenna

b) 이득과 지향성

시뮬레이션 된 안테나 설계의 3D 방사 특성이 아래 그림에 제시되었다.

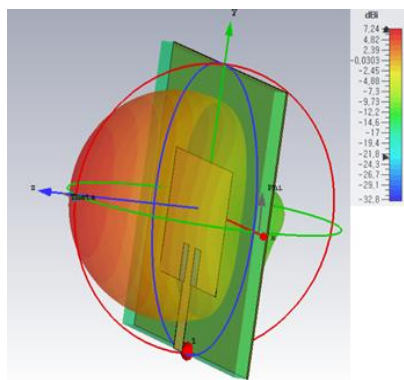


Fig. 4. 3D radiation pattern for the single patch X-band microstrip antenna

위 그림에서 설계된 RMPA의 이득과 지향성은 공진 주파수 10.3GHz에서 7.24dBi 이다. 따라서 제안된 RMPA는 간섭 및 페이딩이 적기 때문에 장거리 송신에 비교적 적합하며, 무선 통신 시스템에서 신호 수신 향상을 위해 배열 구조로 사용 시 지향성이 더 개선될 수 있다.

c) 방사 패턴 및 빔폭

그림에 표시된 방사 패턴은 설계된 RMPA의 E-평면(phi=0°, x-z plane)과 H-평면(phi=90°, y-z plane) 방사 패턴을 fig. 5와 6에서 각각 보여주고 있다. E-평면에서의 3dB 빔폭은 70°, H-평면에서의 빔폭은 82°로 좋은 특성을 보여주고 있다.

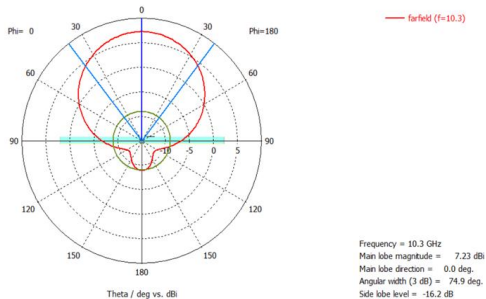


Fig. 5. 2D radiation pattern for the single patch(@x-z plane, phi=0°)

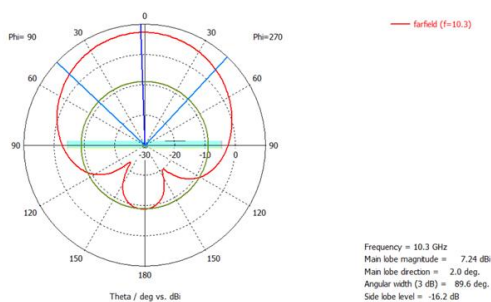


Fig. 6. 2D radiation pattern for the single patch(@y-z plane, phi=90°)

3.2 2x1 배열 안테나 시뮬레이션 결과

3.1에서 단일 패치에 대한 특성을 분석하였으며, 배열 안테나 설계 파라미터 검증을 위해 2x1 배열 안테나를 설계하고 시뮬레이션하였다. Fig. 7에서 시뮬레이션 설계된 안테나 모양을 보여주고 있다.

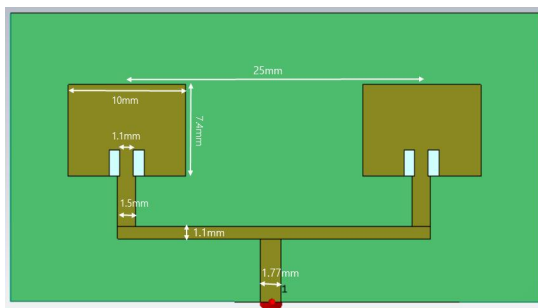


Fig. 7. A 2x1 patch X-band microstrip array antenna simulation structure

Fig. 8에서는 2x1 배열 안테나의 S11 특성이 나타나 있으며, 10.3GHz에서 -18dB 이하의 좋은 성능을 보여주고 있다.

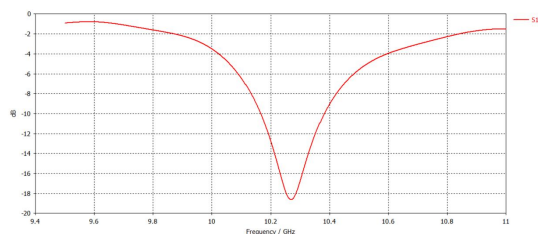


Fig. 8. S11 for the 2x1 patch X-band microstrip array antenna

Fig. 9에서는 안테나 3D 방사 특성이 보여주고 있으며, 안테나 수직면으로 10.2dBi 이득을 나타내고 있다.

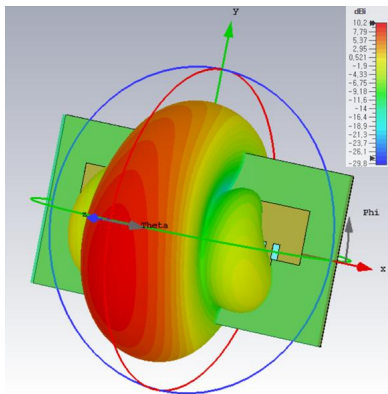


Fig. 9. 3D radiation pattern for the 2x1 patch X-band microstrip array antenna

Fig. 10, 11에서는 2×1 배열 안테나의 2D 방사 특성($\phi=0^\circ, 90^\circ$)이 나타나 있으며, 10.3GHz에서 9.5dB, 10.2dB 이득을 각각 나타내고 있다.

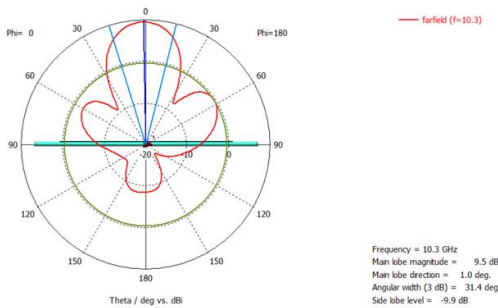


Fig. 10. 2D radiation pattern for the 2x1 patch array antenna(@x-z plane, $\phi=0^\circ$)

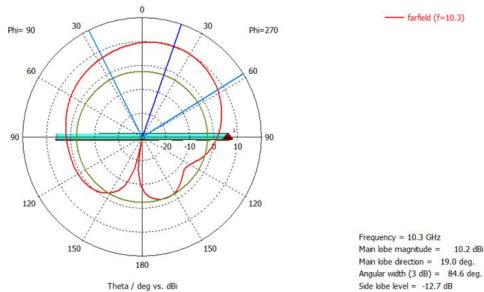


Fig. 11. 2D radiation pattern for the 2x1 patch array antenna(@y-z plane, $\phi=90^\circ$)

4. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 설계하기 위해 전송선로 이론을 활용하여 기본 파라미터

를 구하고 CST MWS를 사용하여 최적화하고 시뮬레이션 한 결과를 제시하였다. 먼저 10.3GHz 대역에서 동작하는 단일 마이크로스트립 패치 안테나를 설계한 후 최적의 반사 손실 및 이득을 얻기 위해 CST MWS를 사용하여 각 파라미터를 최적화하였다. 그리고 단일 패치 설계를 기반으로 X-대역 응용 분야에서 활용하기 위하여 2×1 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하였다. 시뮬레이션을 통해 단일 패치 및 2x1 배열 안테나의 동작 주파수(10.3GHz)에서 -18dB 이하의 S11, 10.2dB의 이득, 0.165GHz의 대역폭, $Az(\phi=0^\circ)$ 및 $Ei(\phi=90^\circ)$ 평면에서 각각 $30^\circ, 121^\circ$ 의 3dB 빔폭을 얻었다. 향후 본 연구 결과를 토대로 4x4 배열 안테나를 설계하고 제작하여 X-밴드 대역에서 다양한 분야에서 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] Okoro, N. C., & Oborkhale, L. I. (2021). Design and simulation of rectangular microstrip patch antenna for X-Band application. *Global Journal of Researches in Engineering: F Electrical and Electronics Engineering*, 21(3), 41-49. globaljournals.org/GJRE_Volume21/3-Design-and-Simulation-of-Rectangular.pdf
- [2] Chae, G. S. (2010). Design of an X-band patch array antenna for an energy saving system. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 11(1), 125-129. DOI : 10.5762/KAIS.2010.11.1.125
- [3] Adwep, F., Bobreeg, M., & Aydın, E. (2022). Design and Optimization of a 4x4 Directional Microstrip Patch Antenna. *Surman Journal of Science and Technology*, 4(2), 018-026. sjst.scast.edu.ly/index.php/sjst/article/view/52
- [4] C. A. Balanis. (2016). *Antenna Theory Analysis and Design*, 4th Edition, John Wiley & Sons Inc.
- [5] Ningsih, Y. K., Alam, S., & Surjati, I. (2020, October). Design of Array Microstrip Antenna 4x4 Element for Microwave Radio Communication System. In *2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)* (pp. 215-218). IEEE. DOI : 10.1109/ICIEE49813.2020.9276881
- [6] Garg, R, Bhartia, P., Bahl, I., & Ittipioon, A. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House Inc., MA, England.
- [7] Huque, T. I., et al. (2011). Design and

Performance Analysis of Microstrip Array Antennas with Optimum Parameters for X-band Applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(4), pp. 81-87.

DOI : doi.org/10.14569/ijacsa. 2011.020413

- [8] Kumar, K., et al. (2013). Effect of Feeding Techniques on Radiation Characteristics of Patch Antenna: Design and Analysis. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2(2).
ijarccce.com/upload/february/29-Effect%20of%20feeding%20-tallurisumanth.pdf
- [9] Matin, M. A., & Sayeed, A. I. (2010). A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna. *WSEAS Transaction on Communications*, 9(1), 63-72.
- [10] Nataraj, B., & Prabha, K. (2019). Wideband rectangular patch antenna for X-band applications. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 1981-1984.
DOI : 10.35940/ijitee. J9289.0881019
- [11] Obot, A. B., Igwe, G. A. & Udofo, K. M. (2019). Design and Simulation of Rectangular Microstrip Antenna Arrays for Improved Gain Performance. *International Journal of Networks and Communications*, 9(2), 73-81.
DOI : 10.5923/j.ijnc.20190902.02
- [12] Em.talk. (n.d.). *Microstrip Line Calculator*.
emtalk.com/mscalc.php

응쿤드와나요 세스(Nkundwanayo Seth) [학생회원]



- 2023년 2월 : 백석대학교 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 일반대학원 소프트웨어융합전공 석사과정
- 관심분야 : IoMT, 빅데이터
- E-Mail : nkundwaseth@bu.ac.kr

채 규 수(Gyoo-Soo Chae) [종신회원]



- 2000년 12월 : Virginia Tech. 전기공학과(공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile, RF manager
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 첨단IT학부 교수
- 관심분야 : Microwave antenna, IoT system, CNN
- E-Mail : gschae@bu.ac.kr