

전후방비 개선 설계 기법을 이용한 ISM 대역 방향 탐지 안테나

ISM Band Direction-Finding Antenna with Improved Front-to-Back Ratio

이동근¹ · 박원빈² · 문효상^{3*} · 이창용^{4*} · 최남우^{5*} · 황금철⁶Dong Geun Lee¹ · Won Bin Park² · Hyosang Moon^{3*} · Changyong Rhee^{4*} · Namwoo Choi^{5*} · Keum Cheol Hwang⁶

요 약

본 논문은 전기적 소형 안테나의 접지면에 미앤더(Meander) 슬롯을 삽입하여 전후방비를 개선시킨 방향 탐지용 안테나를 제안한다. 제안하는 접지면 슬롯 구조는 안테나의 전기적 소형 구조를 유지하면서도 방향 탐지에 적합한 지향성 특성을 갖도록 한다. 제안된 안테나의 배열 소자 크기는 40 mm×22 mm×1.6 mm이며, 전 방향의 탐지를 위해 8개의 소자가 팔각기둥 구조에 부착된 전체 배열 안테나 크기는 58 mm×58 mm×40 mm이다. 측정된 S_{11} (≤ -10 dB) 대역폭은 2.37 GHz~2.48 GHz이다. 동작 주파수 2.44 GHz에서 최대 이득은 -2.71 dBi, 전후방비 8.89 dB이며, 3 dB 빔폭은 고각 74.2°, 방위각 84.4°로 측정되었다.

Abstract

In this study, a direction-finding array antenna with an improved front-to-back ratio was developed by inserting meander slots into the ground plane of an electrically small antenna. The proposed ground slot structure improves direction-finding capabilities while maintaining the electrically compact structure of the antenna. The overall size of the antenna is 58 mm×58 mm×40 mm, with each array element measuring 40 mm×22 mm×1.6 mm. The antenna consists of eight elements attached to a vertical column, forming an octagonal structure that affords omnidirectional detection. The measured S_{11} bandwidth (≤ -10 dB) is between 2.37 and 2.48 GHz. At 2.44 GHz, the maximum gain is -2.71 dBi, the 3-dB beamwidth occurs at an elevation angle of 74.2° and azimuth angle of 84.4°, and the front-to-back ratio is 8.89 dB.

Key words: Electrically Small Antenna, Direction Finding Antenna, Meandered Slot, FTBR, Bluetooth Band

I. 서 론

방향 탐지는 외부 전자 장비로부터 발생된 전파 신호의 입사각을 추정하는 기술로, 주로 군사 목적으로 활용

되었다. 최근에는 MIMO 기반의 방향 탐지 기술, 소나 배열을 이용한 어군 탐지 등 다양한 민간 분야에도 활용되고 있다^{[1]~[3]}. 대표적인 방향 탐지 기법으로는 도플러 위상 편이, 상관 간섭계, 진폭 비교 기법 등이 있다. 이 중

「이 연구는 2022년도 LIG넥스원(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.」

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

*LIG넥스원(LIG Nex1)

1: 석 · 박사통합과정(<https://orcid.org/0000-0002-7279-6197>), 2: 박사후연구원(<https://orcid.org/0000-0002-5818-2164>),

3: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0003-1128-7249>), 4: 선임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-0296-858X>),

5: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0001-8287-3312>), 6: 정교수(<https://orcid.org/0000-0002-8074-1137>)

· Manuscript received January 25, 2023 ; Revised February 1, 2023 ; Accepted February 10, 2023. (ID No. 20230202-007)

· Corresponding Author: Keum Cheol Hwang (e-mail: khwang@skku.edu)

진폭 비교 기법은 지향성 방사 패턴을 갖는 안테나를 사용하여 신호 세기를 측정하고 비교하는 방식이다. 최대 안테나 수신 진폭과 주변 안테나 수신 진폭 비교 방식을 사용하므로, 각 배열 소자의 지향성과 전후방비가 보장되어야 입사각 모호성을 최소화하여 방향 탐지 정확도를 향상시킬 수 있다. 따라서 무지향성 방사패턴을 갖는 전기적 소형 안테나는 진폭 비교 기법을 활용하기에 어려움이 있다.

방향탐지 안테나를 탑재한 시스템의 소형화가 요구되는 경우, 소형화 및 지향성 특성을 갖는 안테나 설계가 요구된다. 소형화된 안테나의 전후방비 특성 개선을 위한 연구가 다양하게 진행되어 왔으며, 대표적으로는 접지면의 슬롯에 표면 전류를 집중시켜 회절을 감소시키는 방법이 연구되었다^[4].

본 논문에서는 소형화를 위해 다중 슬릿 패치 구조를 활용하였으며, 2.44 GHz에서 동작하도록 최적 설계하였다. 소형 패치 안테나에 적합한 미앤더 슬롯 구조를 설계하여 전후방비가 개선된 방향 탐지 안테나 제안한다.

II. 안테나 설계

그림 1은 방향 탐지 배열 안테나의 구상도이다. 360° 전방향 방향 탐지가 가능하도록 지향성 특성을 갖는 패치 안테나 8개를 평행한 면 사이의 거리가 58 mm, 높이 40 mm인 팔각기둥 구조에 원형 배열로 부착하였다.

그림 2는 단일 패치 안테나의 형상이다. 단일 안테나는 상대 유전율 $\epsilon_r=4.5$, 손실탄젠트 $\tan \delta=0.025$, 두께 1.6

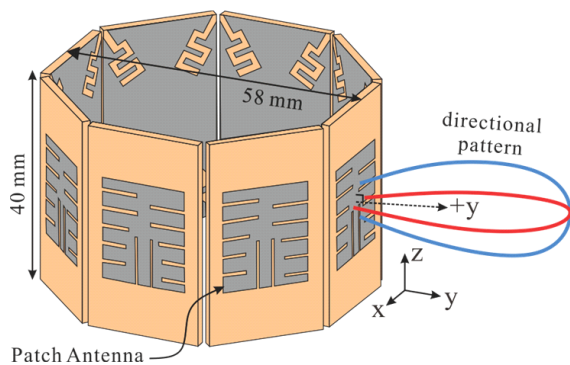


그림 1. 제안하는 방향 탐지 안테나 구상도
Fig. 1. Concept of proposed direction finding antenna.

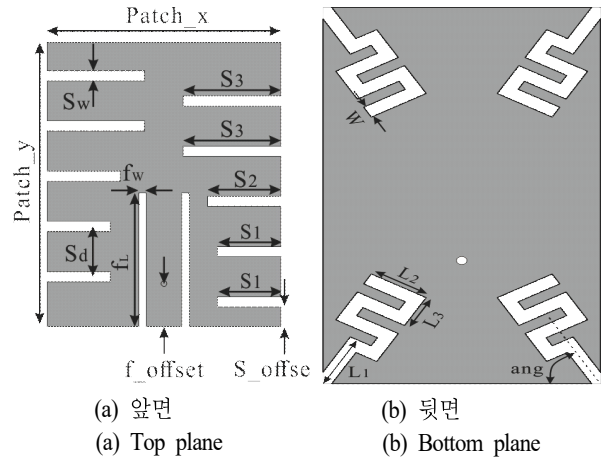


그림 2. 패치 안테나의 구조
Fig. 2. Geometry of patch antenna.

mm인 FR-4 기판에 설계되었으며, 그 크기는 22 mm×40 mm이다. 그림 2(a)는 단일 패치 안테나의 윗면으로, 안테나의 소형화를 위해 10개의 x축 방향 슬롯과 두 개의 z축 방향의 슬롯이 존재하는 안테나 구조를 사용하였다^[5]. 안테나의 급전에는 상용 동축 케이블을 사용했다. 안테나가 2.44 GHz에서 동작하도록 각 슬릿의 길이가 최적 설계되었으며, 그 값은 표 1과 같다. 그림 2(b)는 패치 안테나의 뒷면으로, 후방 방사 억제를 위해 미앤더 슬롯 구조가 적용되었다.

그림 3은 접지면 슬롯 유무에 따른 전류 분포도를 나타내고 있다. 슬롯이 없는 전기적 소형 안테나의 경우 접지면 방사 및 회절에 의한 후방 방사가 발생하기에 접지면

표 1. 안테나 설계 변수(mm)

Table 1. Antenna design parameter (mm).

Parameter	Value	Parameter	Value
Patch_x	19.8	f_L	9.3
Patch_y	16.3	f_w	0.5
S_w	0.69	f_{offset}	3
S_d	3.5	W	1.19
S_1	4.4	L_1	4.2
S_2	5.1	L_2	5
S_3	6.8	L_3	3.4
S_{offset}	1.38	ang	60°

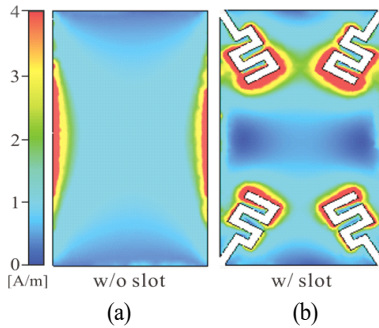


그림 3. 방향 탐지 안테나의 접지면 전류분포 시뮬레이션
Fig. 3. Simulated current distribution of direction finding antenna.

양 끝에 전류가 집중되는 분포를 나타낸다. 이를 개선하기 위해서는 방사를 억제시켜주는 슬롯이 접지면에 필요하다. 동작 주파수에 따라 슬롯의 전기적 길이가 결정되므로, 소형 접지면 내의 슬롯을 설계하기 위해서는 슬롯의 소형화가 요구된다. 따라서 좁은 접지면 내에서 급전부와 물리적 간섭을 최소화하며, 전기적 길이 조절이 가능한 미앤더 슬롯 구조를 채택했다. 2.44 GHz에서 배열 안테나의 전후방비가 최대가 되도록 슬롯의 길이, 너비, 각도를 최적화하였다. 최적화된 슬롯이 존재하는 전류분포를 살펴보면 그림 3(b)와 같이 접지면 슬롯에 전류 분포가 집중되는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 접지면 슬롯의 유무에 따른 ISM 대역인 2.4 GHz~2.48 GHz 내 전후방비를 나타내고 있다. 동작 대역 내 전후방비가 모두 향상되었으며, 동작 주파수 2.44 GHz

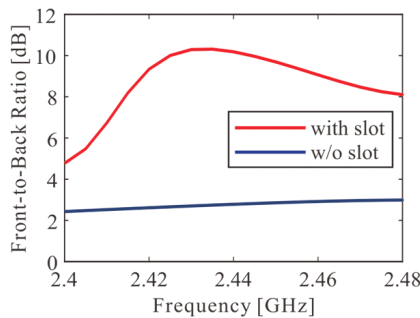


그림 4. 방향 탐지 안테나의 접지면 슬롯 유무에 따라 시뮬레이션된 전후방비
Fig. 4. Simulated front-to-back ratio of direction finding antenna with and without ground slot.

에서는 약 7.4 dB 개선됐다.

III. 안테나 제작 및 측정

그림 5는 제작된 안테나의 형상이다. 패치 안테나들은 스티로폼으로 제작된 팔각기둥 위에 원형 배열로 배치되었다. 급전하는 소자에 따라 주빔 형성 방향이 그 소자의 boresight 방향으로 바뀌게 되며, 점선으로 표시된 소자의 S_{11} 및 방사 패턴을 측정하였다.

그림 6은 시뮬레이션 및 측정된 S -parameter를 나타낸다. 시뮬레이션 및 측정된 $S_{11}(\leq -10 \text{ dB})$ 대역폭은 각각 2.39 GHz~2.49 GHz 및 2.37 GHz~2.48 GHz이며, 2.44 GHz에서 동작함을 확인할 수 있다.

그림 7은 주파수에 따른 시뮬레이션 및 측정된 전후방 이득값을 나타낸다. 2.44 GHz에서 시뮬레이션 및 측정된 전후방비는 각각 10.16 dB 및 8.89 dB이다. 측정된 후방

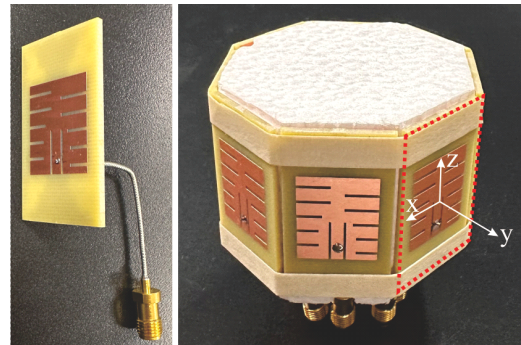


그림 5. 제작된 단일 소자와 방향 탐지 안테나 형상
Fig. 5. Fabricated element and direction finding antenna.

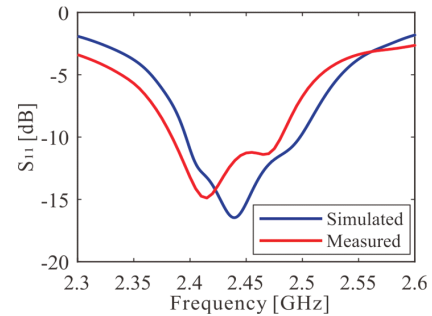


그림 6. 시뮬레이션 및 측정된 S -parameter
Fig. 6. Simulated and measured S -parameter.

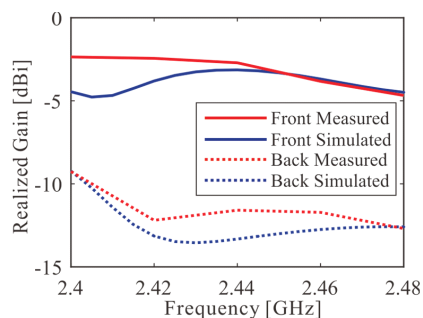


그림 7. 시뮬레이션 및 측정된 boresight 및 후방 방사 이득
Fig. 7. Simulated and measured boresight gain and back radiation gain.

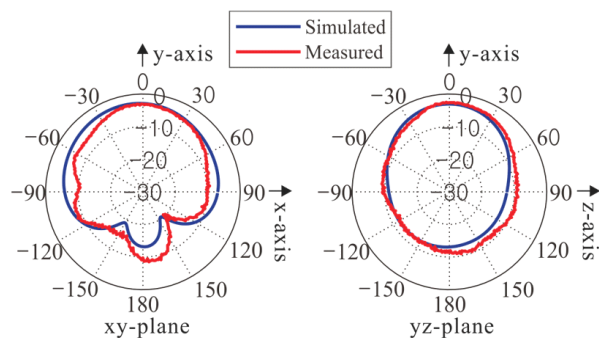


그림 8. 2.44 GHz에서의 2D 방사패턴
Fig. 8. 2D radiation pattern at 2.44 GHz.

방사 이득의 경우, 측정 환경에 따른 오차로 판단된다.

그림 8은 2.44 GHz에서의 xy, yz-평면 방사패턴을 나타낸다. 방사패턴은 지향성을 나타내고 있으며, 측정된 3 dB 빔폭은 2.44 GHz에서 고각 74.2°, 방위각 84.4°로 방향 탐지 안테나에 적합하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.44 GHz에서 동작하는 방향 탐지용 소형 안테나를 제안한다. 소형화를 위해 전기적 길이를

증가시키는 다중 슬릿구조가 적용된 안테나를 설계하였다. 지향성 특성 개선을 위해 후방 방사를 억제시키는 미앤더 슬롯을 접지면에 배치하였다. 제안된 방향 탐지 안테나를 제작 및 측정하였으며, 측정된 $S_{11}(\leq -10 \text{ dB})$ 대역폭은 2.37 GHz~2.48 GHz이다. 동작 대역인 2.44 GHz에서 boresight 이득은 -2.71 dBi이며, 8.89 dB의 전후방비를 갖는다. 제안하는 안테나는 방향 탐지 기능을 요구하는 소형 어플리케이션에 활용 가능할 것으로 보인다.

References

- [1] B. J. Jang, "Direction finding technology: Tutorial, review, and research prospects," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 8, pp. 607-617, Aug. 2019.
- [2] H. Chin, S. W. Kim, J. I. Choi, and J. M. Lee, "A study on the accuracy enhancement using the direction finding process improvement of ground-based electronic warfare system," *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 18, no. 6, pp. 627-635, Jun. 2017.
- [3] Y. J. Lee, I. S. Kim, and J. R. Park, "A study on direction finding accuracy analysis for airborne ESM," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 11, no. 6, pp. 63-73, Dec. 2008.
- [4] W. G. Lim, H. Jang, and J. W. Yu, "New method for back lobe suppression of microstrip patch antenna for GPS," in *The 40th European Microwave Conference*, Paris, Sep. 2010, pp. 679-682.
- [5] S. Xiao, B. Z. Wang, W. Shao, and Y. Zhang, "Bandwidth-enhancing ultralow-profile compact patch antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 11, pp. 3443-3447, Nov. 2005.