

격리도 및 내구성이 개선된 X대역 이중루프 배열 안테나 설계

Design of a Dual-Loop Array Antenna with Improved Isolation and Durability Characteristics

장도영 · 왕성식 · 주정명* · 추호성

Doyoung Jang · Sungsik Wang · JoungMyoung Joo* · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 격리도 및 내구성을 고려하여 via cavity 구조를 적용한 적층형 X대역 이중루프패치 배열안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 방사체의 크기를 줄이고 대역특성을 향상시키기 위해 간접급전구조를 포함하는 이중루프패치안테나를 개별소자로 사용한다. 또한, 내구성이 좋으면서도 격리도 특성을 개선시킬 수 있는 via cavity 구조를 포함하고 있다. 제안된 안테나의 검증을 위해 측정결과를 FEKO, CST, HFSS를 사용한 시뮬레이션 결과와 비교하였고, 제안된 안테나가 X대역에서 정재파비 3:1 이하로 동작함을 확인하였다. 또한 안테나를 3×3배열했을 때, 스캔 영역($0^\circ < \theta < 90^\circ$, $0^\circ < \varphi < 360^\circ$)에 대해서 배열안테나의 능동정재파비를 조사한 결과, 모든 조향 방향에서 3.7 이하의 능동정재파비가 나타나는 것을 확인하였다.

Abstract

Here, we propose an X-band dual-loop patch array with improved mutual coupling and durability. To reduce the radiator size and improve the bandwidth characteristics, individual elements of the proposed array antenna employ a dual-loop patch antenna that includes an indirectly fed structure. The proposed antenna includes a via cavity structure, which is advantageous for improving the isolation characteristics durability. To verify the performance of the proposed antenna, the measurement results are compared to the simulation results using FEKO, CST, and HFSS. The subsequent results demonstrate that the proposed antenna operates in the X-band with a VSWR less than 3:1. We also examine the VSWR in the scan range ($0^\circ < \theta < 90^\circ$, $0^\circ < \varphi < 360^\circ$) of the 3×3 array antenna, which exhibits active VSWRs less than 3.7 in all scan directions.

Key words: Antennas, Array Antennas, Radar, Loop Antennas, Stacked Antennas

I. 서 론

함정용 레이더 시스템에서는 X대역 배열 안테나를 활용

하여 목표물을 탐지하는 기술이 꾸준히 활용되고 있다^{[1][2]}.

함정의 운용환경을 고려했을 때, 함정용 레이더로 사용되는 안테나는 운행 중 발생할 수 있는 흔들림 또는 외부의

「This research has been supported by the Defense Challengeable Future Technology Program of Agency for Defense Development, Republic of Korea.」
홍익대학교 전자전기공학과 (School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*LIG넥스원 레이더연구소 (Radar Research Institute, LIG Nex1)

· Manuscript received June 28, 2021 ; Revised July 9, 2021 ; Accepted July 30, 2021. (ID No. 202100628-009S)

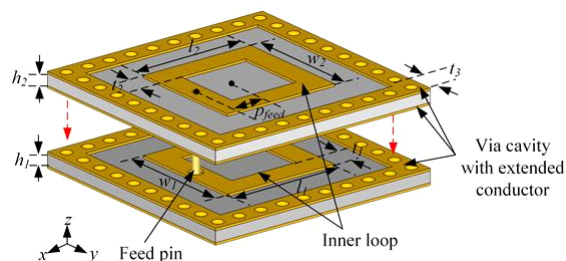
· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: hschoo@hongik.ac.kr)

충격 등 물리적으로 다양한 영향을 받을 수 있어 견고하게 만들어 내구성을 높일 필요가 있다. 패치 안테나는 low profile 특성이 매우 양호하기 때문에 높은 내구성을 갖기에 유리하지만, 좁은 플랫폼에 다수의 소자가 배열되는 레이더의 구성을 고려했을 때, 이웃한 소자간의 상호 결합특성에 의해 안테나의 성능이 저하될 우려가 있다^{[3],[4]}. 패치 배열안테나에 사용된 소자간의 격리도를 향상시킬 수 있는 방법으로는 소자와 소자사이에 메타표면 또는 공진기를 삽입하는 방법들이 제안되어 왔지만, 이러한 방법들은 구조를 삽입하기 위한 별도의 공간을 요구하는 한계점이 있다^{[5],[6]}. 각 개별소자에 cavity wall을 적용하는 방법은 추가적인 공간을 크게 요구하지 않으며, 격리도를 향상시킬 수 있지만 소자의 제작공차 및 물리적 충격 등의 요인으로 소자와 cavity wall 간의 물리적 이격을 발생시킬 수 있어 성능변화의 원인이 될 수 있다^[7].

본 논문에서는 격리도 및 내구성을 고려하여 via cavity 구조를 적용한 적층형 X대역 이중루프패치 배열안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 제작성을 고려하여 상단 레이더의 직접급전 루프패치와 하단의 간접급전 루프패치로 구성되며, 이는 대역폭을 향상시키고 방사체의 크기를 줄이는데 도움을 준다. 각 레이어에는 방사체로 동작하는 내부루프와 동일한 레이어에 인쇄된 루프형태의 도체면이 존재한다. 이 도체면은 내구성이 좋으면서도 격리도 특성을 개선시킬 수 있는 via cavity 구조를 포함하고 있다. 제안된 안테나는 측정결과와 FEKO^[8], CST^[9], HFSS^[10]을 사용한 시뮬레이션 결과와 비교하여, 통합적으로 디자인의 유효성을 확인하였다. 또한 안테나를 배열후, 주어진 스캔영역에 대해서 능동정제파비를 조사해 배열안테나 성능을 확인하였다.

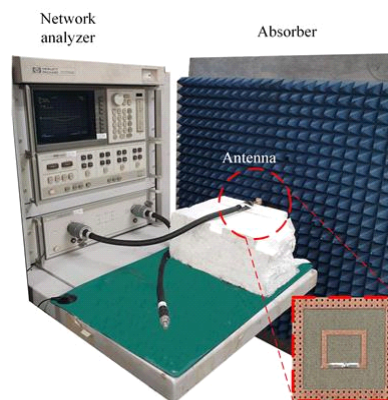
II. 안테나 설계 및 성능분석

그림 1은 제안된 배열안테나의 개별소자로 사용된 이중루프 패치안테나의 구조 및 안테나 성능 측정환경을 보여준다. 그림 1(a)에서 볼 수 있듯이, 개별소자는 방사체를 크기를 줄이기 위해 루프패치구조를 갖고 있으며, 높이가 h_1 인 하부레이어 상단에 높이가 h_2 인 상부레이어가 빈 공간없이 완전히 적층되어 대역특성을 향상시킨다.



(a) 안테나 형상

(a) Antenna geometry



(b) 안테나 측정 환경

(b) Antenna test setup

그림 1. 제안된 안테나의 형상 및 측정 환경

Fig. 1. Geometry and test setup of the proposed antenna.

여기서 하단 루프의 길이, 너비, 폭은 각각 l_1 , w_1 , t_1 이며, 상단 루프의 경우 l_2 , w_2 , t_2 이다. 각 레이어에는 내구성이 좋으면서도 격리도 특성을 개선시킬 수 있는 via cavity를 포함한다. 하지만 제안된 안테나의 경우, 두꺼운 기판에 via 공정을 한 번에 하기 어려운 공정상의 이유로, 상부루프와 하부루프를 각각 따로 제작하고 조립하게 된다. 여기서, via를 형성하는 기존 기술로, 방사체의 하부에 cavity를 형성하거나^[11], 확장된 도체면 없이 단순히 via만을 구성하는 방법이 있다^[12]. 그러나 방사체의 하부에 cavity를 형성하는 것은 via가 방사체가 있는 면까지 연장되지 않기 때문에 적층형 안테나에서는 적용할 수 없으며, 확장 도체 없이 via를 구성하는 경우에는 상부레이어와 하부레이어를 조립 시 제작공차에 의해 각각의 레이어에 형성된 via가 접촉되지 않을 수 있다. 이 이격에 의해서 상부루프와 하부루프의 via가 서로 전기적 연결이

되지 않을 수 있고 이는 안테나의 성능 변화를 야기할 수 있다. 일부 다른 연구에서는 확장된 도체면을 안테나에 포함하고 있지만, 이는 단순히 방사체가 존재하는 레이어의 윗면에 도체면을 형성하는 것에 국한되어^{[13][14]}, 상·하부의 레이어를 따로 제작하고 조립해야 하는 상황에서 각 레이어의 via간 전기적 접점을 유지하는 방법에 대해서는 고려가 부족하다. 따라서 제안된 안테나는 각 레이어의 via cavity가 형성된 영역을 따라 상부레이어의 앞뒷면과 하부레이어의 윗면에 루프형태로 t_3 의 두께를 갖는 도체면이 존재한다. 이 도체면이 있음으로서 제작공차에 의한 미세한 이격이 발생하더라도 각 레이어의 via간 전기적 연결을 안정적으로 유지할 수 있다. 급전은 개별소자의 중앙으로부터 p_{feed} 만큼 offset된 위치에서, 소자의 하단에 연결된 SMA 포트의 내심으로부터 연장된 핀이 하단루프를 통과하여 상단루프에 직접급전된다. 하단루프에 급전하는 경우, 납땜으로 인한 약간의 이격이 발생할 수 있지만 상단루프에 급전함으로써 이격을 없애고 내구성을 높일 수 있다. 제안된 안테나를 검증하기 위해 그림 1(b)와 같이 안테나의 개별소자에 대해서 제작하고 측정을 진행하였다. 네트워크 분석기 및 흡수체가 있는 준무반향챔버에서 개별소자의 반사계수를 측정하였으며, 그 측정 결과는 그림 2에서 소개한다. 설계에 사용된 상세 파라미터는 표 1에 나타내었다.

그림 2는 제안된 배열안테나에 사용된 개별소자의 정

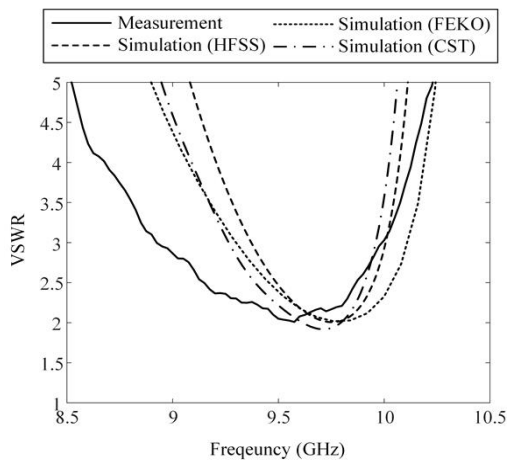


그림 2. 제안된 개별소자의 정재파비 특성
Fig. 2. VSWR of the proposed element.

표 1. 제안된 안테나에 사용된 설계 변수

Table 1. Parameters for the proposed antenna.

Parameters	Dimension (mm)
w_1	4.2
w_2	8.1
l_1	6.1
l_2	7
t_1	0.6
t_2	0.9
t_3	1
h_1	1.6
h_2	2.4
p_{feed}	2.8

재파비 특성을 나타내는 그래프이다. 제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해 서로 다른 수치해석방법을 사용하는 EM 시뮬레이션 도구인 CST, FEKO, HFSS를 사용하여 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 측정결과와 비교하였다.

측정된 개별소자의 대역폭은 정재파비 3:1을 기준으로 11 % (8.9 GHz ~ 10 GHz)로 확인되었으며, 시뮬레이션 결과도 측정결과와 유사한 범위 내에서 동작하는 것을 확인하였다.

그림 3은 제안된 안테나 설계에 적용된 via cavity 구조에 의한 근접전계분포의 변화를 보여준다. 그림 3(a)는 cavity 구조가 없을 때의 근접전계분포이며, 안테나의 하부면을 제외하고는 상대적으로 넓게 분포되는 것을 알 수 있다. 하지만 그림 3(b)에 나타난 바와 같이 via cavity가 적용된 경우, cavity에 의해 전계 분포가 가두어지므로, 안테나의 양측면의 전계가 뚜렷하게 낮아진다. 따라서 via cavity를 추가함으로써 안테나를 배열 시 이웃한 소자간의 상호결합특성을 낮출 수 있다.

그림 4는 개별소자를 3×3 배열로 확장하고 배열안테나의 방사패턴을 확인한 것을 보여준다. 실선과 점선은 각각 zx-평면과 zy-평면의 방사패턴을 나타내며, 전면방향 이득은 최대 15 dBi로 나타났다. 반전력빔폭은 zx-평면을 기준으로 31.3°, zy-평면을 기준으로 32.1°로 나타났다.

그림 5는 스캔방향에 따른 배열안테나의 능동정재파비

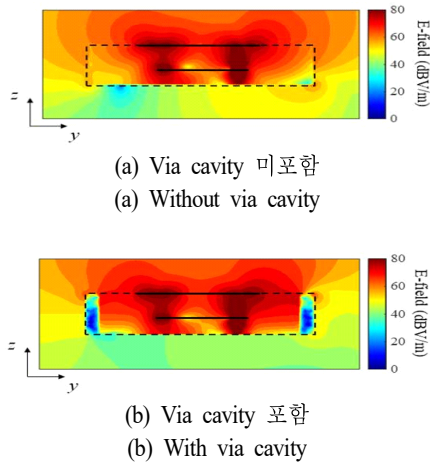


그림 3. Via cavity 유무에 따른 안테나의 근접전계분포
Fig. 3. Near-field distribution of the proposed antenna depending on the via cavity.

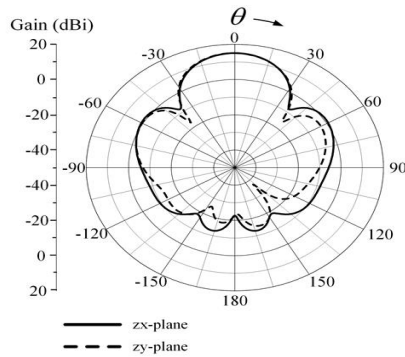


그림 4. 제안된 배열안테나의 방사패턴
Fig. 4. Radiation pattern of the proposed array antenna.

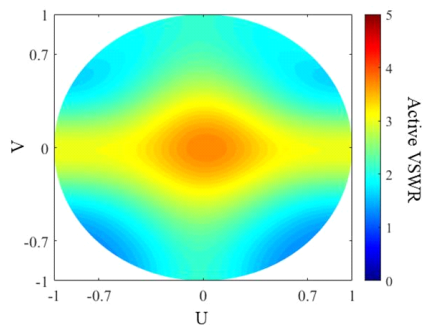


그림 5. 스캔방향에 따른 배열안테나의 능동정재파비
Fig. 5. Active VSWR of the proposed array antenna according to the scan direction.

특성을 9.5 GHz에서 확인한 바를 나타낸다. 능동정재파비는 3×3 배열안테나의 소자중 정중앙에 있는 소자에 대해서 평가되었다. UV-plot으로 확인된 스캔 영역은 $0^\circ < \theta < 90^\circ$, $0^\circ < \varphi < 360^\circ$ 이며, 모든 스캔 영역 내에서 3.7 이하의 능동반사계수 특성이 나타나는 것이 확인되었다.

III. 결 론

본 논문에서는 격리도 및 내구성을 고려하여 via cavity 구조를 적용한 적층형 X 대역 이중루프패치 배열안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 설계 유효성을 확인하기 위해 안테나를 제작 측정하였고, 이를 FEKO, CST, HFSS를 비교하였다. 측정된 개별소자의 대역폭은 정재파비 3:1을 기준으로 11 % (8.9 GHz ~ 10 GHz)로 확인되었으며, 이는 시뮬레이션 결과와 유사하게 확인되었다. 또한, 개별소자를 3×3 배열로 확장하고 배열안테나의 방사패턴을 확인한 결과, 전면방향 이득은 최대 15 dBi로 나타났다. 반전력빔폭은 zx-평면을 기준으로 31.3° , zy-평면을 기준으로 32.1° 로 나타났다. 마지막으로 스캔방향에 따라 능동정재파비 특성을 확인하였으며, 스캔영역에 대해서 3.7 이하의 능동정재파비 특성이 나타나는 것이 확인되었다.

References

- [1] W. H. Choi, W. H. Song, and W. J. Lee, "Broadband radar absorbing structures with a practical approach from design to fabrication," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 4 pp. 254-261, Oct. 2020.
- [2] J. H. Nam, J. W. Rim, H. Lee, I. S. Koh, and J. H. Song, "Modeling of monopulse radar signals reflected from ground clutter in a time domain considering Doppler effects," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 3 pp. 190-198, Jul. 2020.
- [3] H. Huang, X. Li, and Y. Liu, "A low-profile, single-ended and dual-polarized patch antenna for 5G application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 5, pp. 4048-4053, May. 2020.
- [4] H. S. Farahani, M. Veysi, M. Kamyab, and A. Tadjalli,

- "Mutual coupling reduction in patch antenna arrays using a UC-EBG superstrate," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 57-59, Feb. 2010.
- [5] K. S. Vishvakshnan, K. Mithra, R. Kalaiarasan, and K. S. Raj, "Mutual coupling reduction in microstrip patch antenna arrays using parallel coupled-line resonators," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2146-2149, May. 2017.
- [6] M. C. Tang, Z. Chen, H. Wang, M. Li, B. Luo, and J. Wang, et al., "Mutual coupling reduction using meta-structures for wideband, dual-polarized, and high-density patch arrays," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 65, no. 8, pp. 3986-3998, May. 2017.
- [7] J. Hur, G. Byun, J. Kim, M. Kim, K. Ko, and H. Choo, "Design of a circular dual-loop antenna for a GPS array element using an extended cavity structure," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 61, no. 4, pp. 1104-1109, Apr. 2019.
- [8] Altair, "FEKO suite 2020.1," 2020. Available: <https://www.altair.com/feko/>
- [9] Dassault Systemes, "CST Studio suite 2020," 2020. Available: <https://www.3ds.com/ko/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>
- [10] Ansys, "Ansys HFSS suite 2021 R1 Altair," 2021. Available: <https://www.ansys.com/ko-kr/products/electronics/ansys-hfss/>
- [11] Y. Dong, P. Liu, D. Yu, G. Li, and F. Tao, "Dual-band reconfigurable terahertz patch antenna with graphene-stack-based backing cavity," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1541-1544, Feb. 2016.
- [12] H. Liu, A. Qing, Z. Xu, Z. Yu, and S. Zhang, "Design of physically connected wideband SIW cavity-backed patch antenna for wide-angle scanning phased arrays," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 20, no. 3 pp. 406-410, Mar. 2021.
- [13] K. Fan, Z. C. Hao, and Q. Yuan, "A low-profile wideband substrate-integrated waveguide cavity-backed E-shaped patch antenna for the Q-LINKPAN applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 11, pp. 5667-5676, Sep. 2017.
- [14] D. Y. Kim, J. W. Lee, T. K. Lee, and C. S. Cho, "Design of SIW cavity-backed circular-polarized antennas using two different feeding transitions," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 4, pp. 1398-1403, Apr. 2011.

장 도 영 [홍익대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-5629-8294>



2015년~2018년: 모아소프트 RF/EMC 사업부 연구원
2018년 2월: 동양미래대학교 정보통신학과 (공학사)
2020년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2020년~현재: 홍익대학교 전자전기공학

부 박사과정

[주 관심분야] 방향 탐지용 안테나 설계 및 배열 최적화, 전파 환경 분석

왕 성 식 [홍익대학교/연구교수]

<https://orcid.org/0000-0003-1184-3807>



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
2021년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학박사)
2021년 3월~현재: 홍익대학교 메타물질 전자소자연구센터 연구교수

[주 관심분야] 레이더 배열안테나, 배열 안테나 설계 최적화, 전파와 Propagation, 전파환경 분석

주 정 명 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8210-1758>



2011년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2013년 3월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
2013년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 수동 및 능동 위상 배열 안테나, 레이더 시스템

추 호 성 [홍익대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-8409-6964>



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, 차량 및 항공기 안테나