

## 넓은 양각 커버리지를 위한 3×4 재구성 급전회로를 갖는 5 GHz 무인항공기용 배열 안테나 설계

### 5 GHz UAV Array Antenna Design with a 3×4 Reconfigurable Feeding Network for Wide Elevation Coverage

정 예 영 · 서 동 근 · 이 왕 상

Ye-Yeong Jeong · Dong-Geun Seo · Wang-Sang Lee

#### 요 약

본 논문에서는 넓은 양각 커버리지를 위한 3×4 재구성 급전회로를 갖는 5 GHz 무인항공기용 배열 안테나가 제안되었다. 제안된 배열 안테나는 상부 기판의 인쇄된 4소자 다이폴 배열 안테나, 테이퍼드 발룬을 갖는 두 개의 지지대, 제안된 배열 안테나의 이득 향상을 위한 반사기와 재구성 급전회로를 갖는 하부 기판으로 구성된다. 넓은 빔 커버리지를 위해 제안된 급전회로는 하나의 RF 스위치, 하나의 윌킨슨 전력 분배기, 두 개의 90° 하이브리드 커플러로 구성되며, 하나의 브로드 사이드 빔과 두 개의 엔드 파이어 빔을 이용하여 넓은 빔을 형성한다. 5.03~5.15 GHz에서 동작하는 제안된 배열 안테나의 측정된 임피던스 대역폭, 최대 이득, 반 전력 빔 폭은 각각 약 850 MHz(17 %), 6.7 dBi, 180°이다.

#### Abstract

This paper presents a 5 GHz UAV array antenna with a 3×4 reconfigurable feeding network for wide elevation coverage. The proposed array comprises a four-element printed dipole antenna array in the top substrate, two supports with a tapered balun, a self-reflector for gain improvement, and a reconfigurable feeding network in the bottom substrate. For wide beam coverage, the feeding network comprises one RF switch, one Wilkinson power divider, and two 90° hybrid couplers; further, the network achieves wide beam coverage using one broadside beam and two end-fire beams. The measured impedance bandwidth, peak gain, and half-power beamwidth of the proposed array operated from 5.03 to 5.15 GHz are approximately 850 MHz(17 %), 6.7 dBi, and 180°, respectively.

Key words: Low-Profile, Printed Dipole Antenna Array, Reconfigurable Feeding Network, UAV Communications, Wide Elevation Angle

#### I. 서 론

4차 산업혁명과 5 G의 상용화에 따라, 무인 항공기, 자율 주행모드 자동차, 로봇 등의 무선 통신 기반의 어플리

케이션이 빠르게 개발 및 상용화되고 있다. 특히, 무인항공기의 경우, 사람의 탑승 없이 원격 조정이 가능하며, 쉬운 배포, 낮은 유지보수비용, 높은 이동성, 제자리 비행 능력 등의 이점을 가지고 있기 때문에 방산, 과학, 농업,

「이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017-0-00795, 넓은 양각을 지원하는 차량용 소형 배열 안테나 시스템 연구).」

경상대학교 전자공학과 & 공학연구원(Department of Electronic Engineering/Engineering Research Institute(ERI), Gyeongsang National University)

· Manuscript received August 3, 2020 ; Revised August 18, 2020 ; Accepted August 24, 2020. (ID No. 20200803-007S)

· Corresponding Author: Wang-Sang Lee (e-mail: wsang@gnu.ac.kr)

상업과 같이 많은 분야에 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 현재 무인항공기 제어를 위해 사용되는 주파수 대역은 2.45 GHz 대역이 주로 활용되고 있다. 하지만, 국제전기통신연합(ITU) 산하의 세계전파통신회의(WRC-1 2)에서 무인항공기용 주파수가 5.03~5.15 GHz로 할당됨에도 불구하고, 이에 관한 연구는 미비한 실정이다.

그림 1에서와 같이 ‘무인항공기 대 모든 것(U2X)’ 통신용 안테나를 개발할 때 고려해야 할 사항이 있다. 먼저, 위장, 효율적인 전력 관리, 작은 공기 저항을 위해 높이가 낮은 구조 및 적은 중량 등이 요구된다<sup>[2]</sup>. 그리고 비행체의 상하 좌우간의 균형을 맞추기 위해 안테나 또한 대칭적인 균형 구조가 필요하다. 마지막으로, 무인항공기와 다양한 장치 사이의 불연속 통신을 피하고, 통신 효율을 향상시키기 위해 넓은 빔 커버리지를 가져야 한다<sup>[3]</sup>. 이러한 넓은 양각을 커버하는 UAV 통신용 안테나들이 제안되고 있다<sup>[4]~[10]</sup>. 참고문헌 [4]~[6]의 안테나들은 비교적 큰 구조와 좁은 양각 범위를 가지며, 참고문헌 [7]~[10]에서 제안된 안테나들은 높은 이득과 넓은 양각을 가진다. 하지만, 모두 5 GHz에서 동작하도록 설계된 안테나가 아니다.

앞서 수행했던 이전 연구 중 하나는 기생 소자를 갖는 다이폴 배열 안테나이다<sup>[11]</sup>. 해당 안테나는 기생 소자의 영향으로 인해 양각이 개선되었지만, 이득이 낮다. 이를 개선하기 위해 3개의 빔을 형성하는 재구성 급전회로를 갖는 배열 안테나를 제안하였다<sup>[12]</sup>. 위 안테나는 3개의 RF 스위치를 사용하기 때문에 삽입 손실이 크다는 단점이 있다. 본 논문에서는 스위치 개수를 줄여 안테나의 성

능을 개선시킨 넓은 양각 커버리지를 위한 3×4 재구성 급전회로를 갖는 5 GHz 무인항공기용 배열 안테나를 제안하고자 한다.

## II. 제안된 배열 안테나의 구조 및 재구성 급전회로

### 2-1 재구성 급전회로 설계

제안된 배열 안테나에 사용된 재구성 급전회로의 회로도는 그림 2와 같다. 표 1은 SP3T 스위치의 상태별로 출력되는 전력과 위상을 나타낸다. P2 모드를 선택하게 되면, 커플러를 통해 출력 A1과 A2만 동작하여 왼쪽으로 방사하는 엔드-파이어 빔을 형성시킨다. P3 모드는 반 전력 분배기에 의해 커플러 2개로 전력이 분배되어 4개의 출력(A1-A4)이 90°, 0°, 0°, 90°의 위상차를 가진다. 이로 인해 중앙으로 방사하는 브로드사이드 빔이 형성된다. 마

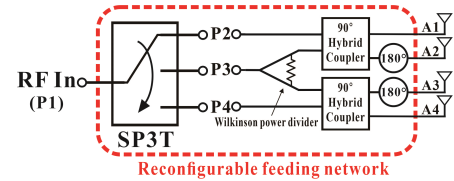


그림 2. 제안된 재구성 급전회로의 회로도

Fig. 2. Block diagram of the proposed reconfigurable feeding network.

표 1. 입력 모드에 따른 진폭 및 위상 변화의 각 분포

Table 1. Each distribution of amplitudes and phase variations with regard to the input modes.

Distributions (Amp., phase)		Operating modes (input)		
		P2	P3	P4
Output	A1	$1/\sqrt{2}$ , 0°	1/2, 90°	-
	A2	$1/\sqrt{2}$ , 90°	1/2, 0°	-
	A3	-	1/2, 0°	$1/\sqrt{2}$ , 90°
	A4	-	1/2, 90°	$1/\sqrt{2}$ , 0°
Radiation patterns		End-fire (left)	Broadside (center)	End-fire (right)
Beam direction (zx-plane, $\theta$ )		-60°	0°	60°

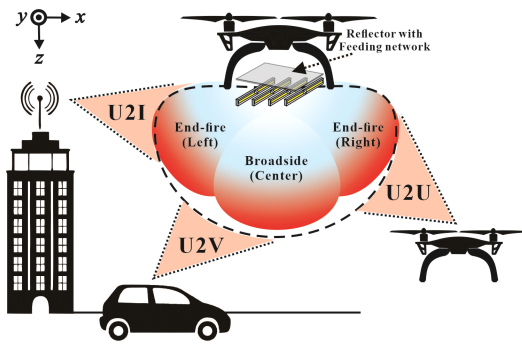


그림 1. 무인항공기 대 모든 것(U2X) 통신 개념도

Fig. 1. UAV to everything(U2X) communication concept diagram.

지막으로, P4 모드는 P2 모드와 같이 작동되지만, A3와 A4에서  $+90^\circ$ 의 위상차를 가지기 때문에 오른쪽으로 엔드-파이어 빔이 방사된다. 측정된 모든 모드에서의 반사 계수는 약  $-15$  dB 이하로 임피던스 매칭이 되었다. A1-A4에서 측정된 투과 계수는  $-8.8$  dB 이상이었다. 이는 반 전력 분배기와 커플러를 통과하며 발생하는 각 3 dB의 손실과 1 dB의 스위치 손실 및 선로의 손실이 포함된 값이다. 5.09 GHz에서 각 모드에서의 위상차는  $\pm 5^\circ$  이하의 오차를 가진다.

## 2-2 재구성 급전회로를 포함하는 안테나 구조

그림 3은 제안된 안테나 구조와 제작된 안테나를 나타낸다. 안테나 구조는 그림 3(a)와 같이 상부 기판과 하부 기판 및 지지대로 구성되어 있다. 그림 3(b)에서 볼 수 있듯이 각 방사기 간의 간격은  $1/4 \lambda_0 (D_r=15.5 \text{ mm})$ 이며, 기생 소자는 방사기 사이에  $1/12 \lambda_0 (D_p=5.2 \text{ mm})$  간격으로 배치되어 양각을 넓히는 중요한 파라미터로 사용된다. 또한, 금속 반사기는 4개 모드 안테나 급전을 위해 제안된 급전회로의 접지면이면서 동시에 후면 방사를 줄이고, 방사 이득을 향상시키는 중요한 역할을 한다. 안테나의 설계 파라미터는  $W_s=75 \text{ mm}$ ,  $W_l=60 \text{ mm}$ ,  $H=21 \text{ mm}$ ,  $W_r=25.5 \text{ mm}$ ,  $L_1=26.3 \text{ mm}$ ,  $L_2=17 \text{ mm}$ 이다. 지지대는 급전회로와 다이폴 안테나를 연결하기 위한 마이크로스트립 선로와 테이퍼드 발룬으로 그림 3(c)와 같이 구성되었다. 그림 3(d)와 3(e)는 제작된 안테나와 급전회로를 나타낸다. 모든 기판은 TACONIC RF-35를 사용하였고, 제안된 안테나의 크기는  $75 \times 60 \times 15 \text{ mm}^3$ 이다.

## III. 안테나 성능 측정 및 결과

그림 4(a)와 그림 4(b)는 제작된 안테나의 주파수별 성능 측정 결과를 나타낸다. 그림 4(a)는 각 모드별 반사 계수를 나타낸다. P2-P4 모드의 공통 10-dB 대역폭은 4.82~5.67 GHz까지 약 17 %로 측정되었다. 그림 4(b)는 주파수에 따른 최대 이득과 전체 효율을 나타낸다. 제안된 안테나는 5.09 GHz에서 각 모드 별로 6.4, 6.6, 6.7 dBi의 성능을 가지고 있고, 전체 효율은 약 59 %, 51 %, 62 %로 측정되었다. 그림 5는 제안된 안테나의 모의 해석 및 측정된

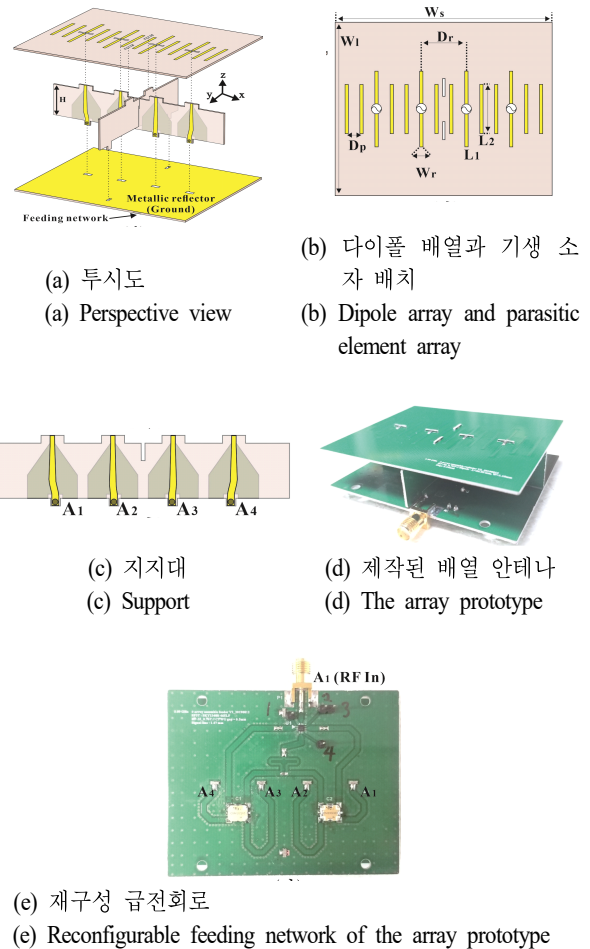


그림 3. 제안된 배열 안테나의 구조와 제작된 안테나  
Fig. 3. Structure of the proposed array and fabricated antenna.

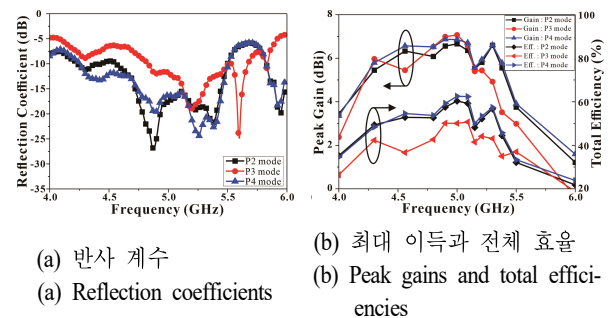


그림 4. 서로 다른 모드에 관련하여 제안된 배열의 측정된 결과  
Fig. 4. Measured results of the proposed array with regard to different modes.

넓은 양각 커버리지를 위한 3×4 재구성 급전회로를 갖는 5 GHz 무인항공기용 배열 안테나 설계

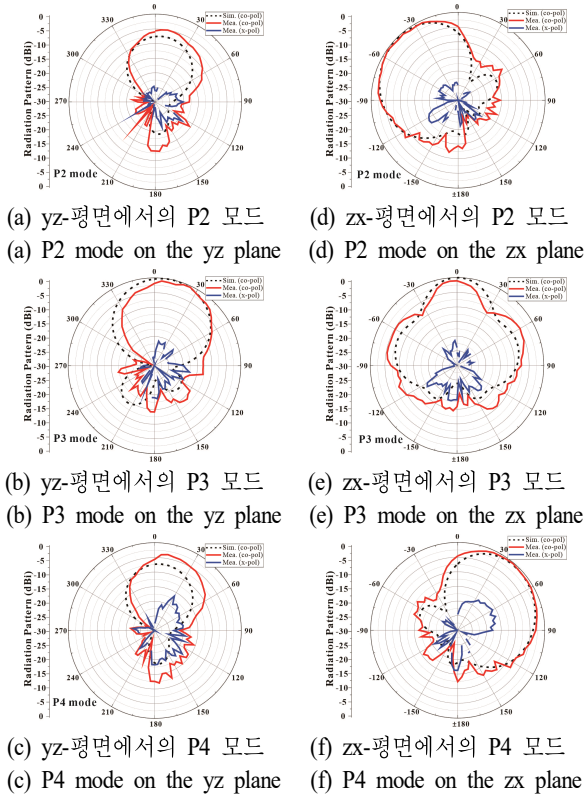


그림 5. 제작된 안테나의 P2-P4 모드와 관련한 모의 해석 및 측정된 방사 패턴

Fig. 5. Simulated and measured radiation patterns with regard to P2-P4 modes.

방사 패턴 결과를 나타낸다. 안테나가 x-축 상에 배열되어 있으므로, 해당 축과 일치하는 방향으로 방사 패턴이 형성되기 때문에 zx-평면과 yz-평면의 빔 폭에 차이가 발생한다. 제작된 안테나의 측정된 방사 패턴은 안테나의 주 빔 방향(zx-평면)에서 거의 같은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다 (각 모드의 빔을 합성하면, 총 HPBW는 180°가 된다). 표 2는 넓은 양각을 갖는 제안된 배열 안테나와 선행연구 사례의 안테나 성능에 대한 비교표를 나타낸다. 제안된 안테나는 선행 연구 사례에 비해서, 임피던스 대역폭이 넓고, 이득이 높고 양각이 넓으며, 상대적으로 높이가 낮은 장점이 있다.

#### IV. 결 론

본 논문은 넓은 양각 커버리지를 위한 3×4 재구성 급

표 2. 넓은 양각과 제안된 어레이의 성능 비교 및 선행 연구의 결과

Table 2. Comparison of the performance of the proposed array with a wide elevation angle and the results of previous studies.

Ref.	$f_c$ (GHz)	10-dB BW (%)	Gain (dBi(c))	HPBW (°)	Elect. size ( $\lambda_0^3$ )
[4]	2.4	3.7	4.5	60	1.4×1.4×0.1
[5]	2.4	10.8	4.5	60	1.4×1.4×0.1
[6]	2.4 / 5	3.5 / 14	4.5 / 5	60	2.5×2.5×1
[7]	2.5	22.5	5.2	116	0.6×0.5×0.3
[8]	2.6	23.5	7	120	1.5×1.5×0.1
[9]	2.4	3.4	8.3	120	2×1.2×0.5
[10]	3.3	10.7	5	159	0.5×0.5×0.1
<b>Prop.</b>	<b>5.09</b>	<b>16.7</b>	<b>6.7</b>	<b>180</b>	<b>1.3×1×0.3</b>

전회로를 갖는 5 GHz 무인항공기용 배열 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 기생 소자들과 다이폴 안테나 배열을 활용하여, 중앙으로 방사하는, 브로드사이드 빔과 양 옆으로 방사하는 엔드-파이어 빔 2 개를 급전회로를 통해 재구성하여 약 6.7 dBi의 최대 이득과 약 180°의 양각을 가진다. 제안된 안테나는 낮은 높이, 대칭적인 구조, 높은 이득, 넓은 양각을 가지므로 무인항공기를 이용한 어플리케이션에 활용도가 높을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] Y. Chen, C. F. Wang, "Electrically small UAV antenna design using characteristic modes," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 535-545, Feb. 2014.
- [2] H. Shakhathreh, A. H. Sawalmeh, A. Al-Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, and I. Khalil, et al., "Unmanned aerial vehicles(UAVs): A survey on civil applications and key research challenges," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48572-48634, 2019.
- [3] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 35-42, May 2016.

- [4] N. Neveu, Y. K. Hong, J. Lee, J. Park, G. Abo, and W. Lee, et al., "Miniature hexaferrite axial-mode helical antenna for unmanned aerial vehicle applications," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 49, no. 7, pp. 4265-4268, Jul. 2013.
- [5] M. S. Alam, A. Abbosh, "Planar pattern reconfigurable antenna with eight switchable beams for WiMax and WLAN applications," *IET Microwave Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 10, pp. 1030-1035, Jul. 2016.
- [6] W. C. Zheng, L. Zhang, Q. X. Li, and Y. Leng, "Dual-band dual-polarized compact bowtie antenna array for anti-interference MIMO WLAN," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 62, no. 1, pp. 237-246, Jan. 2014.
- [7] X. Chen, P. Qin, Y. J. Guo, and G. Fu, "Low-profile and wide-beamwidth dual-polarized distributed microstrip antenna," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 2272-2280, 2017.
- [8] S. Chen, P. Qin, W. Lin, and Y. J. Guo, "Pattern-reconfigurable antenna with five switchable beams in elevation plane," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 454-457, Mar. 2018.
- [9] H. Xu, J. Cui, J. Duan, B. Zhang, and Y. Tian, "Versatile conical conformal array antenna based on implementation of independent and endfire radiation for UAV applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 31207-31217, 2019.
- [10] B. Feng, K. L. Chung, J. Lai, and Q. Zeng, "A conformal magneto-electric dipole antenna with wide H-plane and band-notch radiation characteristics for sub-6-GHz 5G base-station," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 17469-17479, 2019.
- [11] D. G. Seo, W. S. Lee, "A multiply parasitic-coupled, three-dimensional antenna array with wide elevation angle for seamless UAV communications," *ACES Journal*, vol. 35, no. 4, pp. 461-465, 2020.
- [12] D. G. Seo, J. S. Park, G. K. Lee, and W. S. Lee, "Lightweight printed dipole antenna array with 3×2 beamforming network for wide UAV communication coverage," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 15, no. 4, pp. 1769-1773, 2020.

정 예 영 [경상대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-6822-2898>



2019년 8월: 경상대학교 전자공학과 (공학사)  
 2019년 9월~현재: 경상대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 무인항공기용 재구성 급전회로 설계

서 동 근 [경상대학교/석사]

<https://orcid.org/0000-0003-0736-3755>



2016년 8월: 경상대학교 전자공학과 (공학사)  
 2020년 2월: 경상대학교 전자공학과 (공학석사)  
 [주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 무인항공기용 재구성 급전회로 설계, RFID/IoT Sensors

이 왕 상 [경상대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-6414-2150>



2004년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)  
 2006년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 2013년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 2006년 2월~2006년 8월: KT 컨버전스본부 선임연구원

2006년 9월~2010년 8월: 한국산업기술시험원 전자파기술센터 선임연구원

2013년 9월~2014년 8월: 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 선임연구원

2014년 9월~현재: 경상대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] RF/Microwave Antenna, Circuit, System, Near- and Far-Field Wireless Power Transfer & Communications Systems, RFID, EMI/EMC