

드론 제어용 데이터링크 안테나 설계

여수철* · 홍수운** · 최효기** · 윤창배**

Data-link Antenna Design for Drone Control

Su-Cheol Yeo* · Su-Woon Hong** · Hyo-Gi Choi** · Chang-Bae Yoon**

요약

드론 제어를 위한 C대역 무지향성 안테나는 드론의 상부 또는 하부에 장착되어 통신링크를 구성하기 위해 사용된다. 통신링크는 무지향성 안테나 장착위치에 따라 LOS(: Line Of Sight)의 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 드론 탑재를 위한 내장형 안테나 2종을 상용 시뮬레이션 툴인 CST MWS로 설계하고, 장착 환경을 고려한 EM(: Electro Magnetic) 해석을 수행하였다. 또한, 다수의 드론을 제어하기 위한 PTMP(: Point To Multi Point) 지상안테나를 제안하였다. 지상안테나는 30km의 통신반경을 갖기 위해 수평방향으로 4개의 섹터안테나와 상부에 1개의 지향성안테나로 구성하였다.

ABSTRACT

The C-band omni-directional antenna for drone control is mounted on the top or bottom and used to configure the communication link. The communication link is affected by the LOS depending on the mounting position of the omni-directional antenna. In this paper, two kinds of embedded antennas were designed with a commercial simulation tool CST MWS, and EM analysis was performed to consider the mounting environment. Also, we propose the PTMP ground antenna to control a large number of drones. The ground antenna has a communication link of 30km, and it consists of four sector antennas in the horizontal direction and one directional antenna at the top.

키워드

Antenna, C-band, Data-link, Drone, LOS, PTMP
안테나, C 대역, 데이터 링크, 드론, 가시선, 일대다

1. 서론

20세기 초, 군사용으로 개발되었던 드론을 다국적 기업들이 상업적으로 활용함에 따라 드론 시장이 활성화 되고 있다. 최근 4차 산업혁명 기술과 접목되어 민간, 공공 및 국방 분야의 수요가 급격히 증가하고

있으며, 앞으로는 상업용 드론이 시장을 주도할 것으로 예상된다. 드론은 농업, 기상, 과학, 의학, 공공, 물류, 건설, 레저, 국방 분야 등 다양하게 활용할 수 있다[1-2].

국내·외 취미·레저용 소형 드론은 비면허, 저출력 주파수대역(2.4GHz, 5.8GHz)을 사용하여 통신거리의

* 교신저자 : 한화시스템

** 한화시스템 위성·데이터링크팀

(suwoon.hong@hanwha.com, hyogi.choi@hanwha.com, changbae.yoon@hanwha.com)

· 접수일 : 2018. 08. 20

· 수정완료일 : 2018. 10. 17

· 게재확정일 : 2018. 12. 15

· Received : Aug. 20, 2018, Revised : Oct. 17, 2018, Accepted : Dec. 15, 2018

· Corresponding Author : Su-Cheol Yeo

Dept. Satellite·DataLink Team, Hanwha Systems

Email : sc2010.yeo@hanwha.com

제약이 따른다. 또한, 상용 이동통신망의 주파수대역과 중첩되어 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 WRC(World Radio Conference)-12에서는 C대역(5,030 ~ 5,091 MHz)을 항공이동 업무용 주파수로 분배하였고, WRC-15에서는 무인기 제어용 위성 통신 링크 주파수를 신규 분배하였다. 이에 따라 드론의 안전운항을 위한 무인기 제어전용 주파수대역에서 국제적으로 표준화된 통신장비 및 네트워크 시스템 구축의 필요성이 증가하고 있다[3-6].

일반적인 데이터링크 시스템은 PTP(Point To Point) 방식으로 산악지형이 많은 나라에서는 운용상의 제약이 발생하며, 드론의 숫자만큼 지상통제장비가 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 공중으로 빔을 형성하고 다수의 드론을 제어하여 네트워크를 구성할 수 있는 PTMP 시스템 구축이 필요하다[7-8].

본 논문에서는 C대역의 무인기 제어 전용 주파수대역에서 표준화된 데이터링크 시스템에 적용 가능한 탑재안테나와 지상안테나 설계방법을 제안하였으며, 상용 EM 시뮬레이션 툴인 CST MWS를 사용하여 해석하였다. 탑재안테나는 지상안테나와 원활한 통신을 위해 무지향성 방사패턴을 가지며, 드론의 운용가능 향상이 가능하도록 내장형 구조로 설계하였다. 지상안테나는 PTMP 시스템 구축을 위해 30km의 통신반경을 갖도록 수평방향으로 4개의 섹터안테나, 상부에는 1개의 지향성안테나로 구성하여 3차원 빔 패턴을 형성하였다[9-10].

II. 드론 안테나 설계

2.1 드론의 분류와 데이터링크 시스템 구성

국·내외 무인항공기 기술동향에 따르면 드론 시스템은 최대 이륙중량, 운용고도, 조종방식, 이착륙방식, 에너지원 구성에 따라 그림 1과 같이 분류할 수 있다[11]. 드론은 운용목적에 따라 임무장비를 다양하게 사용하며, 데이터링크 시스템은 그림 2와 같이 지상통제장비와 드론으로 구성된다. 지상통제장비와 드론 간 LOS가 확보되면 원활한 통신이 가능하다.

Takeoff Weight	Operating Altitude	Control Method	Takeoff & Landing Method	Energy
Large UAV	Low (0.15km)	Direct Propagation	Vertical	Coal Fuel
Medium UAV	Medium (14km)	Communication Network	Slide	Accumulator
Small UAV	High (20km)	Satellite	Secondary Device	Hybrid
medium small micro	Stratosphere (50km)	Cable		Sunlight

그림 1. 드론 시스템 분류
Fig. 1 Drone system classification

PTP 데이터링크 시스템에서 탑재안테나는 무지향성 안테나를 사용하며, 지상안테나는 무지향성 안테나 또는 지향성 안테나를 사용한다. 근거리 통신에서는 무지향성 안테나를 사용하여 원활한 통신이 가능하지만 통신거리가 증가되면 고이득의 지향성 안테나를 사용해야 한다. 본 논문에서는 PTMP 시스템에 적합한 탑재/지상 안테나 제원을 검토하기 위해 시스템 링크버짓 분석을 수행하고, 최대통신반경(D_{max}) 30km을 충족하기 위한 주요 규격으로 송신 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power) 54dBm, 탑재안테나 이득 0dBi, 지상안테나 이득 10dBi, 경로 손실 등을 반영하여 분석하였다. 이때, 드론의 높이는 미국방성의 무인항공기 분류 기준을 참고하여 18,000ft(≒5.5km)로 정의하였다[8]. 3차원 공간에서 지상안테나가 최대이득(G_{max})일 때, 지상통제장비의 수평방향 x , 수직방향 y 위치에서 필요한 지상안테나 이득은 식(1)과 같다. 지상안테나 이득(G)와 수평빔폭(θ_h), 수직빔폭(θ_v)의 관계는 식(2)와 같다.

$$G_{req}(x,y) = G_{max} - 20\log(D_{max}/\sqrt{x^2+y^2}) \quad (1)$$

$$G = 10\log(D_{max}^2/4\theta_h\theta_v) \quad (2)$$

식(1), (2)의 계산을 통해 통신반경 30km, 높이 5.5km, 거리 29.5km 조건에서 지상안테나의 요구이득(G_{req})은 10dBi 이상, 수평빔폭 90° 이상, 수직빔폭 20° 이상이 되어야 한다. 따라서 지상안테나는 수평방향으로 섹터안테나 4개와 상부에 지향성안테나 1개로 구성하여야 한다. 그리고 표 1의 지상안테나 빔 패턴 요구사항을 충족하기 위해 섹터안테나는 약 10.5° 상향 Tilting하여 구현한다.

1) <http://www.cst.com>

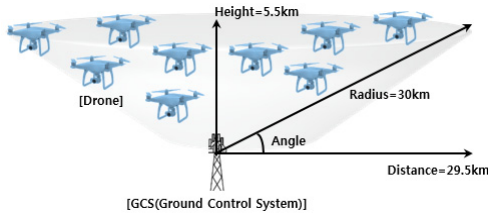


그림 2. 데이터링크 시스템 구성
Fig. 2 Data-link system composition

표 1. 지상안테나 빔 패턴 요구사항
Table 1. Ground antenna beam pattern requirement

Radius [km]	Distance [km]	Height [km]	Angle [°]	Beam [°]	Gain [dBi]
29.5	29.5	1	1.94	-8.62	9.86
29.7	29.5	3.5	6.76	3.8	9.91
30	29.5	5.5	10.56	0	10
26.1	25.5	5.5	12.17	1.61	8.79
16.4	15.5	5.5	19.53	8.98	4.78
7.8	5.5	5.5	45	34.44	-1.72
5.5	0.5	5.5	84.8	74.24	-4.7

2.2 탑재안테나 설계

드론의 체공시간은 중량과 항력에 의한 영향을 많이 받기 때문에 드론에 장착되는 장비는 소형, 경량 및 항력을 감소할 수 있는 구조로 설계하여야 한다. 이를 고려한 탑재안테나 형상은 패치 형태의 내장형 구조가 적합하며, 패치 구조를 적용하여 경량화 및 내장형 구조를 통해 항력을 감소하고자 하였다. 내장형 구조로써 드론에 장착 가능한 위치는 그림 3과 같다. 드론의 다리 부분(다이폴 구조)과 배면 부분(모노폴 구조)에 장착가능하며, 표 2의 제원을 충족하도록 설계하였다.

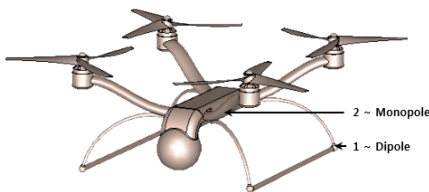


그림 3. 드론 안테나 장착 위치
Fig. 3 Drone antenna mount position

표 2. 탑재안테나 제원
Table 2. Air Antenna specifications

Item	Specifications
Shape	Patch Antenna
Frequency	C-band(5,030 ~ 5,091 MHz)
VSWR	< 2:1
Gain	> 0dBi
Vertical Beamwidth	> 45°
Horizontal Pattern	Omni-directional(Ripple < 3dB)

드론의 다리 부분에 장착 가능한 다이폴 안테나 형상은 그림 4와 같다. 다이폴 안테나는 유전율이 2.33인 Taconic TLY-3 기판을 사용하였으며, W=15mm, L=40mm, T=0.8mm, A=20mm, B=13mm, C=13mm로 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 그림 5와 같이 C대역(4,506 ~ 5,930 MHz)에서 VSWR 규격인 2:1 이하를 만족함을 확인하였다. 그림 6의 수직패턴 M&S 결과, 5,030MHz에서 이득 3.12dBi, 수직빔폭 76.4°, 5,091MHz에서 이득 3.15dBi, 수직빔폭 76.1°로 설계규격이 만족함을 확인하였다. 그림 7의 수평패턴 M&S 결과, 5,030MHz, 5,091MHz에서 최대 리플이 약 2.1dB로 무지향성 방사패턴임을 확인하였다.

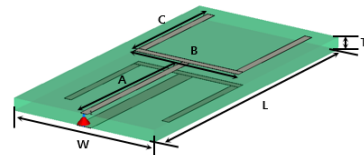


그림 4. 다이폴 안테나 형상
Fig. 4 Dipole antenna shape

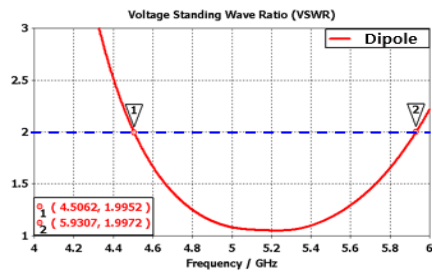


그림 5. 다이폴 안테나 VSWR M&S 결과
Fig. 5 Dipole antenna VSWR M&S results

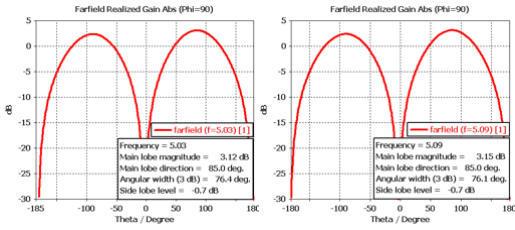


그림 6. 수직패턴 M&S 결과
Fig. 6 Vertical pattern M&S results

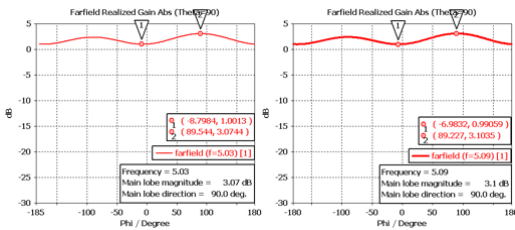


그림 7. 수평패턴 M&S 결과
Fig. 7 Horizontal pattern M&S results

드론의 배면 부분에 장착 가능한 모노폴 안테나 형상은 그림 8과 같다. 모노폴 안테나는 유전율이 3.75인 FR4 기판을 사용하였으며, A=17mm, B=30mm, T=5mm로 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 그림 9와 같이 C대역(4.787 ~ 5.562 MHz)에서 VSWR 규격인 2:1 이하를 만족함을 확인하였다. 그림 10의 수직패턴 M&S 결과, 5,030MHz에서 이득 3.58dBi, 수직빔폭 52.8°, 5,091MHz에서 이득 3.71dBi, 수직빔폭 52.3°로 설계규격이 만족함을 확인하였다. 그림 11의 수평패턴 M&S 결과, 5,030MHz, 5,091MHz에서 최대 리플이 약 0.1dB로 무지향성 방사패턴임을 확인하였다. 또한, 모노폴 안테나의 경우, 실제 장착되는 장비의 그라운드를 활용하여 추가적인 소형화가 가능하다.

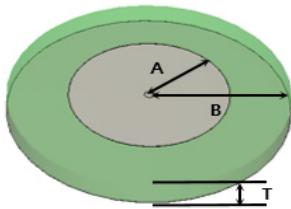


그림 8. 모노폴 안테나 형상
Fig. 8 Monopole antenna shape

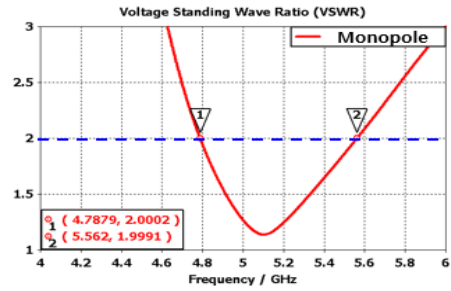


그림 9. 모노폴 안테나 VSWR M&S 결과
Fig. 9 Monopole antenna VSWR M&S results

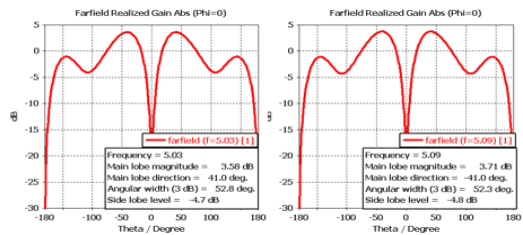


그림 10. 수직패턴 M&S 결과
Fig. 10 Vertical pattern M&S results

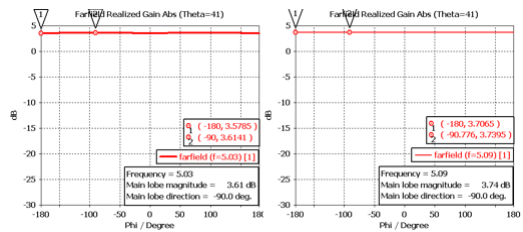


그림 11. 수평패턴 M&S 결과
Fig. 11 Horizontal pattern M&S results

2.3 드론 장착 EM 분석

드론을 고려한 EM 해석을 수행하기 위해 쿼드콥터 드론 모델링을 사용하였다. 시뮬레이션 복잡도, 분석시간, 메모리 활용 최소화를 고려하여 드론의 표면은 유전율이 4.4인 Ceramic으로 간략화 하였다. 또한, 해석시간을 단축하기 위해 드론 모델링 형상에 안테나 해석결과를 소스원으로 인가하는 방법을 사용하였다. 2.2절에서 설계된 다이폴 안테나와 모노폴 안테나를 그림 12와 같이 드론 3곳에 소스원으로 인가하여 장착 환경을 고려한 EM 해석을 수행하였다. 표 3은 안테나 장착 위치를 표시하였다.

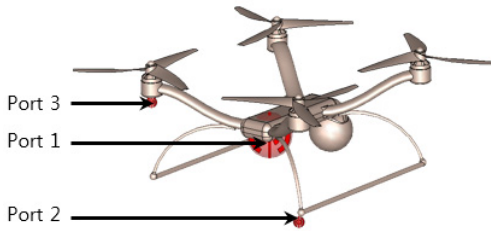


그림 12. 드론 형상 및 안테나 위치
Fig. 12 Drone shape & antenna position

표 3. 안테나 장착 위치
Table 3. Antenna mount position

Item	Antenna Type	Position
Port 1	Monopole	Drone Bottom
Port 2	Dipole	Drone Leg
Port 3	Dipole	Motor Lower

EM 분석을 위해 모노폴 안테나와 다이폴 안테나의 중간주파수(5,060MHz) 방사패턴 데이터를 추출하였으며, 추출된 방사패턴을 드론의 3곳에 소스원으로 인가하여 드론을 고려한 EM 해석을 수행하고, 결과를 분석하였다. 방사패턴 분석 시 수직패턴은 주 운용 고각(80° ~ 150°, 210° ~ 280°)에서 이득 특성이 양호하고, Null 포인트가 발생하지 않아야 한다. 또한, 수평패턴은 360° 전 방향으로 평탄한 방사특성을 가져야 한다.

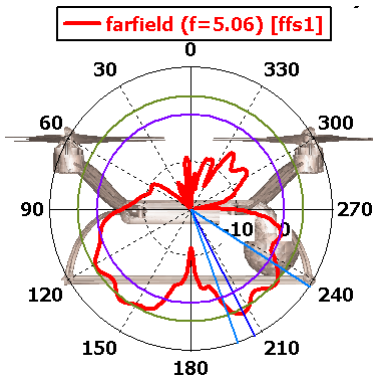


그림 13. 드론 배면(수직)
Fig. 13 Drone bottom(vertical)

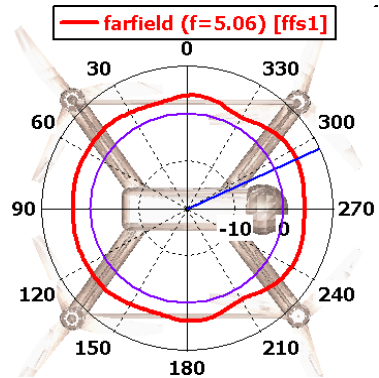


그림 14. 드론 배면(수평)
Fig. 14 Drone bottom(horizontal)

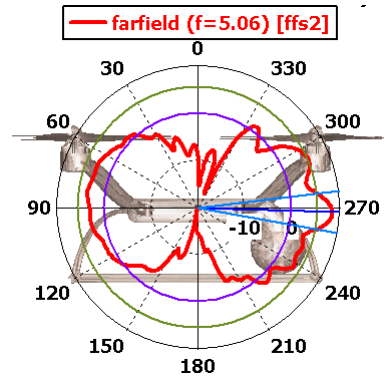


그림 15. 드론 다리(수직)
Fig. 15 Drone leg(vertical)

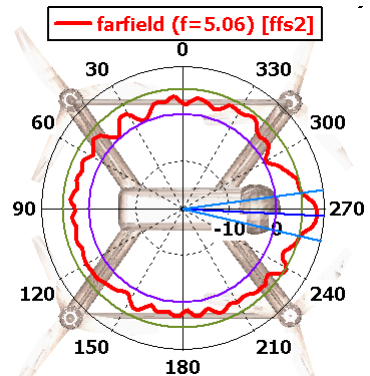


그림 16. 드론 다리(수평)
Fig. 16 Drone leg(horizontal)

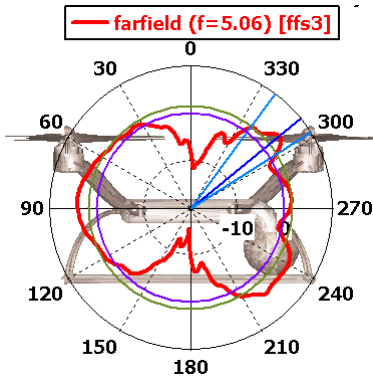


그림 17. 모터 하부(수직)
Fig. 17 Motor lower(vertical)

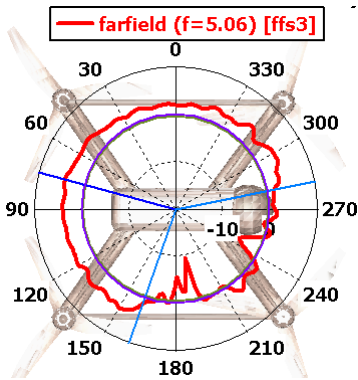


그림 18. 모터 하부(수평)
Fig. 18 Motor lower(horizontal)

그림 13은 드론의 배면에 장착 시 수직패턴으로 설계된 모노폴 안테나의 특성으로 인해 빔의 지향방향이 110° ~ 160°, 200° ~ 240° 이며, 그림 14는 수평패턴으로 360° 전 방향에서 양호한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 15는 드론의 다리에 장착 시 수직패턴으로 빔의 지향방향이 50° ~ 130°, 230° ~ 310° 이며, 그림 16은 수평패턴으로 360° 전 방향에서 양호한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 17, 18은 모터 하부에 장착한 안테나로 동체의 가림에 의해 수평패턴의 일그러짐이 심한 것을 확인할 수 있다. 가시선 확보가 용이한 위치 3곳에 설계된 안테나를 장착하여 EM 분석한 결과 드론의 다리 부분에 장착한 안테나의 방사패턴 특성이 가장 우수함을 확인할 수 있다.

2.4 지상안테나 설계

지상통제장비용 지상안테나는 수평방향으로 4개의 섹터안테나와 상부에 1개의 지향성안테나로 구성되어야 한다. 이때, 섹터안테나의 이득은 10dBi 이상, 수평빔폭 90° 이상, 수직빔폭 20° 이상을 만족하여야 한다. 이러한 구성을 통해 통신반경 30km 이내에서 드론과 원활한 통신이 가능하다. 지향성안테나는 단일 패치, 섹터안테나는 단일 패치의 수직배열로 구성하여 이득을 충족하도록 설계하였다.

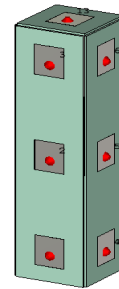


그림 19. 지상안테나 형상
Fig. 19 Ground antenna shape

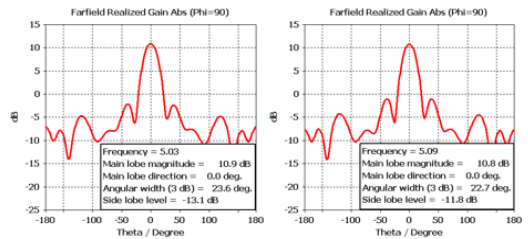


그림 20. 섹터안테나 수직패턴 특성
Fig. 20 Sector antenna vertical pattern characteristic

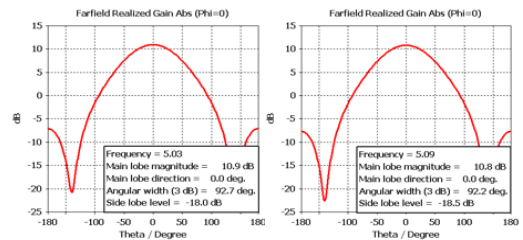


그림 21. 섹터안테나 수평패턴 특성
Fig. 21 Sector antenna horizontal pattern characteristic

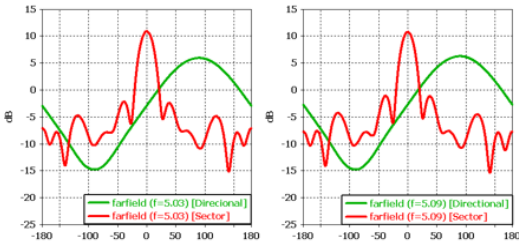


그림 22. 멀티 빔 수직패턴 특성
Fig. 22 Multi beam vertical pattern characteristic

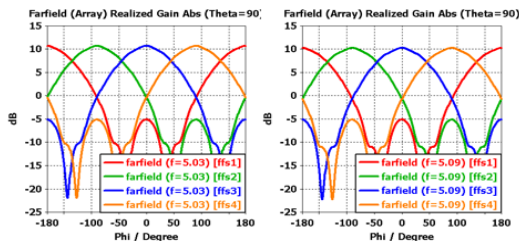


그림 23. 멀티 빔 수평패턴 특성
Fig. 23 Multi beam horizontal pattern characteristic

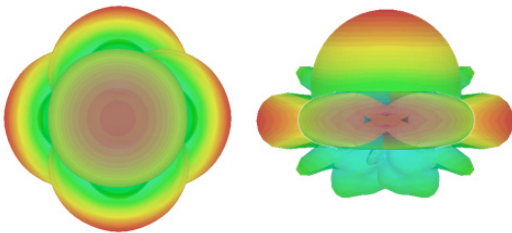


그림 24. 지상안테나 3차원 빔 패턴
Fig. 24 Ground antenna 3 dimension beam pattern

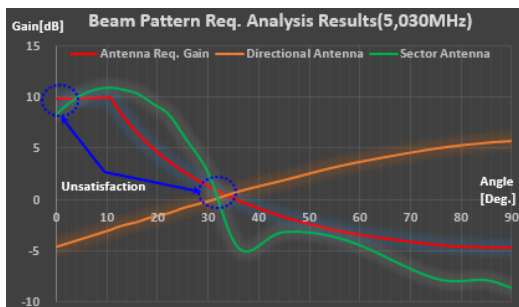


그림 25. 지상안테나 수직패턴 분석결과
Fig. 25 Ground antenna vertical pattern analysis results

제안된 지상안테나 형상은 그림 19와 같다. 그림 20, 21은 섹터안테나의 단일 빔에 대한 수직, 수평 패턴 특성으로 5,030MHz에서 이득은 10.9dBi, 수직빔폭 23.6°, 수평빔폭 92.7°, 5,091MHz에서 이득은 10.8dBi, 수직빔폭 22.7°, 수평빔폭 92.2° 임을 확인할 수 있다. 그림 22는 지상안테나 전체에 대한 수직패턴 특성으로 섹터안테나는 0° ~ 21°, 지향성안테나는 21° ~ 90°에서 이득 특성이 우수함을 확인할 수 있다. 그림 23은 4개의 섹터안테나의 멀티 빔에 대한 수평패턴 특성으로 5,030MHz 및 5,091MHz 대역에서 중첩영역의 이득은 7dBi 이상, 최대 이득은 10dBi 이상임을 확인할 수 있다. 그림 24는 지상안테나의 3차원 빔 패턴이 어떻게 형성되는지 도시하였으며, 그림 25는 통신반경 30km, 높이 5.5km, 거리 29.5km 조건에서 표 1의 지상안테나 빔 패턴 요구사항 충족여부를 분석하였다. 지상안테나 수직패턴 분석결과, 0° ~ 3°, 31.5° ~ 33.5°를 제외한 각도에서 요구사항이 충족됨을 확인할 수 있었으며, 미충족 각도에 대해서는 셀의 중첩과 보완설계로 해결 가능하다.

III. 결론

본 논문에서는 C대역의 무인기 제어 전용 주파수 대역에서 표준화된 데이터링크 시스템에 사용할 수 있는 탑재안테나와 지상안테나 설계방법을 제안하였다. 탑재안테나는 지상과 원활한 통신을 위해 무지향성 방사패턴을 가지며, 드론의 운용성능 향상을 위해 패치 형태의 내장형 구조를 적용하였고, 드론의 다리 부분에 장착 가능한 다이폴 구조와 배면 부분에 장착 가능한 모노폴 구조로 설계하였다. 설계결과, C대역에서 VSWR 2:1 이하, 이득 0dBi 이상, 수직빔폭 45° 이상, 무지향성 방사패턴으로 설계규격이 충족됨을 확인하였다. 지상안테나는 PTMP 시스템에 적용 가능하고, 통신반경 30km, 높이 5.5km, 거리 29.5km 조건을 충족하기 위해 수평방향으로 4개의 섹터안테나와 상부에 지향성안테나 1개로 구성하였다. 설계결과, 일부 각도를 제외하고 3차원 통신반경을 지원하기 위한 지상안테나 빔 패턴 요구사항이 충족됨을 확인하였다. 본 연구를 통해 도출된 안테나 설계 기법을 실제 안테나 제작 시 적용하고, 운용성능에 대한 분석 후 개선점에 대해서는 향후 고찰하고자 한다.

References

- [1] C. Park, "A Study on Drone Charging System Using Wireless Power Transmission," Master's Thesis, *Busan University of Foreign Studies Graduate School*, 2017.
- [2] S. Kim, "Unmanned Aircraft(Drone) Technology and Industry Outlook, *Korea Evaluation Institute of Industrial Technology Project Development Issue Report*, vol. 15-7, no. 3, July 2015.
- [3] H. Kim, "R&D and Standardization Trends on Control and Non-payload Communication for Unmanned Aircraft Systems," *Electronic Communication Trend Analysis*, vol. 33, Issue 2, June 2018, pp.70-77.
- [4] RTCA Inc., *Command and Control (C2) Data link Minimum Operational Performance Standards (MOPS) (Terrestrials)*, RTCA, 2016.
- [5] FINAL ACTS WRC-12, *World Radio Communication Conference(GENOVA, 2012)*, ITU, 2012.
- [6] FINAL ACTS WRC-15, *World Radio Communication Conference(GENOVA, 2015)*, ITU, 2015.
- [7] D. Kim, "Design of C-Band 3-Dimensional GRS Antenna for UAS CNPC Data link System," *2017 Korea Institute of Communications and Information Sciences Summer*, vol. 1, no. 1, June 2017, pp. 1160-1161.
- [8] Ministry of Science and ICT, "Unmanned Vehicle Technology Roadmap," *Technical Report*, Jan. 2018.
- [9] Y. Park, "Characteristics of Microstrip Array Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1281-1286.
- [10] J. Yoon, "Design and Fabrication of A Dual-band Open-Ended Circular Ring Monopole Antenna for WLAN Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 7, 2013, pp. 987-994.
- [11] Korea Standard Association, "Industry Guide for Global Technical Regulations on Drone," *Technical Barriers to Trade Policy Report 005*, Jan. 2018.

저자 소개



여수철(Su-Cheol Yeo)

2008년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2010년 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2010년 ~ 현재 한화시스템(주) 전문연구원
 ※ 관심분야 : 데이터링크 시스템



홍수운(Su-Woon Hong)

2000년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2018년 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2000년 ~ 현재 한화시스템(주) 수석연구원
 ※ 관심분야 : 데이터링크 시스템



최호기(Hyo-Gi Choi)

2001년 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2003년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2001년 ~ 현재 한화시스템(주) 수석연구원
 ※ 관심분야 : PHY 신호처리 및 전송데이터링크 시스템



윤창배(Chang-Bae Yoon)

1996년 한국해양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2002년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2008년 ~ 현재 한화시스템(주) 수석연구원
 ※ 관심분야 : 데이터링크 시스템