

무인 항공기를 활용한 기지국 안테나 패턴 측정

윤 석[°], 김 태 홍^{*}, 안 준 오^{*}

Measuring Base Station Antenna Pattern Using UAV

Seok Yoon[°], Tae-Hong Kim^{*}, Jun-Oh An^{*}

요 약

본 연구는 최신 무인 항공기(UAVs, Unmanned Aerial Vehicles) 기술을 활용하여 기지국 안테나 패턴 측정 방식을 제안한다. 기존의 유인 항공기나 헬리콥터를 이용한 측정 방법에 비해, 드론의 사용은 측정 과정의 편의성을 대폭 향상시키고, 비용을 절감하는 데 큰 장점은 가진다. 본 연구에서 개발된 UASAM(Unmanned Aerial System for Antenna Measurement) 프로토타입은 실제 설치 환경에서 기지국 안테나의 방사 패턴을 직접 측정할 수 있게 하며, 기지국 안테나 기울기와 같은 정보를 보다 쉽게 파악할 수 있게 한다. 이러한 접근은 기지국 운영의 효율성을 높이는 데 기여할 뿐만 아니라, 방송국 안테나 패턴 분석 및 이를 이용한 간섭 분석 등 다양한 응용 분야에서의 활용 가능성을 열어주며, 다양한 환경 조건에서의 성능 및 정밀도에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

키워드 : 기지국, 드론, 무인 항공 시스템, 안테나 패턴

Key Words : Base Station, Drone, Unmanned Aerial System, Antenna Pattern

ABSTRACT

This study proposes a method for measuring base station antenna patterns using the latest Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) technology. Compared to traditional measurement methods using manned aircraft or helicopters, the use of drones significantly improves the convenience of the measurement process and reduces costs. The developed prototype, Unmanned Aerial System for Antenna Measurement (UASAM), enables the direct measurement of base station antenna radiation patterns in actual installation environments and makes it easier to identify information such as the tilt of base station antennas. This approach not only contributes to increasing the efficiency of base station operations but also opens up possibilities for various applications including analysis of broadcasting antenna patterns and interference analysis using this information. Further research is deemed necessary on performance and precision under various weather conditions.

I. 서 론

무인 항공기(UAVs, Unmanned Aerial Vehicles)의 발전은 지구 관측^[1], 인프라 점검^[2], 작물 모니터링^[3], 폭발물 탐지^[4] 등 다양한 분야에서 혁신적인 응용을 가

능하게 하였다. 이 기술의 진보는 특히 안테나 패턴 측정 분야에서도 중요한 잠재력을 제시하고 있으며, 기존 방식의 한계를 넘어서는 새로운 방법론을 탐구하는 계기를 마련하고 있다.

안테나 패턴 측정에 관한 기존 연구는 주로 유인 항

※ 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00260829, 인발딩 3차원 전파특성 자동 측정·분석·모델링 기술 개발)

•° First and Corresponding Author : Institute for Future Radio Engineering, yseok1016@gmail.com, 정회원

* Institute for Future Radio Engineering, thkim@ifre.re.kr, 정회원; juno@ifre.re.kr, 정회원

논문번호 : 202402-031-B-RU, Received February 16, 2024; Revised March 15, 2024; Accepted April 3, 2024

공기나 헬리콥터^[18]를 활용한 방법과, 드론을 활용한 NF-FF(Near-Field to Far-Field) 변환 알고리즘^[5-17]에 기반한 방법으로 구분된다. 유인 항공기나 헬리콥터를 이용한 방법은 실제 환경에서의 직접적인 측정을 가능하게 하며, 높은 정밀도의 데이터를 제공할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이 방식은 높은 운영 비용과 복잡한 준비 과정, 전문 운용 인력의 필요성과 같은 실질적인 제약 사항을 내포하고 있다.

한편, NF-FF 변환 알고리즘을 활용한 드론 측정 방법은 안테나의 근역장 데이터를 수집한 후, 이를 원역장 패턴으로 변환하여 분석한다. 이 접근법은 안테나 패턴의 예측과 분석에 유용하지만, 변환 과정의 복잡성과 실제 환경의 다양한 요소를 완전히 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 특히, 반사와 간섭과 같은 환경적 조건의 영향을 정확히 모사하는 데 있어 제한적일 수 있으며, 이는 측정 결과의 정확도에 영향을 줄 수 있다.

본 연구는 기존의 연구 방식^[5-18]들과 비교하여, 드론을 사용한 원역장 측정 방안을 제안한다. 드론은 뛰어난 기동성과 접근 용이성을 바탕으로, 복잡한 지형이나 쉽게 접근하기 어려운 지역에서도 위치를 결정하여 안테나 패턴을 반복적이고 정확하게 측정할 수 있다. 이러한 드론의 사용은 낮은 비행 고도로 환경적 영향을 최소화함과 동시에, 실시간 데이터 처리 및 분석을 통해 측정 과정의 효율성을 상당히 개선할 수 있습니다. 또한, 원역장에서의 측정을 통해 복잡한 계산 과정을 단순화할 수 있는 장점이 있습니다.

2장에서는 이러한 측정 방법의 절차와 세부 사항을 설명하며, 3장에서는 드론을 활용한 측정 시스템에 대해 소개한다. 마지막으로, 4장에서는 수집된 측정값을 분석하고, 이를 통해 얻어진 안테나 패턴의 특성을 무반사실이나 챔버에서 측정된 안테나 특성과 비교한다.

II. 기지국 안테나 패턴 측정

본 연구에서 드론을 이용한 안테나 패턴 측정 방법은 기존에 항공기나 헬리콥터 등을 통한 분석 방식^[18]에 비해 몇 가지 중요한 이점을 제공한다.

우선, 유인 항공기나 헬리콥터의 사용은 높은 비용과 전문적인 파일럿의 필요성으로 인해 복잡하며, 이에 반해 드론은 상대적으로 저렴한 비용으로 운영이 가능하고, 전문 파일럿 없이도 조종할 수 있는 편의성을 제공한다. 이러한 경제적 측면의 이점은 프로젝트의 총 비용을 대폭 줄이는데 기여한다.

드론은 뛰어난 기동성과 접근성을 통해 복잡한 지형이나 어렵게 접근 가능한 지역에서도 안테나 측정을 수

행할 수 있다. 위치 결정 시스템과 반복 측정의 용이성은 측정의 정확도와 재현성을 대폭 향상시킬 수 있으며, 실시간 데이터 처리 및 분석 능력은 측정 과정의 효율성을 증가시킨다. 또한, 드론의 낮은 비행 고도는 환경적 영향을 최소화하여 보다 정확한 측정 결과를 도출할 수 있게 한다.

이처럼 드론의 특성은 기존 방법들이 가진 제한을 극복하고, 기지국 안테나 패턴 측정의 정확도와 효율성을 획기적으로 개선할 수 있는 방법론을 제시한다. 따라서, 드론을 이용한 안테나 패턴 측정 방법은 비용 효율성, 기동성, 접근성, 정확도 및 효율성 측면에서 기존의 유인 항공기나 헬리콥터를 사용하는 방법에 비해 상당한 이점을 제공할 수 있다.

안테나 패턴 측정은 기본적으로 두 가지 값을 사용하여의 절대값을 계산할 수 있다. 이 때, 각 매개변수는 표 1에 명시되어 있다. 식 1은 해당 지점에서의 측정값을 바탕으로 값을 계산하는 공식이다. 드론 시스템을 통한 이러한 안테나 패턴 측정 방법은 기존 방법보다 더욱 정확하고 효율적인 측정을 가능하게 하며, 이를 통해 기지국 안테나의 실제 성능을 보다 정확하게 평가할 수 있게 된다.

$$P_{ERP} = \frac{P_{RX}R^2}{G_{RX}} \left(\frac{4\pi f}{c} \right)^2 \quad (1)$$

그림 1에서 보여주는 것처럼, 기지국 안테나 패턴 측정 방법의 첫 단계는 기지국을 중심으로 원형 비행 경로를 따라 가장 강한 신호 세기 방향을 파악하는 것이다. 이 과정에서 기지국 안테나까지의 고도와 거리를 보정하면서 송신 안테나 주위를 원을 그리며 비행하게 된다. 이후 원형 비행을 통해 안테나 패턴의 주빔 방향을 찾게 된다. 이는 전파 비행에 권장되는 측정 방향을 파악하기 위한 과정이다.

그림 2^[18]에서 보여주는 것처럼, 전파 직선 비행은 기지국에 드론이 다가가면서 반사의 진폭이 최소이며,

표 1. 식 1에 대한 매개변수
Table 1. Parameters for Equation 1

매개변수	정의
P_{ERP}	등방성 방사기에 대한 전력 [W]
P_{RX}	수신 전력 [W]
R	수신 안테나와 송신 안테나 사이의 거리 [m]
G_{RX}	등방성 방사기에 대한 안테나 이득 [dBi]
f	주파수 [Hz]
c	빛의 속도 [m/s]



그림 1. 드론 기지국 안테나 패턴 측정 방법
Fig. 1. Drone Base Station Antenna Pattern Measurement Method

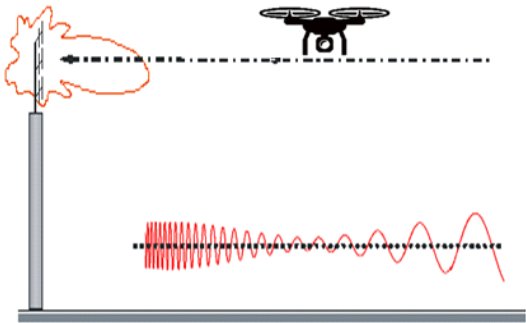


그림 2. 드론 전파 직선 비행
Fig. 2. Drone Propagation Straight Flight

최대값 및 최소값이 가장 가까운 거리를 최적 거리로 채택하는 과정이다. 이후, 이 최적 거리에서 그림 3, 4^[8]와 같이 안테나의 수직 및 수평 패턴을 측정한다.

전파 직선 비행 중 측정된 값은 일정하게 유지되지만, 지면반사나 건물 반사 등이 존재하면 해당 직선으로부터의 편차가 발생할 수 있습니다. 이 경우, 측정 오차는 가장 커지지만 측정 결과의 변동은 가장 적게 나타납니다.

이러한 방법론을 통해 실환경이 적용된 기지국 안테나의 실제 성능을 보다 정확하게 측정하고 평가할 수

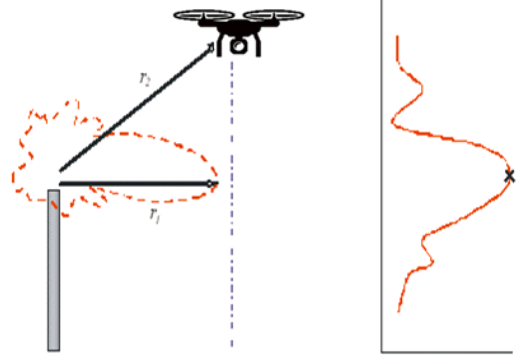


그림 3. 드론 전파 수직 비행
Fig. 3. Drone Propagation Vertical Flight

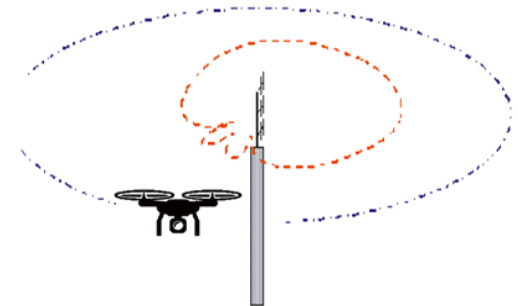


그림 4. 드론 전파 원형 비행
Fig. 4. Drone Propagation Circular Flight

있다. 이 과정은 기지국 안테나의 성능 향상과 효율적인 전파 자원 활용에 기여할 것이다.

III. 안테나 측정용 무인 항공 시스템

UAV 측정은 면허가 있는 조종사와 엔지니어가 요구되며, 적절한 기상 조건 및 비행 가능 지역에서 측정 가능하다. 하지만, 지상기반 측정시에 지형 및 클러터 효과를 방지하고, 헬리콥터 같은 항공기처럼 측정값을 신속하게 수집 가능하며, 헬리콥터 및 조종사보다 운영 비용이 저렴하다.

개발된 안테나 측정용 무인 항공 시스템 UASAM(Unmanned Aerial System for Antenna Measurement) 프로토 타입은 그림 5와 같은 하위시스템으로 구성된다.

UASAM 구성은 무인 멀티콥터(드론), 지상관제시스템(GCS, Ground Control System), 스펙트럼분석기, 측정 안테나로 크게 4가지로 구성되며, 세부 구성으로는 무인 멀티콥터의 추진 모터, FC(Flight Controller), 드론 제어 장치, GPS, 미니 PC, 배터리 등으로 구성되



그림 5. UASAM 프로토타입 - D'Air 800
Fig. 5. UASAM Prototype - D'Air 800

어 있다. 무인 멀티콥터 프레임은 (주디에어 사의 쿼드콥터인 D'Air 800 모델로, MTOW(Max Take off Weight)는 12kg이다.

FC 하위 시스템은 Holybro사의 Pixhawk 6X 보드로 Ardupilot을 기반으로 멀티콥터를 제어하며, FC 통신 장치 및 센서들은 대부분의 중소형 UAV에 탑재되는 장비들을 포함하고 있다. 이 센서들은 기압, 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)와 위성 항법 시스템(GNSS, GLONASS 등) 수신기이다.

기체에 부착되는 제어장치는 SIYI사에서 제작한 MK15 Air로 S.Bus와 5채널 PWM 출력을 지원하고 있으며, 중소형 UAV에서 주로 사용하는 MavLink 프로토콜 통신을 지원하고 있다. 제어장치는 UAV의 비행정보를 GCS(Ground Control System)로 송신하며, GCS에서 송신하는 제어 명령을 수신한다. UAV와 GCS간 통신은 2.4GHz와 5.8GHz 주파수 대역으로 구성하여 지상국과의 통신 간섭을 피하였다.

위치 결정 하위 시스템은 UAV에 장착된 하나의 GPS 안테나와 2개의 기압계 그리고 3개의 IMU 센서로

측정한 위치, 고도, 자세 정보 데이터를 GCS에 전달하여 실시간으로 확인할 수 있게 되어 있으며, 실시간으로 기록하여 어떻게 비행하였는지 확인할 수 있는 로그파일을 생성한다.

본 연구에서 사용되는 스펙트럼 분석기는 UAV의 비행을 위해 휴대용인 Tektronix사의 RSA 306B가 선택되었다. 측정을 위한 안테나로는 3.6dBi인 600MHz ~ 6GHz 대역 무지향성(Omni) 안테나가 선택하였다.^[19]

UAV 전방부는 측정 과정 중에 항상 대상 기지국 안테나를 정확하게 바라볼 수 있도록 설계되었다. 이는 스펙트럼 분석기가 대상 안테나로부터 방출되는 신호를 정확하게 포착하고 측정할 수 있도록 하기 위함이다. UAV의 비행 경로 및 자세 제어는 이러한 요구사항을 충족시키기 위해 세밀하게 조정되며, UAV의 위치 정보와 스펙트럼 분석기로부터 수집된 측정 데이터는 지상 제어 스테이션으로 전송된다. 전송된 데이터는 지상에서 안테나 진단을 수행하고, 방사 패턴을 도출하기 위해 후처리 과정을 거친다.

그림 6은 UASAM 프로토타입의 주요 구성 요소와 그들 간의 연결을 보여주는 도표를 간략하게 나타낸다.

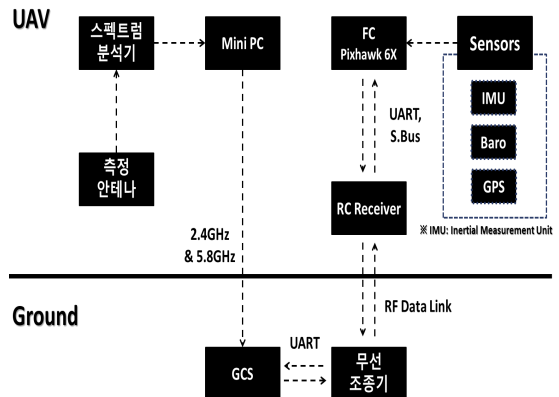


그림 6. UASAM 아키텍처 - D'Air 800
Fig. 6. Overview of UASAM Architecture - D'Air 800

IV. 드론을 이용한 기지국 안테나 패턴 측정

그림 7은 UASAM을 활용하여 실제 기지국 안테나 패턴을 측정하는 모습을 보여준다. 측정 기지국은 전남 나주시 삼도동 1054-29(위도 35.0260684, 경도 126.7337562)에 위치하는 SK 기지국을 타겟으로 하였다. 기지국 안테나의 높이는 15m이다.

2장에서 의 기지국 안테나 패턴 측정 방법에 따라 우



그림 7. UASAM을 이용한 기지국 안테나 패턴 측정
Fig. 7. Base Station Antenna Pattern Measurement using UASAM

선적으로 기지국과 드론 사이의 반지름 5m 원형 비행을 통해 얻은 데이터를 분석하여 그림 8과 같이 안테나

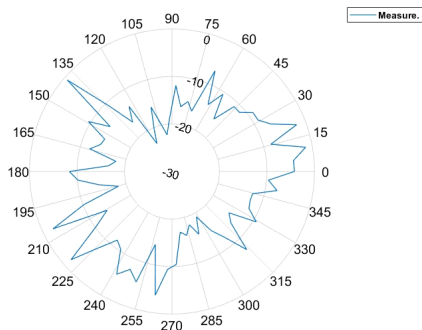


그림 8. 안테나 주빔 방향을 찾기 위한 안테나 원형 비행 측정값
Fig. 8. Antenna Circular Flight Measurements to Find Antenna Mainlobe Direction

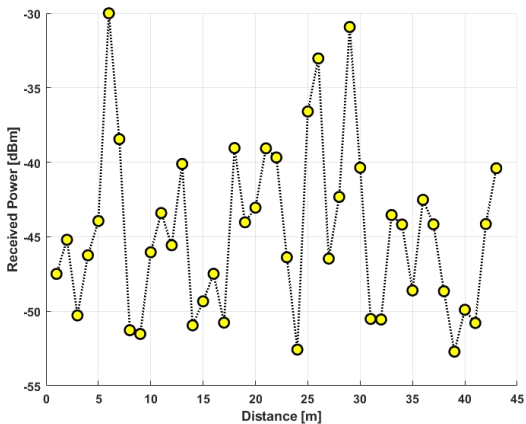


그림 9. 드론 전과 직선 비행 측정값
Fig. 9. Drone Propagation Straight Flight Measurements and Optimal Distance

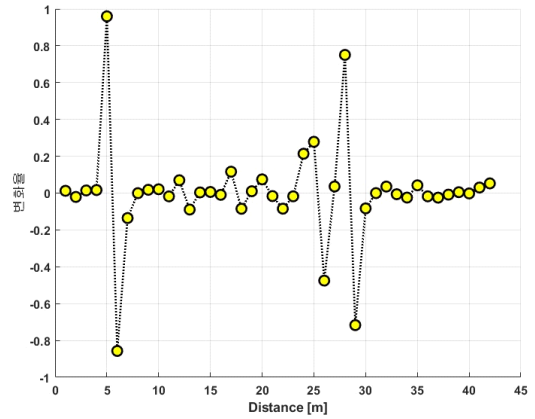


그림 10. 드론 전과 직선 비행 거리에 따른 수신전력 변화율
Fig. 10. Drone Propagation Rate of Change According to Straightline flight distance

패턴의 주빔 방향을 확인하였다. 주빔의 방향은 15° 및 240° 방향에서 형성됨을 확인할 수 있었다.

이에 따라 현장상황에서 15° 방향은 차도, 240도 방향은 논밭이 위치해 있기에 240° 방향에서 기지국과

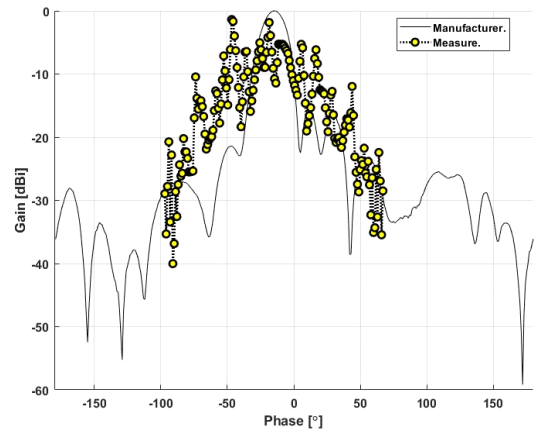
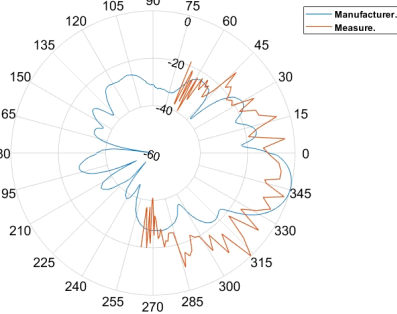


그림 11. UASAM 활용한 기지국 안테나 수직 패턴
Fig. 11. Base Station Antenna Vertical Pattern Using UASAM

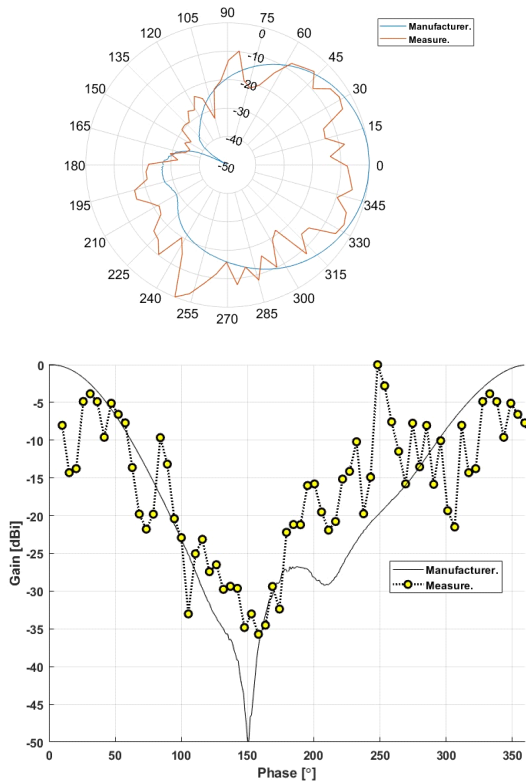


그림 12. UASAM 활용 기지국 안테나 수평 패턴
Fig. 12. Base Station Antenna Vertical Pattern Using UASAM

드론 사이의 거리 43m에서 기지국을 향하여 전파 직선 비행을 진행하여 각 거리에 따른 변화율은 그림 10과 같으며, 본 연구에서는 지리적 환경을 고려하여 최적 거리를 10m로 선택하였다.

이후, 최적 거리 10m에서 수평 및 수직 비행을 진행하였으며, 제조사에서 제공하는 무반사실이나 챔버에서 측정한 안테나 패턴과 비교시 그림 11 및 12와 같다.

수직 및 수평 패턴 모두 경향성은 비슷하게 나타나지만 지형 및 건물의 주변환경으로 인한 왜곡으로 원래의 형태와 동일하지 않음을 확인할 수 있다. 또한, 수직 패턴을 확인함으로써 육안으로 확인하기 힘든 기지국 안테나의 틸트 각도를 확인할 수 있었으며 해당 경우 15°의 다운틸트를 가짐을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 안테나 측정용 무인 항공 시스템 (UASAM)을 이용한 안테나 패턴 측정 방법을 제안하고, 그 유효성을 입증함으로써, 기존의 유인 항공기나

헬리콥터를 사용한 방법들과 비교해 뚜렷한 장점을 드러냈다. 이 연구에서 소개된 방법론은 무인 멀티콥터, 지상 관제 시스템, 스펙트럼 분석기, 그리고 측정용 안테나를 포함하여, 실제 환경에서 기지국 안테나 패턴의 측정을 가능하게 설계하였다. 이 방법은 기존 방식 대비 효율성과 실제 환경 반영 면에서 우수한 성능을 보임을 확인시켰다.

본 연구는 특히, 주변 환경이 측정 데이터에 미치는 영향을 분석하고 이해하는데 중점을 두었다. 주변 지형이나 건물 등의 영향으로 발생하는 데이터 왜곡을 분석하여 실제 환경에서 안테나 성능 평가의 정확도를 높였다. 이러한 분석을 통해 무반사실이나 챔버에서의 측정만으로는 도달할 수 없는, 실제 운영 환경에서의 안테나 성능에 관한 정보를 제공한다.

이 연구의 방법론은 주변 환경을 고려한 안테나 성능의 정확한 평가에 필수적인 기초 자료를 제공한다. 이러한 연구 결과는 방송국 안테나 패턴 분석, 간섭 분석, 커버리지 분석 등 다양한 응용 분야에 있어 활용될 수 있는 새로운 가능성을 열어준다. 이는 기지국 안테나 성능 평가 및 서비스 품질 향상에 있어 중요한 기여를 할 것으로 예상된다.

그럼에도 불구하고, 이 연구는 다양한 환경 조건과 복잡한 지형에서의 측정 정확도를 높이기 위한 추가 연구가 필요하다는 한계를 가진다. 향후 연구는 이러한 한계를 극복하고, 측정 방법의 범용성과 신뢰성을 더욱 강화하기 위한 방안을 모색해야 할 것이다.

References

- [1] M. Llorc, et al., "Initial evaluation of SAR capabilities in UAV multicopter platforms," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, pp. 127-140, 2018. (<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2752418>)
- [2] S. Jordan, et al., "State-of-the-art technologies for UAV inspections," *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 12, pp. 151-164, 2018. (<https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2017.0251>)
- [3] A. M. Cunliffe, R. E. Brazier, and K. Anderson, "Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure from motion photogrammetry," *Remote Sens. Environ.*, vol. 183, pp. 129-143, 2016. (<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.019>)

- [4] M. G. Fernandez, et al., "Synthetic aperture radar imaging system for landmine detection using a ground penetrating radar on board an unmanned aerial vehicle," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2169-3536, 2018. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2863572>)
- [5] F. Paonessa, G. Virone, G. Addamo, O. A. Peverini, R. Tascone, P. Bolli, E. de L. Acedo, E. Colin-Beltran, N. Razavi-Ghods, G. Pupillo, G. Naldi, J. Monari, A. M. Lingua, M. Ppiras, I. Aicardi, and P. Maschio, "UAV-based pattern measurement of the SKALA," *IEEE APSURSI*, pp. 1-2, Vancouver, Canada, Jul. 2015. (<https://doi.org/10.1109/APS.2015.7305075>)
- [6] T. Schrader, J. Bredemeyer, M. Mihalachi, J. ROHROH, and T. Kleine-Ostmann, "Concept and desing of a UAS-based platform for measurements of RF signal-in-space," *Advances in Radio Sci.*, vol. 14, pp. 1-9, 2016. (<https://doi.org/10.5194/ars-14-1-2016>)
- [7] E. Teng, J. D. Falcao, C. R. Dominguez, F. Mokaya, P. Zhang, and B. Iannucci, "Aerial sensing and characterization of three-dimensional RF fields," in *Second Int. Wkshp. Robotic Sensor Netw.*, pp. 1-6, Seattle, USA, Apr. 2015. (<https://doi.org/10.5194/ars-14-1-2016>)
- [8] N. Ha, J. An, and W. Shin, "New key features of UAV-enabled cellular networks: UAV channel modeling and trajectory optimization," *J. KICS*, pp. 1493-1507, Sep. 2020. (<https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.9.1493>)
- [9] M. Garcia-Fernandez, "Antenna diagnostic and characterization using unmanned aerial vehicles," *IEEE Access*, no. 5, pp. 23563-23575, Sep. 2017. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2754985>)
- [10] M. Garcia-Fernandez, "Unmanned aerial system for antenna measurement and diagnosis evaluation and testing," *IET Microwave, Antenna & Propagation*, vol. 13, pp. 2224-2231, Jun. 2019. (<https://doi.org/10.1049/iet-map.2018.6167>)
- [11] M. Garcia-Fernandez, "Dual probe near-field phaseless antenna measurement system on board a UAV," vol. 19, Aug. 2019. (<https://doi.org/10.3390/s19214663>)
- [12] M. Garcia-Fernandez, "Evaluation of an unmanned aerial system for antenna diagnostics and characterization," *EuCap 2018*, Apr. 2018. (<https://doi.org/10.1049/cp.2018.0899>)
- [13] M. Garcia-Fernandez "On the use of unmanned aerial vehicles for antenna and coverage diagnostics in mobile networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, pp. 72-78, Jul. 2018. (<https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700991>)
- [14] P. Bolli, "Antenna pattern characterization of the low-frequency receptor of LOFAR by means of an UAV-mounted artificial test source," *SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation*, Jul. 2016. (<https://doi.org/10.1117/12.2232419>)
- [15] G. Virone, "Antenna pattern verification system based on a micro unmanned aerial vehicle(UAV)," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol. 13, pp. 169-172, Jan. 2014. (<https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2298250>)
- [16] T. Fritzel, R. Strauss, H.-J. Steiner, C. Eisner, and T. Eibert, "Introduction into an UAV-based near-field system for in-situ and large-scale antenna measurements," in *IEEE CAMA*, pp. 1-3, Syracuse, USA, Oct. 2016. (<https://doi.org/10.1109/CAMA.2016.7815762>)
- [17] F. Paonessa, G. Virone, P. Bolli, and A. M. Lingua, "UAV-based antenna measurements: Scan strategies," in *2017 11th EUCAP*, pp. 1303-1305, Paris, France, Mar. 2017. (<https://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928721>)
- [18] ITU-R SM. 2056-1, "Airbone verification of antenna patterns of broadcasting stations," 06, 2014.
- [19] 600MHz ~ 6GHz 광대역 안테나, https://www.antenna-pro.com/product/detail.html?product_no=2383&cate_no=120&display_group=1

윤 석 (Seok Yoon)



2016년 2월: 전남대학교 전자
컴퓨터공학과 학사
2018년 2월: 전남대학교 전자
공학과 석사
2022년 8월: 전남대학교 전자
공학과 박사
2022년 7월~현재: 미래전파공
학연구소(IFRE) 선임연구원

<관심분야> 전자기학, 전파공학, 초고주파공학, 안
테나공학

[ORCID:0000-0002-5319-1133]

안 준 오 (Jun-Oh An)



1993년 2월: 경희대학교 전자
공학과 졸업
1995년 2월: 경희대학교 전자
공학과 석사
2007년 2월: 경희대학교 전파
공학과 박사
1995년 2월~1998년 12월: (주)
포스코이앤씨 대리

2001년 3월~2010년 2월: 한국전파진흥협회 부장
2010년 3월~현재: 미래전파공학연구소(IFRE) 소장
<관심분야> 전파공학, 스펙트럼엔지니어링, 전자파
인체영향(EMF)

[ORCID:0000-0003-3640-9062]

김 태 홍 (Tae-Hong Kim)



1997년 2월: 전남대학교 전자
공학과 졸업
1999년 2월: 전남대학교 전자
공학과 석사
2005년 2월: 전남대학교 전자
공학과 박사
2016년~현재: 미래전파공학연
구소(IFRE) 책임연구원

<관심분야> 전자공학, 초고주파, 전파 전달

[ORCID:0000-0002-9065-1645]