

## 드론을 이용한 무선국 안테나 방사패턴 측정

## Measurement of Radiation Pattern of Radio Station Using a UAV

박희준 · 석재호 · 최장석 · 배현지

Heejun Park · Jaeho Seok · Jangsuk Choi · Hyunji Bae

### 요 약

드론은 비행안정성, 항법기능 등의 요소기술이 발전함에 따라 미래 핵심 성장동력으로 주목받으며 산업에서의 그 활용범위가 확대되고 있다. 전파분야에서도 측정장비의 소형화 기술 등과 맞물려 스펙트럼 관리를 비롯한 여러 가지 분야에 드론을 활용하려는 연구들이 시도되고 있다. 한편, 국립전파연구원은 한정된 전파자원을 효율적으로 이용하기 위한 연구를 지속하고 있으며 무인이동체와 같은 기술환경 변화에 따라 전파연구 업무를 비롯한 전파측정 분야에 드론을 활용하는 응용기술을 연구하였다. 이에 따라 본 논문에서는 전파 간섭분석을 강화하는 방법으로서 드론을 이용하여 높은 첩탑에 설치된 무선국 안테나의 방사패턴을 측정한 과정과 그 결과를 설명한다. 전파측정 드론 시스템을 구성하여 공중 전파측정 시나리오를 설계하였으며 실제 운용중인 DTV방송국에 대해 수직과 수평 방사패턴 측정을 실행하고 데이터를 확보하였다.

### Abstract

With the development of core technologies such as flight stability and navigation systems, drones are gaining attention as key growth drivers for the future, leading to an expanding area of applications in various industries. In the field of radio waves, research efforts are being made to use drones in multiple areas, including spectrum management, in conjunction with the miniaturization of measurement equipment. Meanwhile, the National Radio Research Agency is conducting research to efficiently utilize limited radio resources and has studied application technologies that use drones in radio measurement, including radio research tasks, in response to changes in the technological environment, such as unmanned aerial vehicles (UAV). Accordingly, this study describes the process and results of measuring the radiation patterns of antennas installed on high towers using a UAV to enhance radio interference analysis. A radio measurement UAV system was configured, and an aerial radio measurement scenario was designed. Vertical and horizontal radiation pattern measurements were performed on an actual operating digital television (DTV) broadcasting station, and data were collected.

Key words: UAV, Drone, Interference Analysis, Radio Station, Antenna

### I. 서 론

무인항공기는 정보통신을 비롯한 4차산업 기술의 비약

적인 발전과 함께 기존 군사목적의 응용범위를 벗어나 인간 활동의 물리적 한계를 넘어선 작업을 수행하거나 낮은 비용으로 직무를 수행할 수 있도록 변화하고 있다.

□

과학기술정보통신부 국립전파연구원(National Radio Research Agency, Ministry of Science and ICT)

· Manuscript received July 10, 2023 ; Revised August 1, 2023 ; Accepted September 5, 2023. (ID No. 20230710-003S)

· Corresponding Author: Heejun Park (e-mail: [alphome@korea.kr](mailto:alphome@korea.kr))

이 가운데 드론은 무인이동체라는 방대한 범위 중 일부의 분류범위를 지칭하는 단어이기도 하지만, 전기·전자, 에너지, 소프트웨어 등의 4차산업 기술들이 집약되어 최첨단 응용기술로서 활용되는 무인항공기의 대명사로도 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 어떠한 응용에서도 전파를 사용해야 하는 드론의 기술 특성상 드론과 전파 사이의 상관관계를 규명하기 위한 연구들이 수행되고 있다. 최근 국내에서는 드론의 탐지, 식별, 무력화 기술에 관한 연구가 많이 알려지고 있으며, 이와 관련하여 드론의 RF 통신신호에서 기존 스펙트럼 분석만으로 확인할 수 없는 과도 신호 특성을 단시간 푸리에 변환을 통해 시간-주파수 신호를 측정하는 방법이 제안되기도 하였다<sup>[2]~[5]</sup>. 한편 국외에서는 드론을 이용하여 지상 무선국을 가정한 *S-band* 안테나의 *near-field* 패턴을 측정하여 *far-field*를 획득하는 연구가 발표되기도 하였다<sup>[6]</sup>.

한편, 전파방송통신 서비스는 수요의 증가를 거듭하고 있으며 그 수요에 대응하기 위해 한정된 전파자원을 효율적으로 사용하기 위한 노력이 지속되고 있다<sup>[7][8]</sup>. 그중 전파의 간섭분석은 전파자원을 효율적으로 이용하는 데 핵심적인 역할을 하며 간섭분석이 정확할수록 그 효율은 극대화되고, 반대로 간섭분석이 정확하지 않으면 전파자원을 낭비하는 결과를 초래한다. 간섭분석은 무선국의 안테나 형식, 구성, 이득, 복사방향 등 무선국 제원 정보를 바탕으로 분석이 수행되므로 신뢰도 높은 간섭분석 결과를 얻기 위해서는 정확한 제원 정보가 필수적이다. 이를 포함하는 정보인 무선국 안테나의 방사패턴을 측정을 통해 검증할 수 있겠으나, 철탑, 건물 등과 같이 높은 지형에 설치된 안테나의 방사패턴을 현장에서 직접 측정하는 것은 매우 어려운 작업이다<sup>[9]</sup>.

본 논문에서는 이러한 제약을 극복하기 위한 방법으로 드론을 이용한 무선국 안테나의 방사패턴 측정방법을 소개한다. 높은 위치에 설치된 안테나의 전파를 측정하기 위한 전파측정 드론 시스템을 구성하였으며 적절한 측정 시나리오를 설계하고 이를 실제 운용 중인 DTV무선국에 대해 실행하여 데이터를 획득하였다.

## II. 측정시스템

전파측정 드론 시스템은 그림 1 및 그림 2에 나타난 것

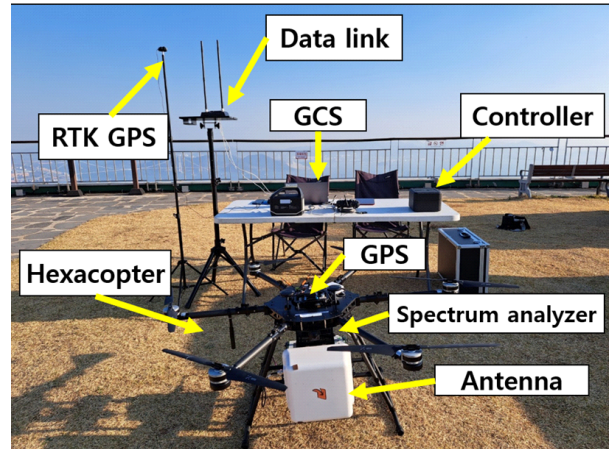


그림 1. 전파측정 드론 시스템 구성

Fig. 1. Configuration of radio measurement UAV system.

과 같이 드론 시스템, 신호분석기, 측정안테나로 구성되어 있다. 드론 시스템은 드론 기체와 지상관제시스템(GCS: ground control system)으로 이루어진다. 드론 기체로는 국내기업에서 개발한 6개의 프로펠러를 가지는 hexacopter를 사용하였으며, 작동에는 25,000 mAh 용량을 가지는 Li-Po 배터리 2개가 장착된다. 프로펠러를 모두 펼친 상태에서 크기는 1,300×1300×650 mm이고, 최대 이륙 중량은 18.2 kg이며, 임무장비를 제외한 기체 자체무게는 13.1 kg이다. 드론 비행을 통한 전파측정 시 공중에서의 정밀한 위치제어가 요구되므로 추가 측위기인 RTK(real time kinematic) GPS를 사용하였다. 드론 자체의 단일 GPS만을 사용하는 경우 드론의 위치오차는 수 m~수십 m이지만, RTK GPS를 이용하는 경우 위치 오차는 수십 cm~수 m 이내로 작아져 위치제어 해상도를 더 높일 수 있다<sup>[10]</sup>. 한편 GCS는 그림 3에 나타난 것과 같이 드론의 비행 상태 모니터링뿐만 아니라, 사용자로부터 입력된 미션을 따라 이륙, 이동, 착륙 등 일련의 비행을 자동으로 수행하는 기능 및 실시간 신호분석기 모니터링 기능을 제공한다.

임무장비인 신호분석기는 무게가 3.1 kg, 크기는 315×211×77 mm인 포터블 신호분석기를 탑재하였다. 9 kHz~7.1 GHz의 동작 주파수와 95 dB의 동적범위(dynamic range) 성능을 가졌다. 신호분석기는 내장 배터리로 자체 전원을 사용하며 PC를 통해 원격으로 신호분석기 설정을 제어하거나 트레이스 화면 등을 획득할 수 있는 어플리

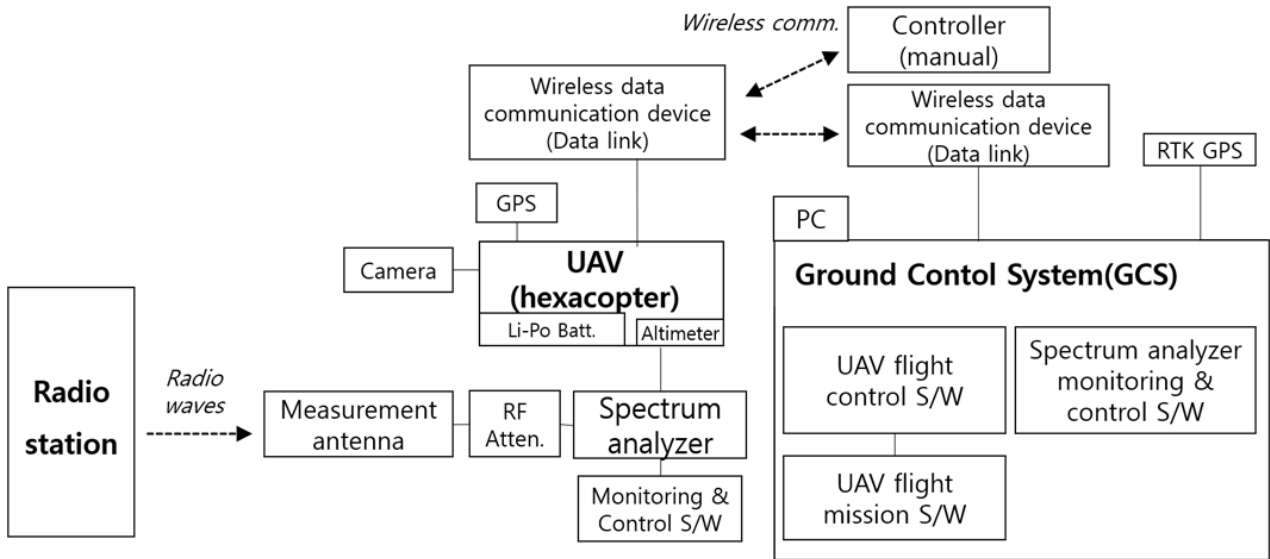


그림 2. 측정시스템 상세 구성 블록도

Fig. 2. Block diagram of radio measurement UAV system configuration for detail.

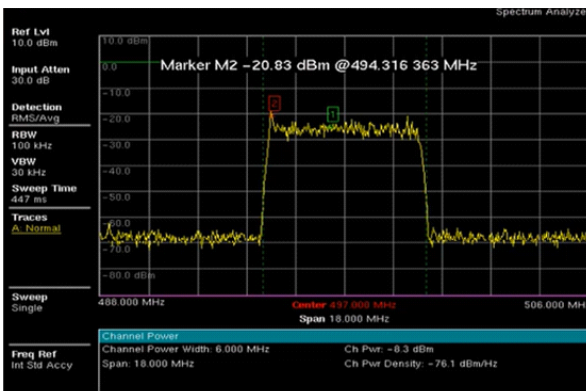
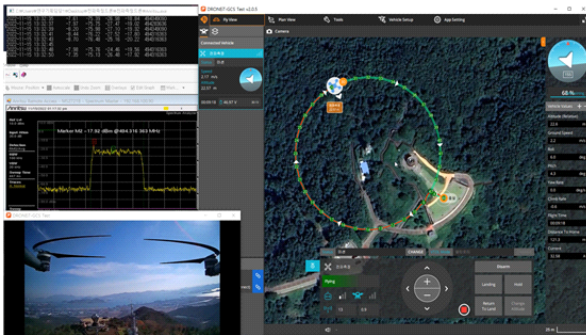


그림 3. 전파측정 드론 시스템 지상관제시스템 화면

Fig. 3. GCS of radio measurement UAV system.

케이션을 제공한다. 신호분석기는 드론의 무게중심을 고려하여 기체 하부에 설치공간을 만들어 장착하였다.

드론에 탑재한 측정안테나는 지향성 안테나로, 무게는 1.3 kg, 크기는 300×300×130 mm이며 470~698 MHz 동작 주파수와, 8 dBi의 이득, 75°의 빔폭을 가지는 안테나이다. 측정안테나는 드론 전면 중앙에 설치하였으며 편파 조정, 안테나 교체 등이 쉽도록 별도의 브라켓을 제작하여 체결하였다. 따라서 무선국 안테나가 선형 편파인 경우 측정안테나의 설치 방향을 수직·수평으로 수정하여 측정할 수 있고, 원형편파인 경우 측정안테나 단을 원형 편파 안테나로 교체 설치함으로써 대응할 수 있다.

탑재할 측정안테나를 선택할 때는 측정목적에 따라 형상, 특성 등을 종합적으로 고려하여 선택하여야 한다. 측정하고자 하는 주파수 대역이 비교적 낮은 경우 안테나 크기가 커져 한정된 탑재공간에 배치가 어려울 수 있으며 안테나의 면적, 길이 등의 형상이 지나치게 불균형한 경우 공기저항으로 인해 드론의 자세 제어에 부담이 생길 수 있다<sup>[11]</sup>. 또한 안테나의 무게는 가벼운 것으로 선택해야 비행시간 단축을 줄이고 측정임무를 효과적으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 배터리 사용 효율을 증가시켜 배터리 수명 등 장비의 유지·보수 비용도 줄일 수 있다.

### Ⅲ. 무선국 안테나 방사패턴 측정

#### 3-1 무선국 안테나 방사패턴 측정 개요

본 논문에서 소개되는 무선국 안테나 방사패턴 측정시험은 전라남도 광양시 구봉산전망대에 위치한 광양DTV 방송보조국을 대상으로 수행되었다. 광양DTV방송보조국은 3개 채널의 DTV 무선국이 운용되고 있으며 각각 497 MHz, 587 MHz, 605 MHz 중심 주파수에서 6 MHz 대역폭으로 송신하고 있다. 본 장에서는 DTV무선국 안테나에 대해 수직 방사패턴과 수평 방사패턴을 측정한 일련의 과정과 결과를 설명한다.

#### 3-2 수직 방사패턴 측정

수직 방사패턴은 그림 4에 나타난 것과 같이 측정하고자 하는 무선국 안테나에 대해 드론 비행고도에 따른 채널파워를 측정함으로써 획득할 수 있다<sup>[12]</sup>. 그러나 무선국의 채널파워는 시간에 따라 변동하므로 순간적인 측정값을 이용하기보다 식 (1)에 표현한 것과 같이 채널파워를 반복 측정하여 이를 평균한 값을 사용하는 것이 좋다.

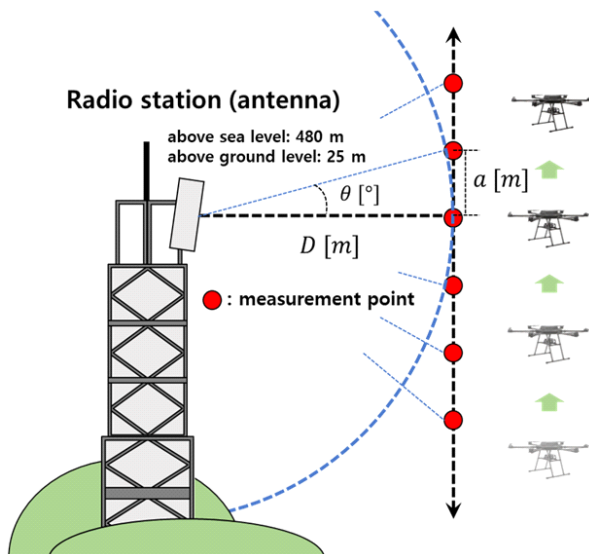


그림 4. 수직 방사패턴 측정 시나리오

Fig. 4. Concept of vertical pattern measurement using the UAV.

$$Channel\ power_{representative} = \frac{\sum_{n=1}^N (Channel\ power_{instantaneous})}{N} \quad (1)$$

이에 따라 본 측정에서 방사패턴으로 도시될 값들은 드론이 매 고도지점마다 호버링 상태에서 30초 동안 채널파워를 측정한 후 각 지점에서 측정한 채널파워값들의 평균을 취하는 방법으로 처리하였다.

측정비행을 실행하기에 앞서 안전한 시험과 비행계획 수립에 필요한 정보를 얻기 위한 사전비행 작업이 필요하다. 사전비행에서는 장애물 등의 위험요소를 점검하여 안전한 비행경로를 확보하여야 하며 무선국 안테나 평행 고도 및 측정구역에서의 수신레벨 스케일을 확인하여야 한다. 드론의 비행지속시간은 배터리를 완전히 소모하지 않고 여유가 있게 계획하여 20분 미만에서 1회 비행의 임무를 완료하도록 고려하였다. 무선국 안테나 평행고도는 드론이 지상으로부터 비행했을 때 무선국 안테나와 드론의 측정안테나가 평행 선상에 놓이는 드론의 고도를 의미하며, 그 고도를 알아야 측정데이터로부터 알맞은 고도각으로 방사패턴을 도시할 수 있다. 무선국 안테나의 평행고도는 드론에 탑재한 카메라를 통해 확인할 수 있으며 고도확인 비행 시, 드론이 첩탐에 너무 근접하면 충돌 사고의 위험이 있고, 반대로 너무 멀어지면 드론의 고도를 변화시켜도 안테나와의 수평 높이 차이가 충분히 식별되지 않는 문제가 발생할 수 있으므로 조종자가 충돌로부터 긴급회피기동을 할 수 있을 범위에서 가까이 근접해 확인하여야 한다. 본 측정시험에서는 드론을 첩탐과 10~20 m 떨어진 수평거리에서 비행시켜 무선국 안테나와 평행이 되는 고도를 확인하였다. 한편, 측정구역에서의 수신레벨 스케일 확인은 무선국의 출력으로부터 측정장비를 보호하기 위해 필요하다. 측정하려는 무선국 출력에 따라 신호분석기에 감쇠기를 부착하여야 하는데, 사전비행에서 신호분석기에 나타나는 수신전력 범위를 파악하면 보다 적절한 감쇠기를 선택할 수 있다. 이때 무선국 제원으로부터 예상하는 요구 감쇠기보다 높은 감쇠기를 부착하여 사전비행을 실행하는 것이 좋다.

사전비행 완료 후 비행미션 계획 수립을 위해 그림 4에 나타난 것과 같이 드론이 첩탐으로부터 이격하여 위치할 수평거리( $D$ )를 결정하여야 한다. 이 수평거리는 얻고자



하는 방사패턴 각도 간격( $\theta$ )과 드론 시스템이 가지는 고도 조정 간격( $a$ )를 고려하여 결정할 수 있다. 예를 들어, 측정하고자 하는 방사패턴의 각도 간격이  $0.5^\circ$  간격이고 드론 시스템의 고도조정 간격이  $0.5$  m라면, 무선국 안테나로부터 수평거리가 약  $57.3$  m이거나 그 배가 되는 위치에서 수직경로로 측정 시 목표한 방사패턴 각도 간격을 작은 오차 범위 내에 맞춰 측정할 수 있다.

측정을 실행하기 위한 설정들이 모두 결정되면 드론의 비행미션을 GCS에 입력하여 측정을 수행한다. 드론은 GCS 소프트웨어를 통해 자동으로 비행을 수행하나, 안전을 위해 비행 시스템 관제자와 비상제어를 위한 수동 조종사로 최소 2인 이상이 수행하여야 한다.

측정이 완료되면 데이터를 방사패턴으로 도시하기 위한 후처리 작업을 수행한다. 측정된 데이터는 각 고도지점마다 일정 시간 동안 주기적으로 기록된 채널파워이므로 채널파워를 고도별로 적절히 분류하여 평균값을 취하고 그 값을 해당 고도의 대푯값으로 지정한다. 또한 방사패턴은 무선국 안테나를 중심으로 반경이 일정한 호의 경로를 따라 도시되어야 하므로, 그림 4에 나타난 바와 같이 측정한 직선 경로에 접하는 호의 경로를 가정하고 각 측정 각도에 해당하는 거리차이를 자유공간 손실값으로 산출하여 보정하여야 한다.

그림 5는 계획한 시나리오를 실행하여 드론이 방사패턴을 측정하는 장면을 나타낸 사진이며 그림 6은 DTV무



그림 5. 드론을 이용한 무선국 방사패턴 측정  
Fig. 5. Measurement of radio station antenna pattern.

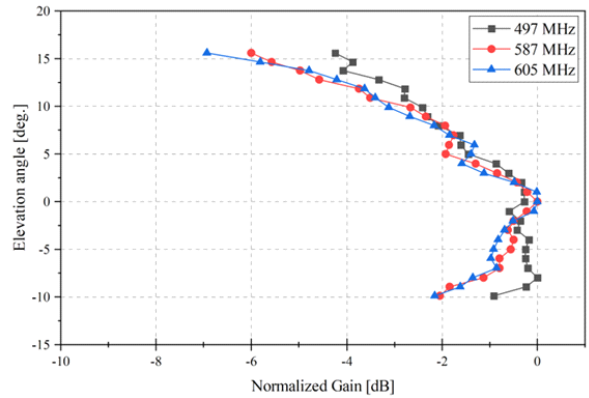


그림 6. 주파수별 수직 방사패턴 측정결과  
Fig. 6. Measured vertical radiation patterns.

선국에 대해 드론으로 수직방사 패턴을 측정한 결과를 나타낸 그림이다. 측정 위치는 무선국 철탑에서 정북방향  $57.3$  m이며  $1^\circ$  간격으로  $-10^\circ$ 에서  $+16^\circ$ 까지  $26^\circ$  범위를 측정하였다. 주파수  $497$  MHz,  $587$  MHz,  $605$  MHz에서  $6$  MHz 대역폭을 측정하였으며 직선-호 경로 거리손실 보정을 적용한 결과이다. 등록된 무선국 제원에 따르면 3개 채널 모두 같은 안테나 제원이며 측정한 결과에서도 서로 유사한 패턴이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.3 수평 방사패턴 측정

수평 방사패턴은 그림 7에 나타낸 것과 같이 측정하고

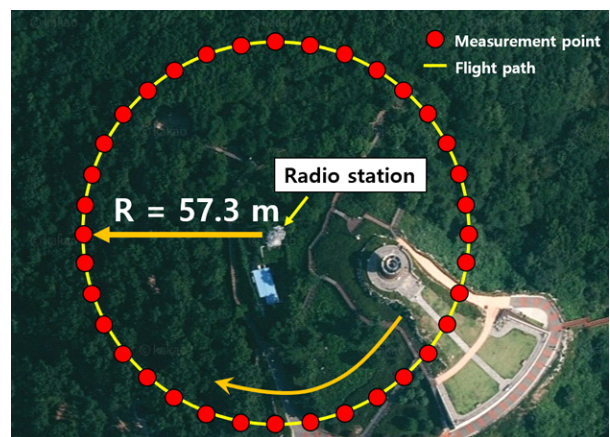


그림 7. 수평 방사패턴 측정 시나리오  
Fig. 7. Concept of horizontal pattern measurement using the UAV.

자 하는 무선국을 중심으로 일정반경의 원 경로를 따라 채널파워를 측정함으로써 획득할 수 있다. 드론은 그림 7에 나타난 각 측정위치마다 호버링 상태에서 20초 동안 채널파워를 측정한다. 수평 방사패턴 측정의 경우 수직 측정의 경우보다 더 많은 지점의 측정이 요구되어 제한된 20분 미만의 비행지속시간을 만족하기 위해 지점당 측정시간을 감소시켰다. 무선국으로부터의 수평거리는 분석의 편의를 위해 수직 방사패턴 측정의 경우와 같은 57.3 m로 정하고, 비행고도는 무선국 안테나와 같은 높이로 정하였다. 측정안테나가 드론의 전면부에 장착되어 있으므로 매 측정위치에서 드론의 전면부는 무선국 위치인 원 경로의 중심 방향으로 조정되어야 한다. 이에 따라 GCS에 입력되는 비행 프로그램은 매 측정위치에서 측정안테나가 무선국 방향을 바라보도록 기체 전면을 원 경로의 중심방향으로 자동으로 조절한다.

수평 방사패턴에서도 마찬가지로 수직 방사패턴 측정에서 설명한 사전비행을 수행하여 장애물 충돌 위험이 없는 비행반경, 비행 고도, 측정범위, 간격 등 비행미션 계획을 수립한다. 또한 수평 방사패턴 측정 시 수직 방사패턴 측정의 경우보다 수신전력의 최대-최소값 차이가 더 크게 나타나므로 외부 감쇠기 선택에 더욱 주의를 기울여야 한다.

그림 8은 DTV무선국에 대해 드론으로 측정한 수평방사 패턴결과를 나타낸다. 방사 방향을 직관적으로 나타내

기 위해 위성지도상에 결과를 표시하였다. 주파수 497 MHz, 587 MHz, 605 MHz에서 6 MHz 대역폭을 측정하였으며 무선국 안테나와 평행한 고도에서 360° 범위를 10° 간격으로 측정하였다. 세 주파수 모두 주 방사 방향은 북서 310° 방향으로 지향하는 방향이 등록된 제원과 일치하였다. 또한 안테나 전후방비는 약 27 dB인 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

정확한 간섭분석을 위해서는 정확한 무선국 방사패턴 정보가 필요하지만 철탑과 같이 고지대 설치된 무선국 안테나는 물리적 제약으로 인해 현장에서 그 방사패턴을 측정하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 물리적 제약을 극복하고 무선국이 있는 현장에서 측정을 통해 방사패턴을 획득하는 방법으로서 드론을 이용한 공중 전파 방사 패턴 측정을 시도하였다. 신호분석기와 측정안테나를 임부장비로 탑재한 드론과 측정수행에 필요한 비행임무를 자동화하는 소프트웨어를 포함하여 전파측정 드론시스템을 구축하였고 수직 및 수평 방사패턴 획득을 위한 측정 시나리오 수립 등 방안을 모색하였으며, 수립한 측정 시나리오를 실제 운용 중인 DTV무선국 현장에서 실행하여 방사패턴 데이터를 확보하였다. 향후 측정시스템 개선과 데이터의 신뢰성 검증을 통해 측정의 안정성이 충분히 확보된다면 간섭분석의 신뢰성을 높일 뿐만 아니라 무선국 검사, 무선국 조정 등 다양한 업무에 편리하고 효과적인 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

#### References

- [1] Ministry of Science and ICT, "Unmanned vehicle technology roadmap," 2018. Available: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=65&nttSeqNo=1373988>
- [2] J. H. Choi, K. B. Kang, S. G. Sun, J. S. Lee, B. L. Cho, and K. T. Kim, "Efficient detection of small unmanned aerial vehicles in cluttered environment," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 5, pp. 389-398, May 2019.

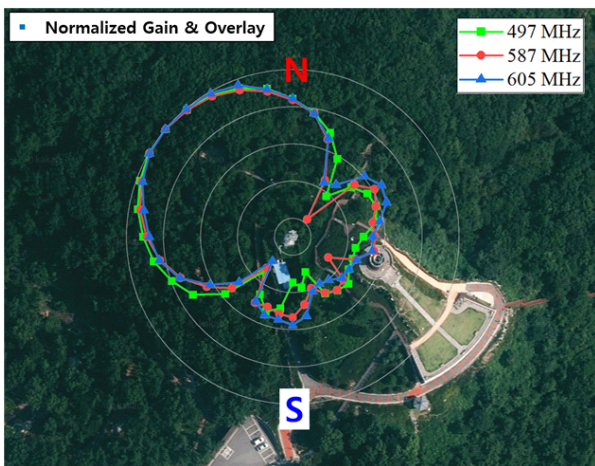


그림 8. 주파수별 수평 방사패턴 측정결과(위성지도 표시)  
Fig. 8. Measured horizontal radiation patterns.

- [3] J. Shin, S. Shin, S. Ko, K. Kang, and S. Hwang, "A survey on identification technology of low-altitude small drones and suggestion of an identification system," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 18-25, May 2020.
- [4] H. Kang, "Trend of anti-drone system in Korea," *The Proceedings of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 2, pp. 28-31, Mar. 2021.
- [5] S. G. Kim, Y. H. Noh, I. P. Hong, and J. G. Yook, "Stepwise RF measurement method for the analysis of drone's communication signals," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 370-376, Apr. 2021.
- [6] M. García-Fernández, Y. Álvarez López, A. Arboleya, B. González-Valdés, Y. Rodríguez-Vaqueiro, and M. E. D. C. Gómez, et al., "Antenna diagnostics and characterization using unmanned aerial vehicles," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 23563-23575, Sep. 2017.
- [7] Cisco Systems, "Cisco annual Internet report(2018-2023)," 2020. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- [8] H. Park, G. Choi, J. Choi, J. Park, and M. Je, "Measurement of clutter loss on slant path using a UAV," in *2021 KIEES Summer Conference*, Jeju, Aug. 2021, p. 582.
- [9] H. D. Park, S. Lim, and D. J. Kim, "Measurement of vertical-directional DTV signal level using a multi-copter," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 372-384, May 2014.
- [10] F. Fuschini, M. Barbiroli, E. M. Vitucci, V. Semkin, C. Oestges, and B. Strano, et al., "An UAV-based experimental setup for propagation characterization in urban environment," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1-11, Aug. 2021.
- [11] M. M. H. Mahfuz, C. W. Park, "Review of patch antennas used in drone applications," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 58367-58388, Jun. 2023.
- [12] *Airborne Verification of Antenna Patterns of Broadcasting Stations*, ITU-R SM.2056-1, Jun. 2014.

박 희 준 [국립전파연구원/공업연구사]

<https://orcid.org/0009-0008-3976-5824>



2017년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사)

2019년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2020년 1월~현재: 과학기술정보통신부 국립전파연구원 공업연구사

[주 관심분야] 전파자원 발굴, 밀리미터파

/테라헤르츠 전파전달 특성

석 재 호 [국립전파연구원/공업연구관]

<https://orcid.org/0009-0006-1051-2722>



1989년 2월: 경희대학교 우주과학과 (이학사)

2007년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1998년 8월~현재: 과학기술정보통신부 국립전파연구원 공업연구관

[주 관심분야] 전파자원 발굴, 전파전달 특성

최 장 석 [국립전파연구원/공업연구사]

<https://orcid.org/0009-0003-6259-6495>



1997년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)

1999년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)

2014년 12월: 현대전자, 팬택 이동통신 단말기연구소

2015년 1월: 국립전파연구원 우주전파센터

터

2019년 11월~현재: 과학기술정보통신부 국립전파연구원 공업연구사

[주 관심분야] 5G/6G 전파 채널모델링, 밀리미터파/테라헤르츠 대역 전파연구, 우주전파환경 관측기술 연구

배 현 지 [국립전파연구원/방송통신주사보]

<https://orcid.org/0009-0000-4041-8047>



2019년 2월: 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)

2022년 3월~현재: 과학기술정보통신부 국립전파연구원 방송통신주사보

[주 관심분야] 무인항공기, 테라헤르츠 전파전달 특성