

발 간 등 록 번 호

11-1721137-100021-01

드론이용 지상파방송 TV 송신 안테나 ERP/지향특성 측정표준(안) 마련 연구

2025. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

드론이용 지상파방송 TV 송신안테나 ERP/지향특성 측정표준(안) 마련 연구

2025. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「전파자원 기술기준 선도 기반 조성에 관한 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2025. 12. 10.

연구책임자 : 장 건 호(한국전파진흥협회)

연구원 : 민 석 환(한국전파진흥협회)

고 윤 정(한국전파진흥협회)

박 세 호(한국전파진흥협회)

임 재 훈(한국전파진흥협회)

진 용 화(한국전파진흥협회)

진 동 수(한국전파진흥협회)

김 노 경(한국전파진흥협회)

엄 호 경(한국전파진흥협회)

김 예 나(한국전파진흥협회)

서 용 훈(한국전파진흥협회)

지 민 구(한국전파진흥협회)

김 재 은(한국전파진흥협회)

조 성 민(한국전파진흥협회)

요 약 문

본 연구는 드론을 활용한 DTV(UHD) 방송국 송신 안테나 ERP 패턴 측정 기술을 연구하여, 기존 측정 방식 대비 효율성과 정확도를 향상시키는 방안을 마련하였다. 연구 과정에서는 TTA PG802(지상파방송) 표준화 그룹에 참여하여 드론 기반 안테나 패턴 측정 기술의 표준화 가능성을 검토하였다.

연구 결과, TTA 기술문서 1건이 도출되었으며, 이를 통해 드론을 활용한 방송 송신 안테나 측정 시장 창출에 기여할 것으로 기대된다.

목 차

제1장 서론	4
제1절 연구 필요성	4
1. 연구 필요성	4
제2절 연구 범위	5
1. 드론 이용 DTV(UHD) ERP 지향 특성 검증 방법 표준(안) 마련	5
제2장 드론 이용 DTV(UHD) ERP 지향 특성 검증 방법 표준(안) 마련	6
제1절 드론 이용 DTV(UHD) 방송안테나 패턴 측정 연구	6
1. 보고서 ITU-R SM. 2056-1 분석 및 드론 기반 안테나 측정 요약	6
2. 드론 측정 정확도, 안정성 연구	7
3. 방사패턴 측정 및 분석	7
제2절 TTA PG802(지상파방송) 표준화	8
1. 국제 표준 대비 국내 표준화 방향 설정	8
2. TTA 표준 초안	8
제3장 회의 일정 및 주요 내용	9
제4장 결론	12
참고문헌	13
[부록 1] TTA 표준문서	14

제1장 서론

제1절 연구 필요성

1. 연구 필요성

가. 드론 활용 측정기술 도입을 통한 효율적 및 정밀도 향상

- 1) 기존의 DTV(UHTV) ERP 지향 특성 검증 방식은 헬기를 이용하여 시간·비용·인력 소모가 크며, 정밀한 3차원 공간 측정이 어려움
- 2) 드론 기반 측정 기술은 높은 공간적 자유도와 접근성을 바탕으로 지상이나 헬기 기반 방식 대비 빠르고 정밀한 데이터 수집이 가능하며, 새로운 검증 방법으로서의 실용성과 기술적 가능성이 큼

나. DTV(UHTV) 고출력 방송 시스템의 전파환경에 미치는 영향 분석 필요

- 1) 고출력 방송 송신기의 지향 특성은 전파 혼신, 전파월경 및 커버리지 품질에 큰 영향을 미치므로, 정확한 검증 필수
- 2) 드론 측정 기법을 표준화함으로써 전국적 적용 가능성과 제도화 기반 마련이 가능함

다. 표준화 기반 확보를 통한 국내 기술의 국제 경쟁력 제고

- 1) 드론 측정 기술 및 항공업무 관련 기술기준의 표준화는 향후 국제 시장 진출 시 기술 수용성과 신뢰도를 확보하는 중요한 수단임
- 2) 국내에서 개발한 기술과 방법론이 국제 표준으로 채택될 경우, 글로벌 시장에서의 기술 주도권 확보에 기여 가능

제2절 연구 범위

1. 드론 이용 DTV(UHD) ERP 지향특성 검증방법 표준(안) 마련

가. 드론이용 DTV(UHD) 방송안테나 패턴 측정 연구

나. TTA PG802(지상파방송)에 참여하여 표준화 활동

제2장 드론 이용 DTV(UHD) ERP 지향특성 검증방법 표준(안) 마련

제1절 드론 이용 DTV(UHD) 방송안테나 패턴 측정 연구

1. 보고서 ITU-R SM. 2056-1 분석 및 드론 기반 안테나 측정 요약

가. ITU-R SM. 2056-1 보고서 분석

- 1) 무선 주파수 신호 측정 및 전파 특성 분석을 위한 국제 표준 가이드라인 제시
- 2) UAV(무인항공기)를 활용한 주파수 측정 방식과 관련 기술 기준 포함
- 3) DTV(UHD) 방송 시스템의 ERP 및 지향성 분석에 적합

나. 드론 기반 측정 기술

- 1) GPS 정밀 측위(RTK)와 IMU 센서를 활용한 고정밀 위치 보정
- 2) 측정 신호 수집: 전자기 스펙트럼 분석기, FM 변조기 사용
- 3) 측정 프로토콜: 고도·방위각에서 반복 측정 후 데이터 평균 산출

다. 측정 방법 및 비행 유형

- 1) 전파 비행: 송신 안테나 방향 직선 비행, 반사 최소화
- 2) 수직 비행: 특정 방위 방향 안테나 패턴 확보
- 3) 원형 비행: 송신 안테나 주변 원형 경로로 수평 안테나 패턴 측정
- 4) 측정 장비: 3D 위치 정확도, 전계 강도 측정, ERP 계산 지원
- 5) 측정 안테나: 교정 정확도, 편파 조정, 지면 반사 억제
- 6) 안전성: 항공기 장착, 규제 준수 필요

라. 데이터 처리 및 분석

- 1) 비행 중 수집된 원시 데이터를 보정 요소와 결합하여 안테나 패턴 생성
- 2) 중복 비행 경로를 활용한 데이터 상호 검증
- 3) 수평·수직 안테나 패턴 및 ERP 분석을 위한 윈도우 평균 및 표준편차 계산

2. 드론 측정 정확도, 안정성 연구

가. GPS 및 IMU 기반 위치 보정 기술

- 1) GPS(Global Positioning System)와 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 활용하여 실시간 위치 오차 보정 수행
- 2) GNSS(위성항법시스템) 기반 RTK(Real-Time Kinematic) 기술 적용 시 cm 단위 고정밀 위치 측위 가능

나. 측정 신호의 정확도 평가

- 1) 드론의 진동 및 기체 변위에 따른 신호 왜곡을 최소화하기 위해 저지연 필터링 기술 및 신호 보정 알고리즘 적용
- 2) ITU-R SM.2056-1에서 제안하는 전파 특성 분석 기준(반사, 회절, 산란 등)을 기반으로 측정 데이터 필터링 수행

3. 방사패턴 측정 및 분석

가. DTV(UHD) 방송 안테나의 방사 패턴(전파 지향성 및 신호 강도 분포) 분석

- 1) 안테나의 특정 방위각에서 송출되는 ERP 값 측정

나. 방사패턴 매핑 기술

- 1) 측정 지점을 360도 방위각으로 설정하고, 드론이 지정된 경로를 따라 이동하며 데이터를 수집
- 2) 측정 결과를 기반으로 실제 신호 분포와 이론적 패턴 비교 및 보정 수행

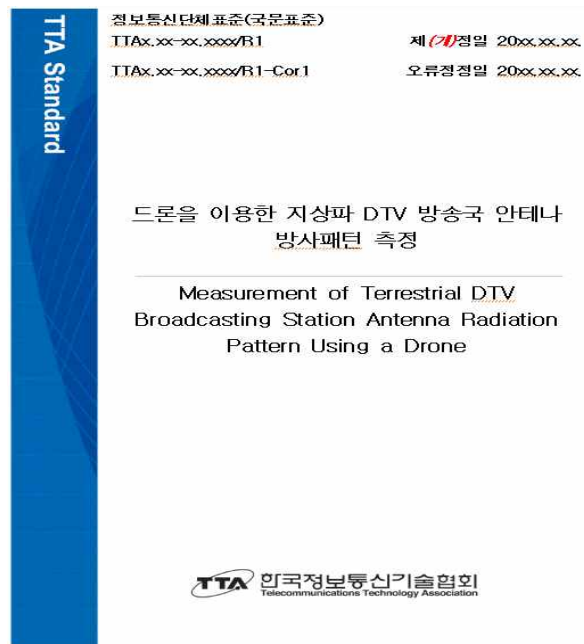
제2절 TTA PG802(지상파방송)에 참여하여 표준화

1. 국제 표준 대비 국내 표준화 방향 설정

- 가. ITU-R 권고(ITU-R SM.2056-1) 및 국내 방송통신위원회의 기술 기준을 반영하여 드론 기반 안테나 측정 표준 마련
- 나. 실내 및 실외 환경에서 다양한 방송 주파수 대역(VHF, UHF)에서 측정 가능한 프로토콜 개발

2. TTA 표준 초안

- 가. TTA 표준 초안 작성하였으며, 자세한 사항은 [부록 1] 첨부



제3장 회의 일정 및 주요 내용

회의 : [드론 이용 DTV 방사패턴 측정 방법 표준(안) 마련 회의]

1. 키포프 회의 개요

가. 일시/장소 : 2025년 8월 13일(수) 10:30~12:30 / RAPA 서초사옥

나. 참석자 : 7명

2. 주요 논의 사항

가. 2025년도 연구반 운용 계획

1) 연구 목표는 드론을 이용한 DTV ERP 지향특성 검증방법 표준안을 마련하는 것

2) TTA 양식 검토를 위한 전문가 연구반을 구성하고 운영 방안을 논의

3) 국내 표준안과 국제 표준안을 병행하여 마련하는 방안 논의

나. TTA 표준안 구성

1) TTA 표준안의 방향을 설정하고, ITU-R BS.1195를 기반으로 표준안 기고 방향을 설정

2) 드론 관련 부분을 추가하여 제안서를 제출할지 여부 및 내용 구성 방향을 논의

3) 8월 28일 PG802 회의에서 피드백을 받기로 결정

3. 논의 결과

가. 11월 말까지 표준안 제출을 위한 제안서 작성 목표를 설정

나. 내년 TTA 표준안 채택을 최종 목표로 설정

다. ITU-R BS.1195를 인용표준으로 활용하되, 드론 관련 부분을 추가하여 제안서 제출 여부 및 내용 구성 방향을 검토하기로 함

라. 드론 사양은 ITU-R BS.1195 수준에 부합하는 포괄적인 스펙으로 진행

회의 : [드론 이용 DTV 방사패턴 측정 방법 표준(안) 마련 회의]

1. 1차 회의 개요

가. 일시/장소: 2025년 9월 22일(월) 13:00~15:00 / 나주 RRA 회의실

나. 참석자: 8명

2. 주요 논의 사항

가. 원역장 거리 계산

- 1) 현재 원역장 거리 계산 시 이론값과 실제 측정값 사이에 큰 차이가 발생하여 분석 결과의 신뢰도가 떨어짐

나. 안테나 높이 설정 관련

- 1) 안테나 설치 시 중심점과 높이 설정이 중요하며, 고도 측정 방법에 대해 3가지 옵션을 고려 중

가) 드론을 활용한 상대 고도 추정

나) 3D 지형 모델링

다) 수직 실측과 신호 세기 활용

- 2) 측정 절차 및 기준 명시 필요성

가) 측정 절차에 대한 최소한의 기준과 방법을 명확히 해야 한다는 의견. 신뢰성 확보를 위해 최소 데이터 개수 및 반복 측정 횟수 기준 마련 필요

3. 논의 결과

가. 원역장 거리 계산

- 1) 현재 사용 중인 공식과 그 출처를 재확인하고, 오차를 줄일 수 있는 새로운 공식이나 더 적합한 인용 자료를 찾아보기로 함

- 2) 전문가 의견을 수렴하여 가장 적합한 공식을 선정할 예정

나. 안테나 높이 설정 관련

- 1) 정확한 안테나 높이 설정이 성능에 중요한 영향을 미침

- 2) 신중한 접근이 필요하며, 추가 검토 후 적합한 방법을 선택하기로 함

다. 측정 절차 및 기준 명시 필요성

- 1) 신뢰성 있는 측정을 위해 최소한의 측정 절차를 문서화하고, 구체적인 데이터를 수집하고 기록하기로 함

회의 : [드론 이용 DTV 방사패턴 측정 방법 표준(안) 마련 회의]

1. 2차 회의 개요

가. 일시/장소 : 2025년 11월 26일(수) 15:00~17:00 / 광주 비즈니스센터

나. 참석자 : 8명

2. 주요 논의 사항

가. 측정불확도 표준 개선: 불확도 예시의 정확성 향상 및 산식 계산 과정의 명확한 설명 추가가 필요하다는 의견이 제기됨

나. 문서/리스트 및 용어 정비: 문서 내 용어를 '수신 전력'으로 통일하고 현장 점검 리스트 일부 항목을 조정할 필요성이 제기됨

다. 도표 및 그림 개선: 그림 전면 재작성, 스케일·크기 일관성 확보, 불필요한 그림(I.2-5) 삭제 필요성이 논의됨

라. 재연성 평가 방법 개선: 재연성 평가의 신뢰성을 위해 위치 오차를 수치화하는 새로운 평가 방식 도입이 필요하다는 의견이 제기됨

3. 논의 결과

가. 불확도 예시를 수정·보완하고 산식 계산 설명을 추가하기로 결정함.

나. 용어는 '수신 전력'으로 통일하며 현장점검 리스트는 효율성 제고를 위해 일부 수정하기로 함

다. 모든 그림을 재작성하고 스케일·크기를 일관되게 통일하며 그림 I.2-5는 삭제하기로 확정함

라. 재연성 평가에는 위치 오차 수치화 방식을 도입하기로 함

제4장 결론

본 연구의 결과물은 TTA PG802에서 활동하면서 표준화 작업을 진행 중이며 ‘드론 이용 DTV 방사패턴 측정 방법’에 대한 표준(초안)을 작성하였다. 방송국 철탑 2곳을 실제 드론을 이용하여 측정을 하였으며, 연구반 회의를 2번을 통하여 TTA 표준초안에 대하여 자문을 구하였다. 이를 통해 2026년도 TTA PG802를 중심으로 표준안을 추진하고 있다.

[참고문헌]

- [1] ITU-R, Report ITU-R SM.2056-1: Airborne verification of antenna patterns of broadcasting stations, June, 2014

[부 록 1]

드론을 이용한 지상파 DTV 방송국 안테나 방사패턴 측정

서 문

1 표준의 목적

이 표준의 목적은 드론을 이용하여 DTV 방송국 안테나 방사패턴을 측정하는 절차를 정의한 것이다. 이를 통해 DTV 방송국 안테나의 실질적인 방사패턴을 이용하여 방송 서비스 구역, 월경 분석 등에 보다 정확하게 활용할 수 있다.

2 주요 내용 요약

이 표준은 드론을 이용하여 DTV 방송국의 안테나 패턴을 측정하기 위한 준비절차, 측정 절차, 측정 데이터의 후처리 과정 등을 나타낸다.

방송국에서 송출되는 DTV 신호의 품질과 서비스 범위는 송신 안테나의 방사패턴에 크게 의존한다. 철탑에 설치된 안테나는 철탑의 영향으로 처음 설계된 안테나의 특성에 영향을 준다. 국내 방송국 개설 시, 전파법 및 고시에 따라 안테나 방사패턴을 측정을 수행하는 데, 주로 지상 측정점 또는 이동식 측정 장비를 통해 전계강도를 수집하고, 이를 기반으로 방사패턴을 산출하는 데, 이러한 측정방법은 측정 지점 수의 한계와 접근성 문제로 인해 실제 방사패턴을 구현하지 못한다. 이런 단점을 극복하기 위해 헬기를 이용한 측정방법이 있으나 측정 비용이 높고, 위치 정확도의 문제가 발생한다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해 드론을 이용한 DTV 방송국에 대한 방사패턴의 측정을 제시한다.

3 인용 표준과의 비교

3.1 인용 표준과의 관련성

해당사항 없음

3.2 인용 표준과 본 표준의 비교표

해당사항 없음

Preface

1 Purpose

The standard is to define the procedure for measuring the DTV broadcast station antenna radiation pattern using drones. This allows for more accurate utilization of the actual radiation pattern of the DTV broadcast station antenna for applications such as broadcast service areas and interference analysis.

2 Summary

The standard outlines the preparatory procedures, measurement procedures, and post-processing of measurement data when using drones to measure the antenna pattern of DTV broadcast stations. The quality and service coverage of the DTV signal broadcast from a station heavily depend on the radiation pattern of the transmitting antenna. The antenna installed on the tower is influenced by the tower itself, which alters the characteristics of the antenna from its original design. When establishing a domestic broadcast station, antenna radiation pattern measurements are conducted in accordance with the Radio Wave Act and related notices. These measurements are primarily collected using ground measurement points or mobile measuring equipment to gather field strength data, which is then used to calculate the radiation pattern. However, due to the limitations in the number of measurement points and accessibility, these methods cannot accurately represent the actual radiation pattern. To overcome these limitations, measurement methods using helicopters are available, though they are costly and have issues with location accuracy. To address these problems, this standard proposes the use of drones for measuring the radiation pattern of DTV broadcast stations.

3 Relationship to Reference Standards

None

목 차

1	적용 범위	x
2	인용 표준	x
3	용어 정의	x
4	약어	x
5	드론을 이용한 지상파 DTV 방송국 방사패턴 측정	x
5.1	드론 측정 시스템	x
5.2	현장 점검	x
5.3	현장 측정	x
5.4	안전 기준	x
5.5	측정 결과 보고서	x
부록 I	방송국 방사패턴 특정예(자유 작성 부록)	x
부록 II-1	지식재산권 협약서 정보	x
II-2	시험인증 관련 사항	x
II-3	본 표준의 연계(family) 표준	x
II-4	참고 문헌	x
II-5	영문표준 해설서	x
II-6	표준의 이력	x

드론을 이용한 지상파 DTV 방송국 안테나 방사패턴 측정 (Measurement of Terrestrial DTV Broadcast Station Antenna Radiation Pattern Using a Drone)

1 적용 범위

이 표준은 드론을 이용하여 지상파 DTV 방송국 안테나의 방사패턴을 측정하는 방법을 설명한다. 최근 상업용 드론기술의 발달과 휴대용 스펙트럼 분석기의 소형화에 따라 소형 드론을 통해 방송국 철탑에 장착되어 있는 안테나의 방사 패턴을 정확하고, 효과적으로 측정할 수 있는 능력이 실현된다. 이 표준은 드론을 이용하여 안테나 패턴을 측정하는 절차 및 방법, 불확도, 결과보고서에 대하여 기술한다.

드론측정의 장점은 지상측정 방법의 많은 시간과 비용이 소모되고, 지형에 따른 효과를 제거할 수 없는 단점을 없앨 수 있는 장점이 있고, 헬기측정에 의한 위치 정확도가 더 높고, 비용이 적게 드는 장점이 있다. <표 1.1>은 지상측정, 헬기측정 및 드론측정에 대한 장단점을 비교하였다 [1], [2].

<표 1-1> 방송국 ERP 측정방법에 따른 장단점 비교

구분	측정원리	장점	단점
지상측정	- 방송국에서 송출되는 신호를 지상에서 수신하여 방사패턴을 분석 - 고정된 수신기를 사용하여 다양한 방향에서 신호를 측정	- 간단하고 비용이 저렴 - 장비 설정이 비교적 용이	- 방사패턴의 정확한 측정에 제약이 있을 수 있음 - 장애물(빌딩, 산 등)로 인한 신호 왜곡 가능
헬기측정	- 헬기를 이용해 송신 안테나 주위의 높은 위치에서 방사패턴을 측정 - 고공에서 넓은 영역을 커버	- 높은 고도에서 넓은 범위의 방사패턴을 측정 가능 - 장애물 영향 적음	- 헬기 운용비용이 높음 - 헬기의 기상 조건에 따른 제한 - 위치 정확도가 떨어질 수 있음
드론측정	- 드론을 이용하여 다양한 고도에서 송신 안테나의 방사패턴을 측정 - GNSS와 결합하여 정밀한 위치 측정 가능	- 비교적 저렴한 비용 - 고도 및 위치 변경이 자유로워 세밀한 측정 가능 - 접근이 어려운 장소에서도 측정 가능	- 비행 시간 제한 - 바람 등 기상 조건에 따른 영향을 받음 - 드론의 배터리 및 하중 제한

2 인용 표준

해당사항 없음

3 용어 정의

3.1 지향특성(D, Directivity)

전파법령에서 사용하는 용어로 복사패턴과 유사한 개념이며, 송신안테나에서 발사되는 전파의 세기 모양으로 방사 에너지가 특정 방향으로 모으는 정도

3.2 디지털 TV(DTV, Digital Television)

장치 또는 이동하는 사물의 순간적 영상과 이에 따르는 음성·음향을 디지털로 보내는 텔레비전 방송

3.3 실효복사전력(ERP, Effective Radiated Power)

안테나공급전력에 주어진 방향에서의 반파장 다이폴 안테나의 상대이득을 곱한 것

3.4 방송국(BS, Broadcasting Station)

공중이 방송신호를 직접 수신 할 수 있도록 할 목적으로 개설한 무선국

3.5 방송구역(BSA, Broadcasting Service Area)

방송을 양호하게 수신할 수 있는 구역으로서 전계강도가 과학기술정보통신부장관이 정하여 고시하는 기준 이상인 구역

3.6 방사패턴(R_p , Radiation Pattern)

안테나가 전자기파를 방사하거나 수신하는 세기를 공간상의 각도에 따라 나타낸 것

3.7 이득(G, Gain)

특정 방향으로 방사하는 전력 대비 무지향성 안테나에 비해 얼마나 강하게 방사되는지 나타낸 값

3.8 편파(P, Polarization)

전자기파의 전기장(Electric Field) 방향 또는 형태

3.9 빔폭(BW, Beamwidth)

주엽에서 전력 밀도가 최대값의 절반(-3dB)이 되는 두 지점 사이의 각도

4 약어

DTV	Digital television
ERP	Effective Radiated Power
ESC	Electronic Speed Controller
GCS	Ground Control System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GS	Glideslope
IMU	Inertial Measurement Unit
LTE	Long Term Evolution
NRTK	Network Real-Time Kinematic
RTK	Real-Time Kinematic
S-BUS	Real-Time Kinematic

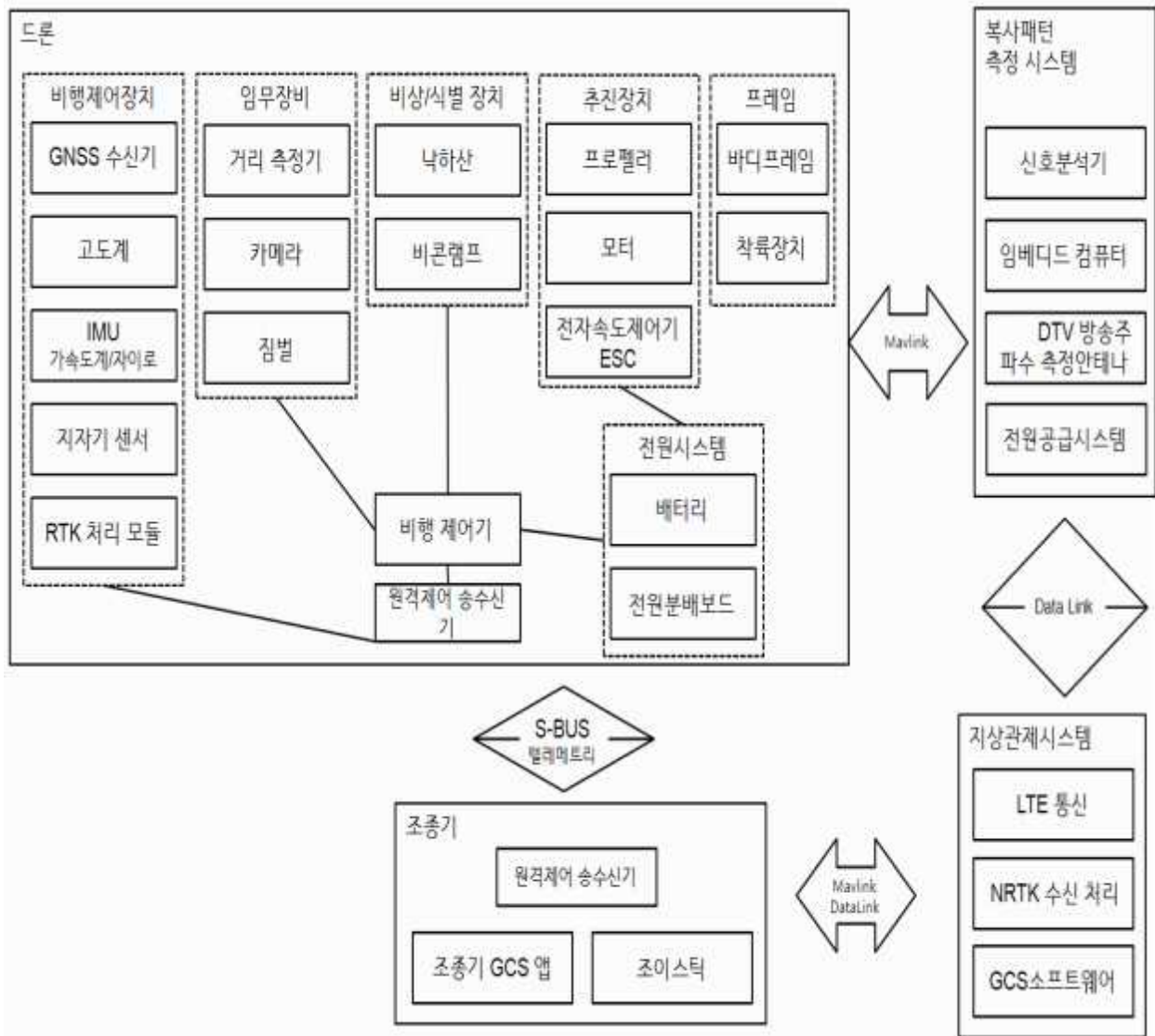
5 드론을 이용한 지상파 DTV 방사패턴 측정 절차

이 표준은 드론을 사용하여 안테나 방사패턴 측정을 위한 측정시스템 구성, 현장 점검, 실 측정, 측정 불확도, 결과보고서 작성에 대하여 설명한다. 이 표준은 지상파 DTV(UHTV) 등 방송국 송신 시스템에 적용될 수 있다.

부록 1은 실제 지상파 방송국 안테나의 방사패턴을 측정하여 결과보고서의 작성 예를 기술한다.

5.1 드론 측정 시스템

드론 측정 시스템의 구성은 드론 기체, 드론탑재용 측정시스템, 지상관제시스템(GCS), 조종기로 구성된다. (그림 5-1)은 드론 측정 시스템 구성의 예를 보인 것이다. 측정데이터 측정 분석 프로그램으로 구성되어 지상파 방송국 안테나의 방사 패턴을 측정하는 임무를 수행하게 된다.



(그림 5-1) 드론 측정 시스템 구성(예)

5.1.1 드론 사양

방송국 안테나 패턴을 측정을 위한 드론의 사양은 스펙트럼 분석기, 안테나, 임베디드 컴퓨터 등 임무장비를 탑재한 상태에서 최소 비행시간 30분 이상, 무선제어 최대거리는 500 m 이상이 되어야 한다. 측정 위치 정확도를 위해 이중 RTK를 지원하여 수평, 수직 방향으로 각각 0.1 m 이하의 정확도가 유지되는 게 좋다. 드론은 자동비행 모드가 지원되어야 하며, 안전을 위해 충돌방지 및 자동 귀환 기능을 지원해야 한다. 또한, 조종기를 통한 기체의 위치, 고도, 속도, 풍속, 배터리 잔량, 좌표 등 실시간 확인이 필요하고, 짐벌 카메라를 통한 적외선, 가시광선, 줌, 광각, PIP 등 다양한 촬영 및 녹화가 지원되는 것이 측정오차 및 분석에 좋다.

5.1.2 측정 장비 사양

5.1.2.1 드론탭재용 신호분석기

드론탭재용 신호분석기는 탑재가 쉽고, 측정에 영향을 덜 미치기 위해 소형, 경량이어야 한다. 주파수 범위는 DTV 주파수 대역인 470 MHz에서 771 MHz 까지 측정할 수 있어야 하고, 측정은 6 MHz의 채널 전력을 측정해야 한다. 신호세기 측정의 동적범위는 클수록 좋다. 또한, 지

상관제시스템(GCS)과 연동하여 원격 제어 및 실시간 데이터 수집 가능한 게 좋다.

5.1.2.2 드론탑재용 DTV 측정안테나

드론탑재용 측정안테나는 가벼우며 바람이나 진동에 흔들리지 말아야 하며 드론 기체에 의한 전파 수신에 영향을 받지 않는 곳에 설치되어야 한다. 주파수 대역은 DTV 방송 주파수 대역인 470 MHz ~ 771 MHz을 측정할 수 있어야 하고, 수평편파를 수신하여야 한다. ERP 계산시에는 수신 안테나 패턴 특성이 반영되어야 한다.

5.1.2.3 임베디드 컴퓨터

임베디드 컴퓨터는 스펙트럼 분석기에서 측정한 데이터를 수집하고, 위도, 경도, 고도 등 위치 정보, 측정시간 등을 저장하면서 지상관제시스템으로 데이터링크로 연결되어 통신할 수 있는 역할을 수행한다.

5.1.3 지상관제시스템(GCS)

지상관제 시스템은 드론의 실시간 모니터링 및 데이터 수집, 비행 제어 및 확인을 통해 DTV 방송 송신 안테나의 복사패턴을 실시간 측정을 지원하며 주요 기능은 카메라 인터페이스를 통한 기체의 위치, 화면, RTK, 이미지 전송 신호, 조종기 신호, GNSS, 기체·조종기 배터리 잔량, 장애물 회피 등 실시간 확인이 가능하며 비행 정보 모듈을 통한 기체의 고도, 속도, 좌표 등 비행정보 실시간 확인이 가능해야 한다.

5.2 현장 점검

드론 측정 비행 전에 현장 점검등을 통하여 대상 사이트에 대한 많은 정보를 수집해야 한다. 현장 점검을 통해 측정할 방송국 송신 안테나의 중심 위치를 정확하게 알아야 한다. 수평 위치와 높이 모두 보정 차이를 최소화하기 위해 안테나 철탑의 위치가 아닌 안테나의 위상 중심을 측정해야 한다. 방송사 허가서의 안테나 패턴(ERP에 표시), 안테나 틸트각도, 직경 및 유형 등 주요 송신제원에 대한 확인과 철탑 및 고압선 등 현장정보를 수집해야 한다. 현장 점검시에는 드론의 측정에 영향을 줄 수 있는 주변 방송국 철탑, 고압선 등의 유무를 확인해야 한다. 방송 안테나 유형, 방향 및 치수는 지면 반사의 영향을 추정하고 측정 비행을 계획하는 데 필요하다. 지면 유형과 형태학은 장애물과 잠재적 반사 문제를 고려해야 한다. 같은 사이트에 있는 다른 송신기의 RF 전력 및 안테나 패턴은 인접 채널 신호에 의한 안테나 패턴 측정의 열화를 예측하는 데 필요하다. 최적의 수신기 감쇠기 설정을 계산하기 위해 알려져 있어야 하고, 드론이 전자장에 과도하게 노출되지 않도록 철탑과의 최소 거리를 계산해야 한다. <표 5-1>은 현장 점검시 확인사항의 리스트의 예이다.

<표 5-1> 현장점검시 확인사항 리스트(예)

항 목	기호	단위	제원 등	비고
명칭				
중심주파수	fc	MHz		
위치				
좌표(위도, 경도)	(X, Y)	°		
지상고		m		
안테나형식, 구성				
안테나 직경		m		
최소원거리장 거리		m		
최대 ERP		dBW		
기본전송손실		dB		
복사패턴		dB		
비행승인여부				
차량진입여부				
철탑개수		개		
드론이착륙 용이성				
지면반사 등 가능성				
드론비행 위험성				
측정장비 설치공간				
전원사용 가능여부				
추가 안테나 설치 여부				
기타				
감쇠기 사용유무				

5.3 현장 측정

5.3.1 이론 계산

5.3.1.1 ERP 계산

안테나 패턴 측정은 기본적으로 두 가지 값을 사용하여 해당 지점의 EIRP의 절대값을 계산할 수 있고, EIRP 절대값 계산식은 다음 (수식 5-1)과 같다

$$P_{EIRP} = \frac{p_{RX} \cdot R^2}{g_{RX}} \cdot \left(\frac{4\pi f}{c} \right)^2 \quad (W) \quad (\text{수식 5-1})$$

(단, P_{EIRP} : 등방성 방사기에 대한 전력(W),

p_{RX} : 수신 입력 단자의 전력(W),

R : 수신 안테나와 송신 안테나 사이의 거리(m),

g_{RX} : 등방성 방사기에 대한 안테나의 이득(선형값),

f : 주파수(Hz),

c : 광속(m/s) 임)

P_{EIRP} 및 g_{RX} 는 등방성 방사기에 대해 표현되며, 케이블 손실, 안테나 정렬 손실 또는 편파 손실 등의 추가 손실을 g_{RX} 값에 포함해야 한다. 일반적으로 동일한 공식의 로그 형태로 사용하는 것이 더 편리하다.

$$P_{EIRP} = P_{RX} + 20\log(R) - G_{RX} + 20\log(f) + 20\log(4\pi/c) \text{ (dBW)} \text{ (수식 5-2)}$$

(수식 5-2)의 로그형태의 식에서는 P_{EIRP} 및 P_{RX} 는 dBW, G_{RX} 는 dBi의 단위이다.

EIRP로부터 ERP(반파장 쌍극자 기준)를 계산하려면 반파장 쌍극자 안테나의 이득인 2.15 dBi를 이용하여 다음 (수식 5-3)을 계산한다.

$$P_{ERP} = P_{EIRP} - 2.15 \text{ dB (dBW)} \text{ (수식 5-3)}$$

5.3.1.2 기본전송손실 계산

기본전송손실은 전파신호가 매질을 통해 전송될 때 발생하는 신호 강도의 감소를 의미하며 매질의 종류, 거리, 주파수, 장애물 등 여러 요소가 영향을 미친다. 아무 장애물이 없는 무반사와 무손실의 자유공간에서의 기본전송손실은 (수식 5-4)와 같다.

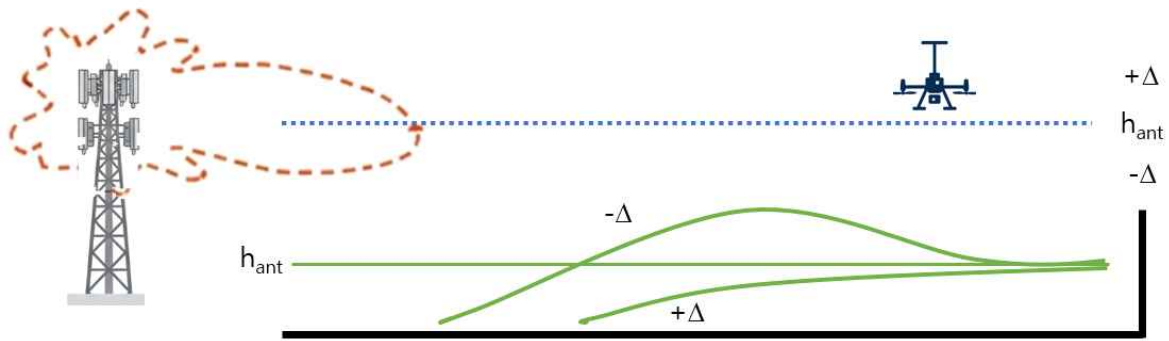
$$L = 32.45 + 20\log(d_{km}) + 20\log(f_{MHz}) \text{ (수식 5-4)}$$

여기서, d_{km} 는 km 단위의 거리를 나타내며, f_{MHz} 는 MHz 단위의 주파수를 나타낸다.

5.3.2 측정방법

5.3.2.1 전파비행 측정

전파비행은 드론이 송신 안테나를 향해 직선으로 비행하는 것으로 비행 높이는 송신 안테나의 높이에서 비행을 한다. 송신안테나를 향해 직선으로 비행하면 해당 방향의 송신 ERP는 일정하므로 반사파가 없는 경우 전파 비행 중 측정된 ERP도 일정하게 유지되어야 한다. 하지만 지면 반사 또는 건물 반사 등이 존재하므로 해당 직선으로부터의 편차로 나타난다. (그림 5-2)는 전파비행을 묘사한 그림이다. 전파 비행에 권장되는 측정 방향은 안테나 패턴의 주빔 방향이다. 실제 안테나 주빔은 수평 방향 패턴을 측정을 해야 알 수 있지만 안테나 패널 방향이 주빔에 가깝다. 전파 비행의 결과로부터 선정되는 최적거리는 반사의 진폭이 최소가 되는 지점인 즉, 이론적 ERP 값과 가까운 지점이면서 최솟값과 최댓값 차이, 진폭이 적은 지점이 최적의 측정지점이다.



(그림 5-2) 전파 비행

5.3.2.2 수평 방사패턴 측정

수평 방사패턴은 안테나 배열 중심에서 일정한 거리의 원을 그리며 비행하여 측정을 하며 측정 반경과 높이를 고려해야 한다. 반경은 원거리 영역의 한계값보다 더 멀리 떨어져 있어야 하고, 큰 ERP로 인한 측정 장치의 손상을 방지할 수 있을 만큼 거리가 떨어져야 하며 이를 위해 기본전송손실을 계산하는 것을 권장한다. 특히 방송국의 철탑은 다수의 안테나가 설치되어 있으므로 사전 조사때 설치된 안테나 들의 주파수와 송신출력, 안테나 이득 등을 모두 조사해야 한다. <표 5-2>는 안테나로 부터 다양한 전자기장의 영역에 대한 경계를 나타낸다.

<표 5-2> 전자기장의 주요 경계(max(a,b)는 a와 b 중 더 큰 값임)

구분	유도성 근역장	유도성 방사 근역장	방사 근역장	방사 원역장
범위(m)	0 ~ λ	$\lambda \sim 3\lambda$	$3\lambda \sim \max(3\lambda, \frac{2D^2}{\lambda})$	$\max(3\lambda, \frac{2D^2}{\lambda})$ 이상

DTV 방송국에 대한 안테나의 크기는 파장보다 기본적으로 안테나의 크기 때문에 (수식 5-4)는 원역장 위치의 거리를 나타내는 수식이고, 이 수식에 따른 안테나 크기와 주파수별 원역장 거리는 <표 5-3>에 나타냈다. 수식에 따라 원역장 거리는 파장에 반비례 하기 때문에 주파수가 올라감에 따라 최소 원역장 거리도 증가한다.

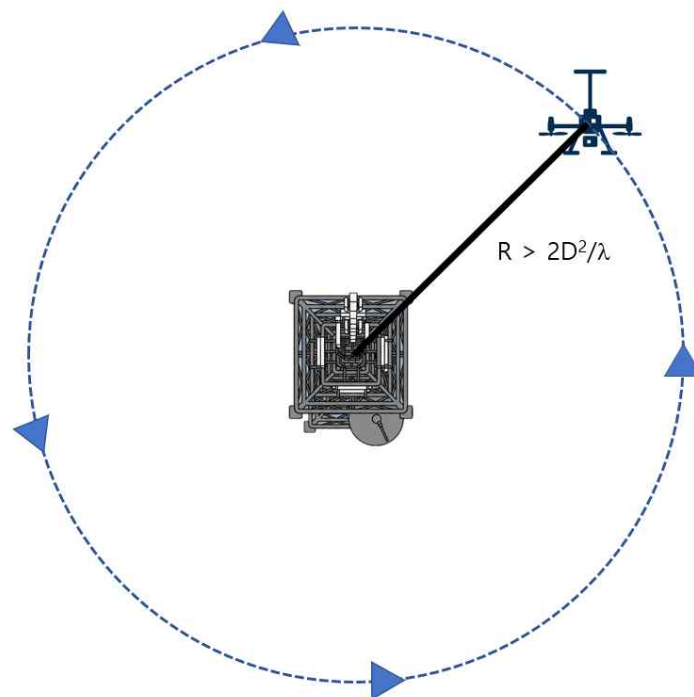
$$\text{원역장 거리}(R) \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{m}) \quad (\text{수식 5-4})$$

단, D는 안테나 직경(m)이며, λ 는 파장으로 광속($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)을 주파수로 나눈 값이다.

<표 5-3> 안테나 크기에 따른 최소 원역장 거리

안테나 크기(m)	주파수(MHz)	원역장 거리(m)
2	470	12.53
2	700	18.67
6	470	112.80
6	700	168.00
8	470	200.53
8	700	298.67

측정높이는 설계, 특히 안테나 틸트에 따라 다르며, 틸트 각도는 수평방사패턴 측정으로 보완되어야 하고, 높이를 결정하는 간단한 식은 틸트각과 전에 계산한 반경을 이용하여 계산한다.



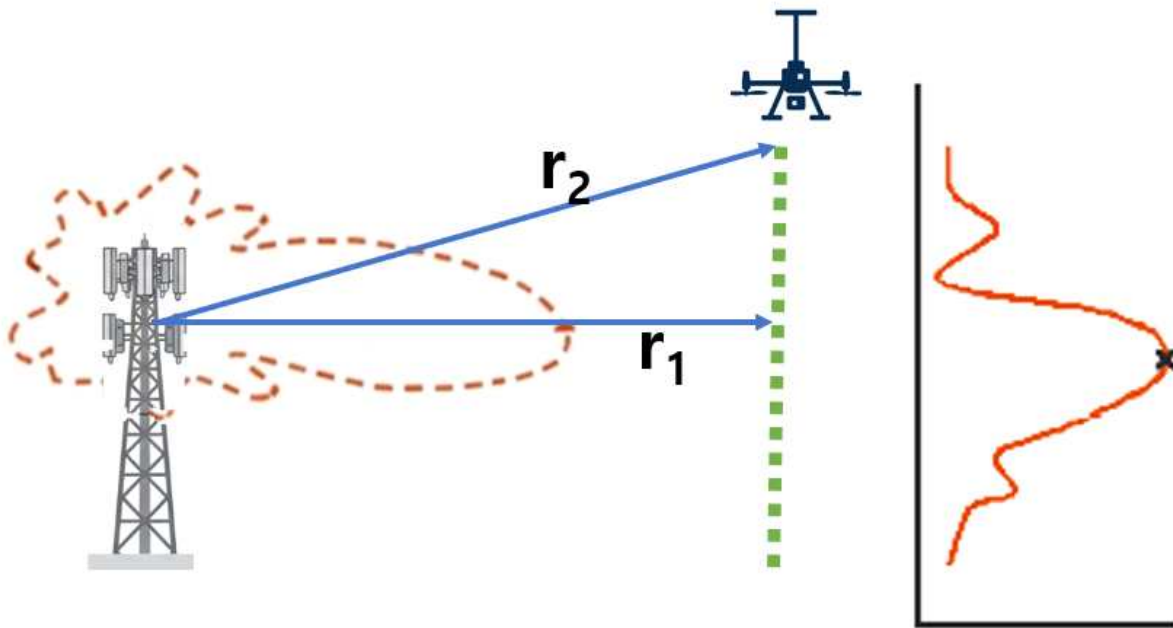
(그림 5-3) 안테나 수평 패턴측정

방송국 안테나의 수평 안테나 패턴을 얻기 위해 송신 안테나까지의 고도 및 거리를 보정하면서 송신 안테나 주위를 원을 그리며 비행해야 한다. 원의 중심은 안테나 패널의 중심부를 기준으로 삼는다. 최상의 안정성은 드론이 일정한 속도로 비행할 때 얻어지고, 안테나를 가리키는 부분이 비행 중에 안테나의 중심부를 향해야 한다.

5.3.2.3 수직 방사패턴 측정

수직비행으로 방송 안테나의 특정 방위방향에서 수직 안테나 패턴을 얻을 수 있다. 수직 방사패턴의 측정경로는 수평 방향 안테나 패턴에서 최대가 되는 방위각에서 측정을 한다. 수평 안테나 패턴 측정을 위한 최적의 비행 높이를 결정하기 위해 수직 안테나 패턴 측정이 필요하다. 수직 비행 중에는 두 가지 보정 계수를 적용해야 되는 데 첫 번째는 측정 안테나의 수직

안테나 다이어그램에서의 이득 차이에 대한 보상, 두 번째는 거리 차이에 대한 보정 계수를 적용해야 한다. (r_1 , r_2)



(그림 5-4) 수직 비행

수직 방사패턴은 지면(복사 중심아래 15도)에서 복사 중심 위로 5도까지 고정 위치 고도 비행에 의해 수행되며 안테나로부터 거리는 수평방사패턴에 대해 권장되는 거리와 같아야 한다.

5.3.4 측정불확도

측정 불확도는 모든 입력 파라미터의 측정 불확도의 결과이다. 일반적인 입력 파라미터는 다음과 같다.

- 드론 위치 정확도
- 산란 효과
- 스펙트럼 분석기 측정 오차
- 수신 케이블 손실 변화
- 수신 안테나 정열
- 수신 안테나 이득 변화

이러한 입력 파라미터에 의한 패턴 측정 불확도는 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 드론을 이용한 측정 불확도

불확도 원인	단위	불확도				
		확률분포	반폭(a)	제수(d)	$u_i = a/d$	u_i^2
위치 정확도	dB	삼각	0.2	$\sqrt{6}$	0.082	0.007
산란 효과	dB	사각	1.5	$\sqrt{3}$	0.866	0.750
스펙트럼 분석기 오차	dB	정규	0.5	2	0.250	0.063
수신케이블 변화	dB	사각	0.05	$\sqrt{3}$	0.029	0.001
수신안테나 정렬	dB	삼각	0.2	$\sqrt{6}$	0.082	0.007
안테나 이득	dB	사각	0.1	$\sqrt{3}$	0.058	0.003
합						0.830
합성 표준 불확도, $u_c = \sqrt{\sum(u_i^2)}$						0.911
신뢰구간을 결정하는 계수, k						2(95% 신뢰수준)
확장불확도, $U = k \times u_c$						1.822

5.4 안전 기준

5.4.1 비행 전 안전 점검

드론을 이용하여 방송국 안테나의 방사패턴을 측정하기 전에 가장 먼저 수행해야 할 절차는 장비와 환경에 대한 철저한 점검이다. 드론의 배터리 충전 상태와 프로펠러의 이상 여부를 확인하고, 송수신 장비의 연결 상태와 GPS 및 각종 센서의 작동 상태가 정상인지 점검한다. 측정을 위해 탑재하는 스펙트럼 분석기, 안테나, 데이터 로거 등 부가 장비도 전원 상태와 데이터 저장 공간을 미리 확인해야 한다. 또한 비행 허가를 관할 기관이나 방송국 관리 부서로부터 사전에 확보해야 하며, 해당 지역이 비행 제한 구역에 해당하지 않는지 확인한다. 비행 당일에는 기상 조건을 반드시 확인하여 풍속, 강우, 시정 상태가 안전 기준을 충족하는 경우에만 비행을 진행해야 한다. 아울러 비행 구역 내에는 안전 구역을 설정하고, 비상 착륙 지점을 포함한 비행 경로를 명확히 계획하여야 한다.

5.4.2 비행 중 안전 관리

비행이 시작되면 드론의 모든 상태를 실시간으로 모니터링해야 한다. 드론의 고도, 속도, 배터리 잔량, GPS 신호 상태를 지속적으로 확인하고, 측정 장비가 정상적으로 데이터를 기록하고 있는지 수시로 점검한다. 방송국 송신 안테나 주변은 강한 전자기장이 존재하므로 제어 신호가 불안정해질 수 있으며, 이 경우 즉시 비행을 중단해야 한다. 비상 상황에 대비하여 자동 귀환 기능을 항상 활성화해 두어야 하며, 필요 시 조종자가 수동으로 안전 지점에 착륙시킬 수 있어야 한다. 기상 악화, 장비 이상, 통신 두절 등 예기치 못한 상황이 발생하면 즉시 안전 절차를 시행하여 드론을 회수한다. 또한 비행 중에는 사전에 승인된 경로와 고도를 철저히 준수

해야 하며, 방송국 송신 안테나와의 거리를 충분히 확보하여 전자파로 인한 장비 오작동이나 안전사고를 예방해야 한다.

5.4.3 비행 후 안전 절차

비행이 종료되면 드론은 반드시 지정된 회수 지점으로 귀환하여 안전하게 착륙해야 한다. 회수 이후에는 프로펠러를 완전히 정지시키고 배터리를 분리하며, 측정 장비의 전원을 차단하여 불필요한 전력 소모와 장비 손상을 방지한다. 수집된 데이터는 손상 여부를 즉시 확인하고, 저장 장치의 용량과 배터리 상태를 점검하여 다음 비행에 대비해야 한다. 또한 비행 로그를 작성하여 비행 경로, 고도, 기상 조건, 장비의 상태, 발생한 이상 상황을 기록해야 한다. 이러한 기록은 향후 문제 발생 시 원인을 규명하거나 개선점을 찾는 데 중요한 자료로 활용될 수 있다.

5.4.4 추가 안전 고려사항

방송국 안테나 측정 비행은 일반 드론 비행보다 위험 요소가 많으므로 추가적인 안전 조치가 필요하다. 드론의 이착륙 지점에는 안전선이나 펜스를 설치하여 외부인의 접근을 통제하고, 조종자는 반드시 2인 1조로 운영하여 한 명은 비행을 전담하고 다른 한 명은 측정 장비와 주변 상황을 관리해야 한다. 송신 안테나 주변은 고출력 전자파로 인해 인체 노출 위험이 존재하므로 국제 및 국내 전자파 안전 기준을 준수해야 하며, 필요할 경우 전자파 측정 장비나 보호 장비를 사용하여 작업자의 안전을 확보해야 한다. 또한 강풍이나 우천, 번개 가능성이 있는 상황에서는 절대 비행을 시도하지 않아야 하고, 송전선이나 금속 구조물 근처에서는 전파 반사나 자기장 간섭이 발생할 수 있음을 유의해야 한다. 마지막으로 모든 비행 활동은 항공안전법, 전파법, 개인정보보호법 등 관련 법규를 준수해야 하며, 비행 구역에 일반인이 존재할 경우에는 사전에 고지하고 안전을 확보한 상태에서 측정을 진행해야 한다.

5.5 측정 결과보고서

5.5.1 측정 데이터의 검토

측정 결과 보고서에는 방사패턴의 수평안테나 패턴, 수직안테나 패턴, 측정된 주파수, 신호 강도, 고도와 위치 데이터가 포함되어야 한다. 분석 결과는 안테나의 성능을 평가하고, 문제점이 있는 경우 개선 방향을 제시해야 한다. 측정데이터는 고도 및 경로 오류와 같은 추가 정보를 측정 결과와 동일한 그래프로 표시하여 비행 오류를 측정 결과의 이상과 상호 연관시킬 수 있도록 해야한다.

5.5.2 측정 데이터의 처리

드론으로 안테나 방사패턴을 측정하면 같은 각도에서 여러 개의 측정데이터가 모이게 된다. 이 데이터를 그래프에 쓰면 잡음 때문에 그래프가 들쭉날쭉해 보일 수 있기 때문에 데이터를 정리하고, 평균을 내는 과정이 필요하다. 예를 들어 같은 각도에 모인 샘플들을 평균값을 계산하

면 실제값에 가까운 값을 얻을 수 있고, 또 다른 방법으로 윈도우 평균 방법으로 여러 각도를 묶어 평균을 내고, 그 윈도우를 조금씩 옮기면서 계산할 수 있다. 이렇게 하면 곡선이 더 부드러워지고, 패턴 변화를 잘 보여준다. 안테나의 주빔처럼 급격히 변하는 구간에서는 좁은 윈도우, 완만한 구간에서는 넓은 윈도우를 사용하는 것이 적합하다. 평균뿐만 아니라, 표준편차를 계산하면 샘플값들이 얼마나 퍼져 있는지도 함께 계산하면 측정의 신뢰도를 알 수 있다.

부 록 I

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

드론을 이용한 방송국 안테나 방사 패턴 측정 및 결과

I.1 현장측정 DTV 방송국

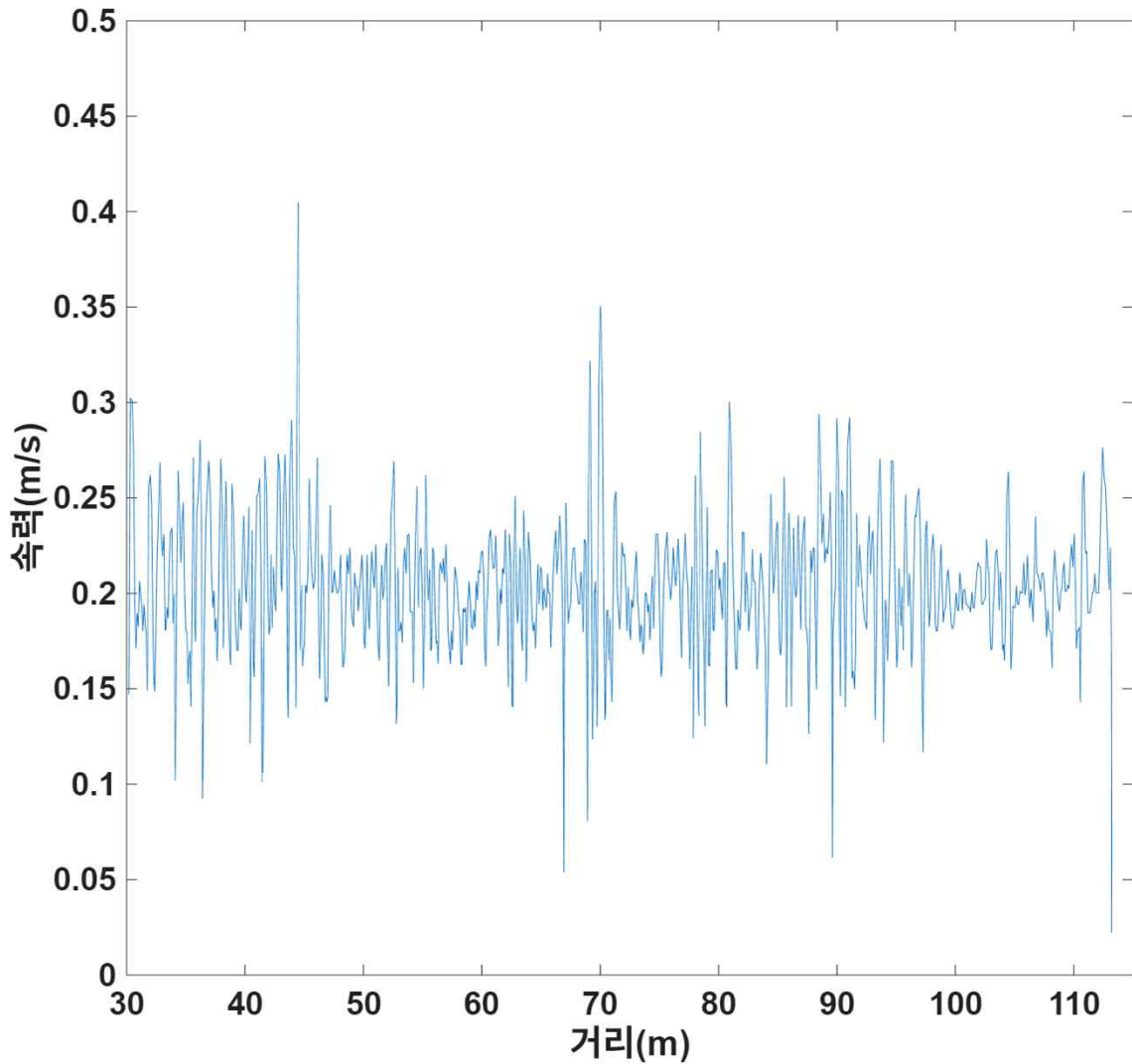
(그림 I.1-1)은 측정할 영암 화성산 방송국 철탑이다. 이 방송국은 대출력이 아니고, 다른 주파수의 방사도 많지 않아 측정기기의 간섭을 일으킬 부분이 없다. 주변에 통신용 철탑이 있어 드론측정시 이 부분을 주의해서 측정해야 한다. 측정할 DTV는 채널 25번을 사용하고, 중심주파수 539 MHz, 송신출력 20 W이고, 허가된 ERP는 83 W이다. 측정거리 10 m 기준으로 기본 전송손실이 (수식 5-4)에 따라 47 dB 가량 발생하여 스펙트럼 분석기에 간섭이나 보호가 필요 없을 수준이다. 안테나 형식은 4 다이폴 안테나에 2개의 판넬로 구성되어 있다. 드론용 측정 시스템은 이중 RTK를 이용하여 위치의 정확도를 높였고, 소형 스펙트럼 분석기와 가벼운 드론용 안테나, 미니 컴퓨터로 구성되어 있다. 실시간 측정 데이터를 지상 제어기쪽으로 전송하는 기능이 있어 현재 측정값을 모니터링이 가능하다.



(그림 I.1-1) 드론을 이용하여 측정할 DTV 방송국 철탑

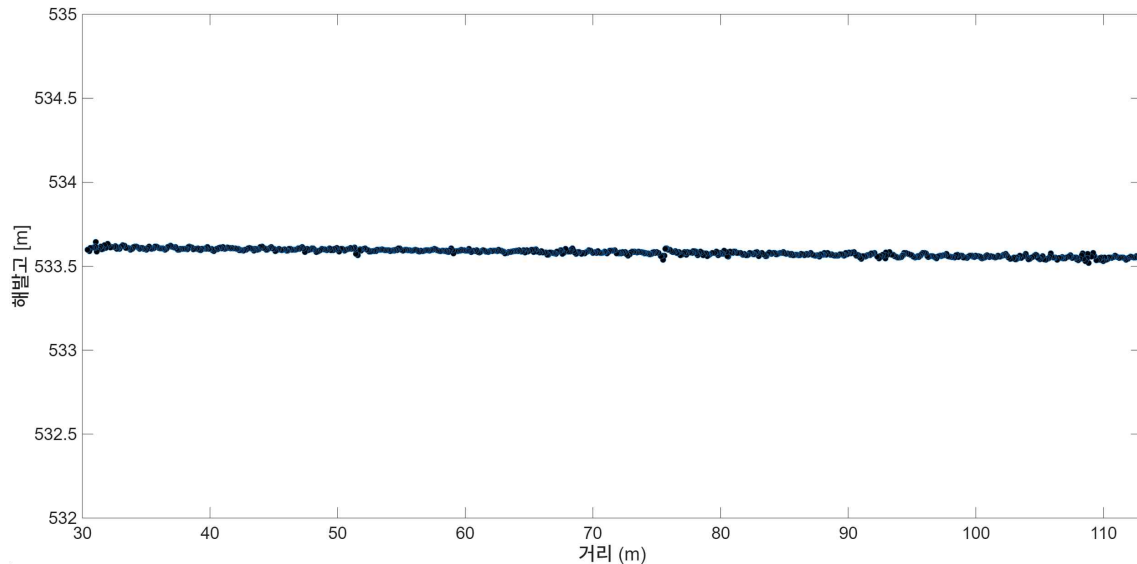
1.2 전파비행

전파비행은 안테나 해발고 535.6 m (지상고 28.5 m)높이에서 0.2 m/s 속력으로 안테나 중심으로 부터 115 m 떨어진 곳에서 부터 30 m 떨어진 거리까지 초당 2회씩 측정하여 수행하였다. (그림 1.2-1)은 전파비행하는 동안 속력의 변화를 보인 것이다. 0.2 m/s 를 중심으로 최대 0.4 m/s 부터 최소 0.02 m/s 까지 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 바람에 의해 드론에 속도 차이가 발생하는 것을 알 수 있지만 대체적으로 0.2 m/s 부근에서 이동하는 것을 알 수 있다.



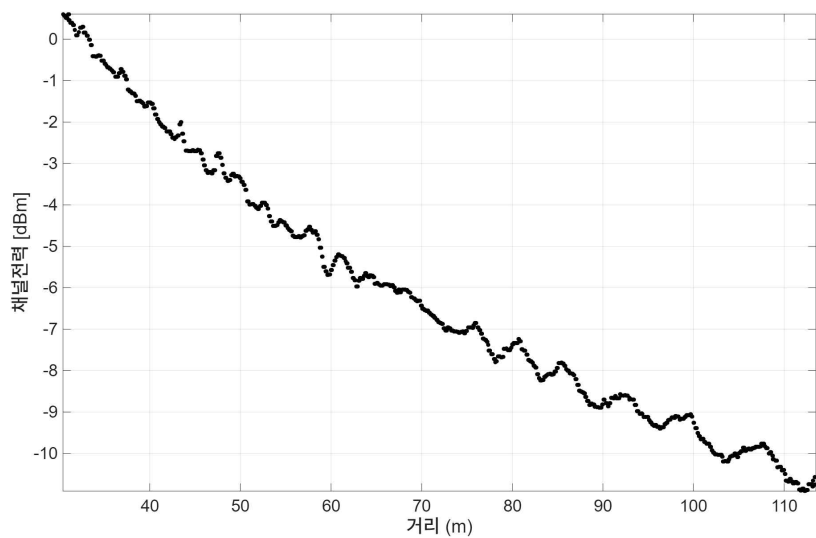
(그림 1.2-1) 전파비행 중 거리에 따른 속력의 변화

(그림 1.2-2)는 전파비행하는 동안 해발고의 변화를 보인 것이다. 안테나로부터 115 m 떨어진 거리에서 30 m 까지 접근하는 동안 해발고의 변화가 거의 일정하여 변화가 없는 것을 알 수 있다.



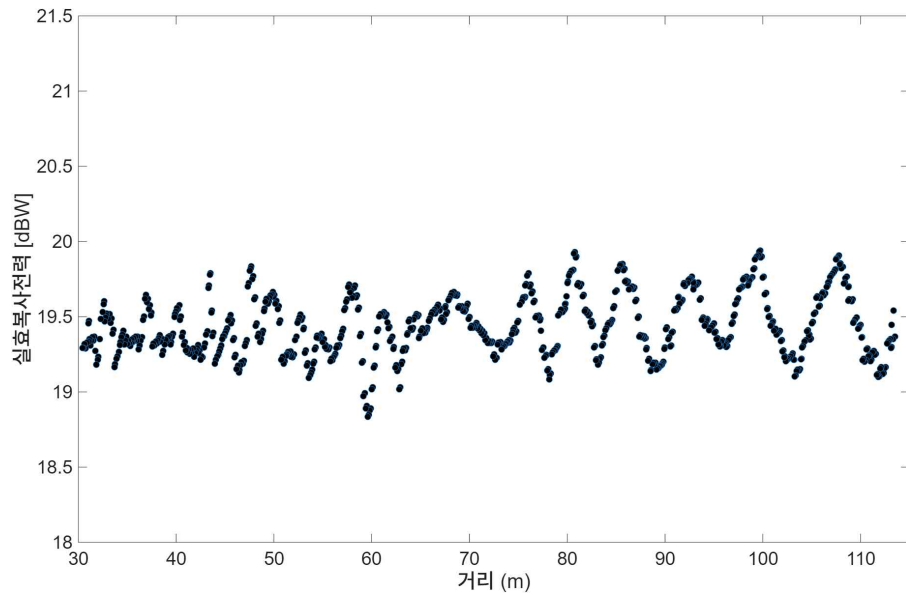
(그림 1.2-2) 전파비행 중 거리에 따른 해발고도의 변화

(그림 1.2-3)은 전파비행하는 하면서 거리에 따라 측정된 채널 전력의 변화를 보인 것이다. 거리가 멀리 떨어질 수록 채널 전력의 변화가 크면서 가까워 질 수록 변화폭이 좁아지는 것을 알 수 있고, 거리가 2배 정도 차이가 있을 시 6 dB 가량 차이가 나는 것을 알 수 있다.



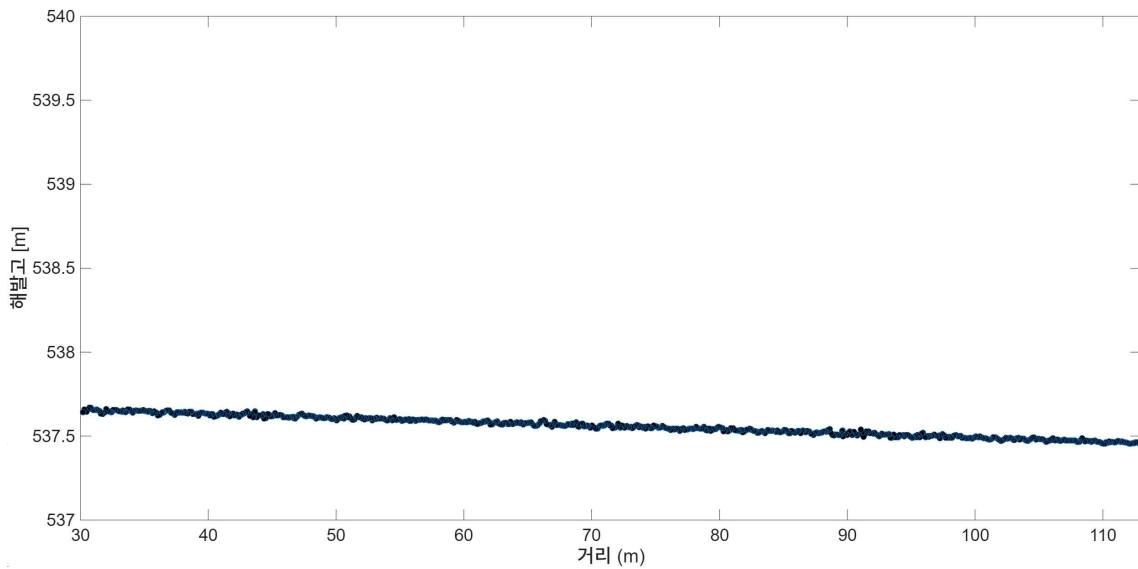
(그림 1.2-3) 전파비행 중 거리에 따른 채널 전력의 변화

(그림 1.2-4)는 측정된 채널 전력으로 부터 계산된 ERP를 거리에 따라 보인 것이다. 약 19.5 dBW 정도의 값에서 지면 반사 등에 의해서 값이 커졌다 작아지는 것을 볼 수 있고, 철탁으로 부터 멀리 떨어질 수록 반사파에 의한 영향이 커져서 진폭이 큰 것을 알 수 있다. 최적의 측정 위치는 ERP가 19.5 dBW에서 변동이 없는 구간이 최적의 측정 위치이다.



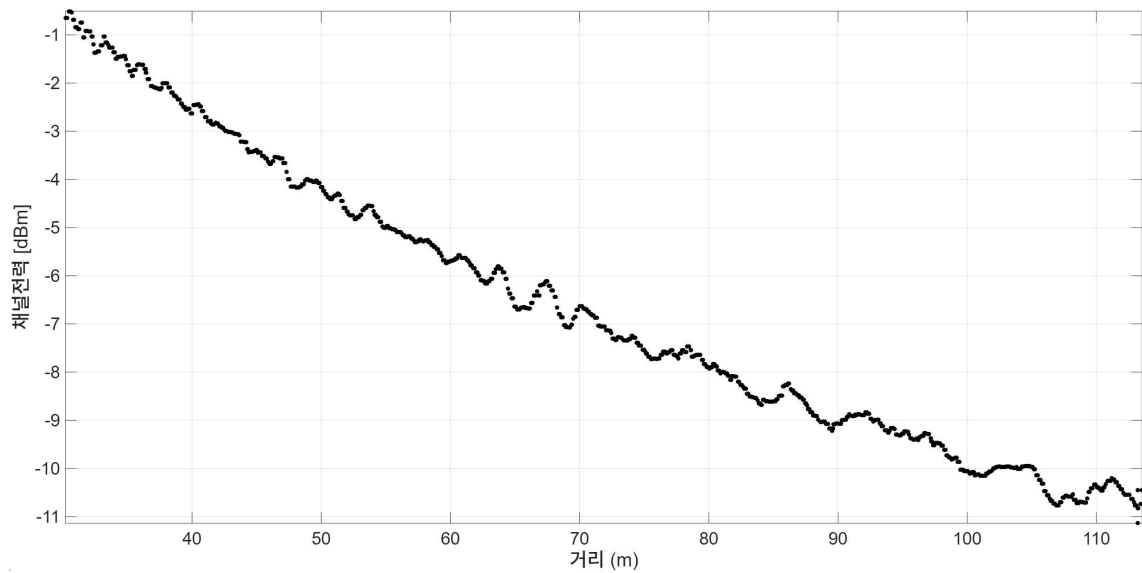
(그림 1.2-4) 안테나 중심 높이에서의 전파비행 중 ERP 측정값

(그림 1.2-5)는 실제 안테나 중심보다 4 m 높은 위치에서 전파비행을 수행한 것으로 거리에 따른 해발고의 변화를 보인 것이다. 안테나 중심으로 부터 115 m 떨어졌을 때 부터 30 m 까지 거리까지 측정한 것으로 해발고가 거의 일정하나 15 cm 가량 올라간 것을 알 수 있다.



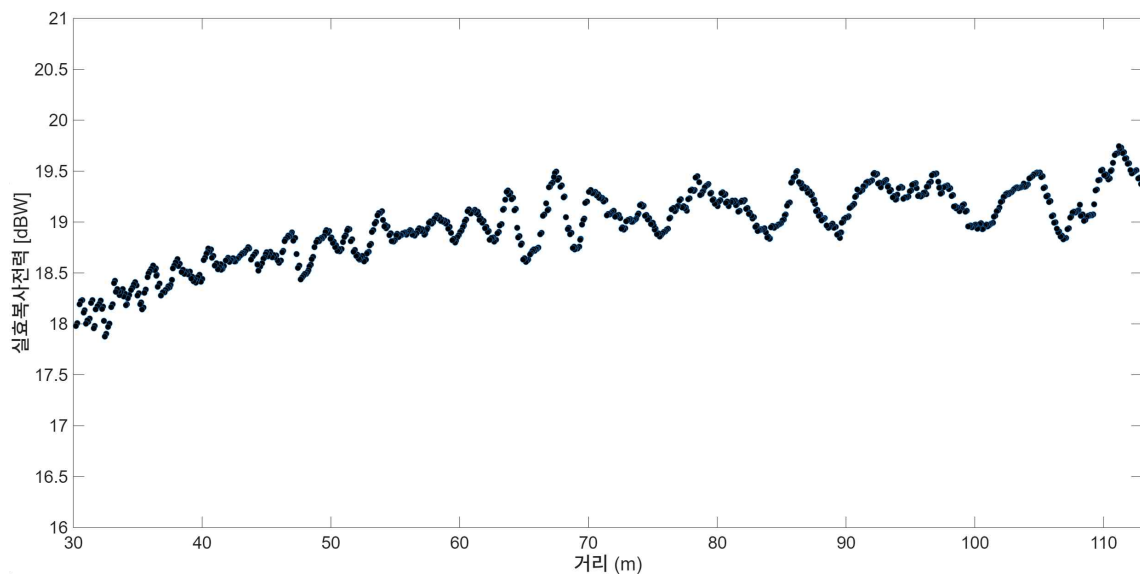
(그림 1.2-5) 안테나 중심보다 높은 위치에서 전파비행 중 해발고의 변화

(그림 1.2-6)은 측정된 채널 전력을 보인 것이다. (그림 1.2-3)과 유사하게 측정된 것을 알 수 있다.



(그림 1.2-6) 안테나 중심보다 높은 위치에서 전파비행 중 채널 전력 변화

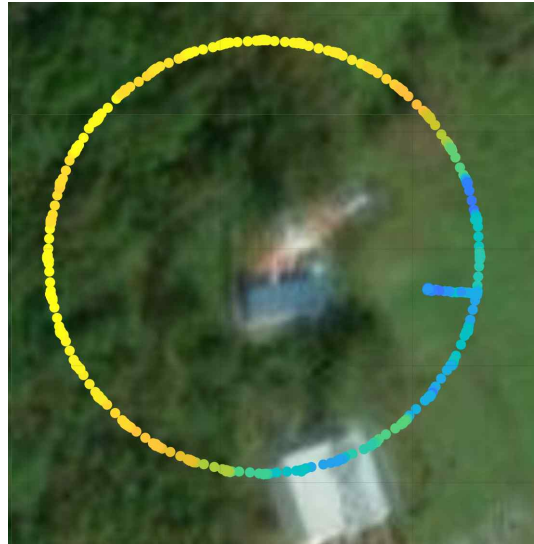
(그림 1.2-7)은 측정된 채널 전력을 이용하여 ERP를 계산하여 보인 것이다. 측정 위치가 안테나 중심보다 높은 위치에서 측정이 수행됐기 때문에 (그림 5-2)의 안테나 중심보다 높은 위치에서 전파비행 측정시 ERP가 계속 감소하는 특성을 측정을 통해서도 확인할 수 있다.



(그림 1.2-7) 안테나 중심보다 높은 위치에서 전파비행 중 ERP 변화

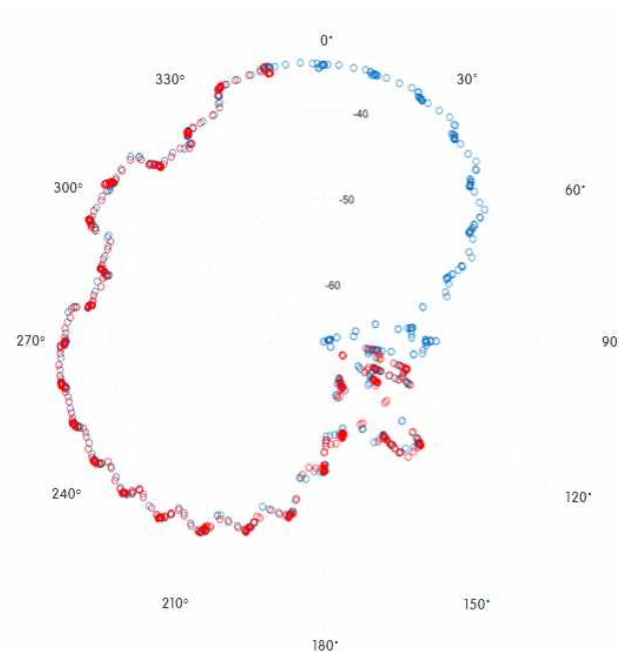
1.3 원주비행

원주비행은 수평방사패턴을 측정하기 위하여 안테나의 중심을 기준으로 360° 회전하면서 측정한다. 측정은 철탑 오른쪽 아래에서 출발하여 안테나 중심의 높이에서 부터 측정한다. 각도는 10° 간격에서 10초동안 호버링 상태로 측정하며, 드론의 이동 속도는 3 m/s 이고, 초당 2회씩 이동 중에도 측정을 수행하였다. (그림 1.3-1)은 드론 경로와 측정된 지점을 나타낸다.



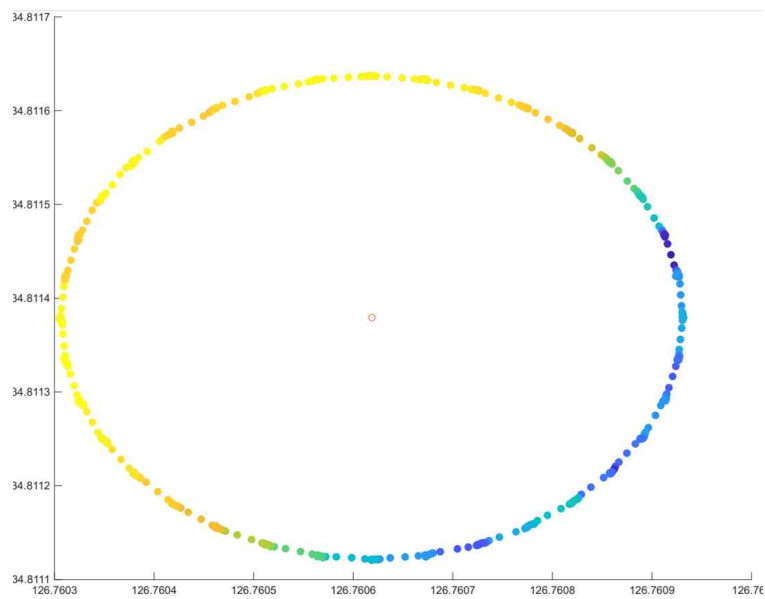
(그림 1.3-1) 드론의 원주비행 경로

(그림 1.3-2)는 원주 비행을 2번 수행하여 측정 오차를 확인한 결과이다. 측정경로 위치에 대한 것과 측정값이 거의 일치하는 것을 알 수 있다.



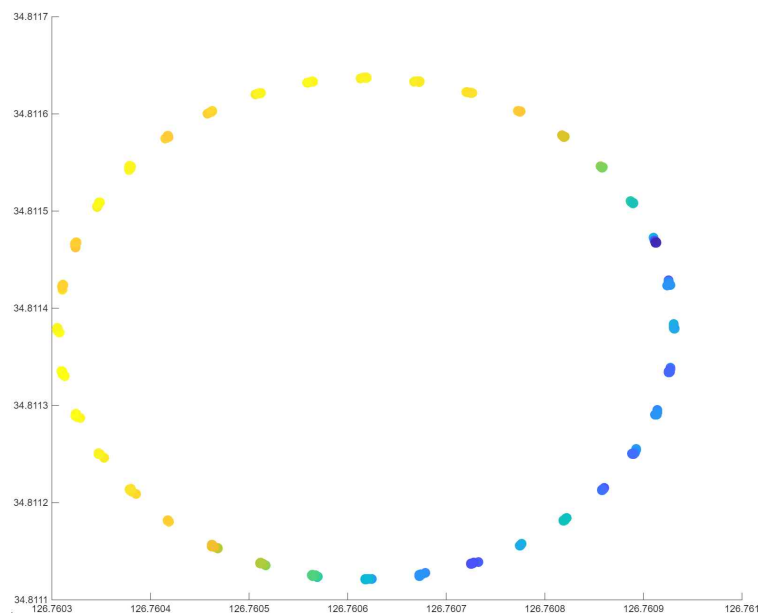
(그림 1.3-2) 원주비행의 측정결과 재연성

(그림 1.3-3)은 원주비행한 결과로 안테나의 중심을 일정한 거리를 두고 원주 비행한 결과를 보인 것이다. 붉은색 부분이 신호가 약한 부분이고, 얇은 노란색 부분이 측정값이 높은 것을 나타낸다. 이동 중에 측정된 값까지 모두 포함하고 있다.



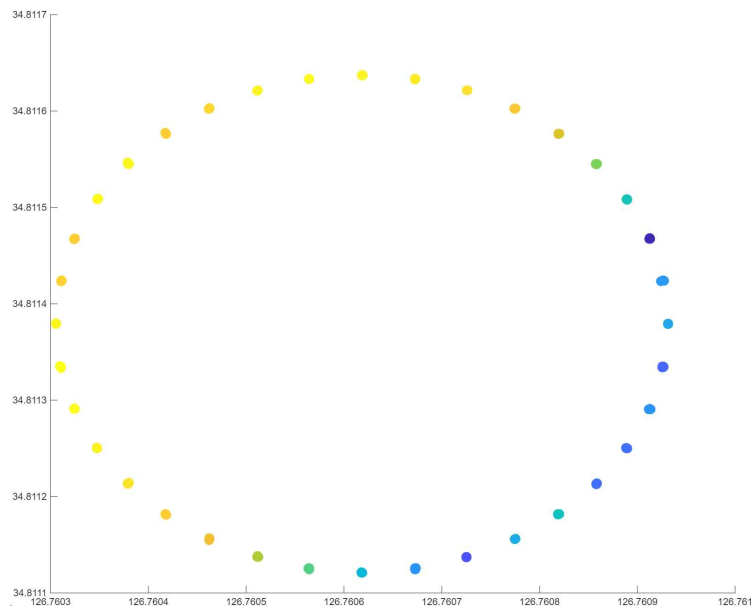
(그림 1.3-3) 원주비행의 측정결과

(그림 1.3-4)는 원주비행 중 속도가 0.3 m/s 이하의 측정결과를 보인 것이다. 고정되어 있어 보이거나 약간의 움직임이 있어 보인다. 이동하다 호버링을 위해 속도가 줄어들면서 측정된 것이다.



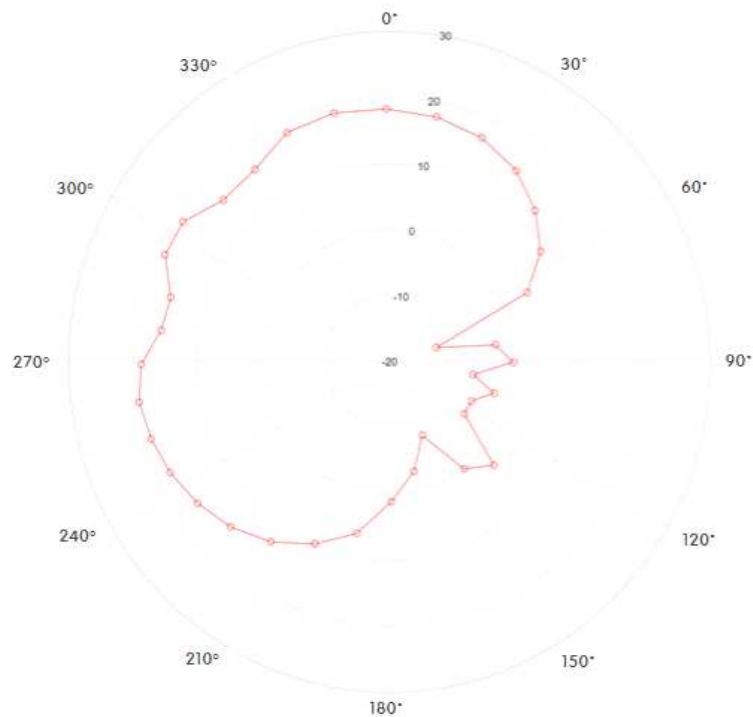
(그림 1.3-4) 0.3 m/s 이하의 속도에서의 원주비행의 측정결과

(그림 1.3-5)는 원주비행 중 속도가 0.1 m/s 이하의 측정결과를 보인 것이다. 거의 고정되어 측정되는 것을 알 수 있다.



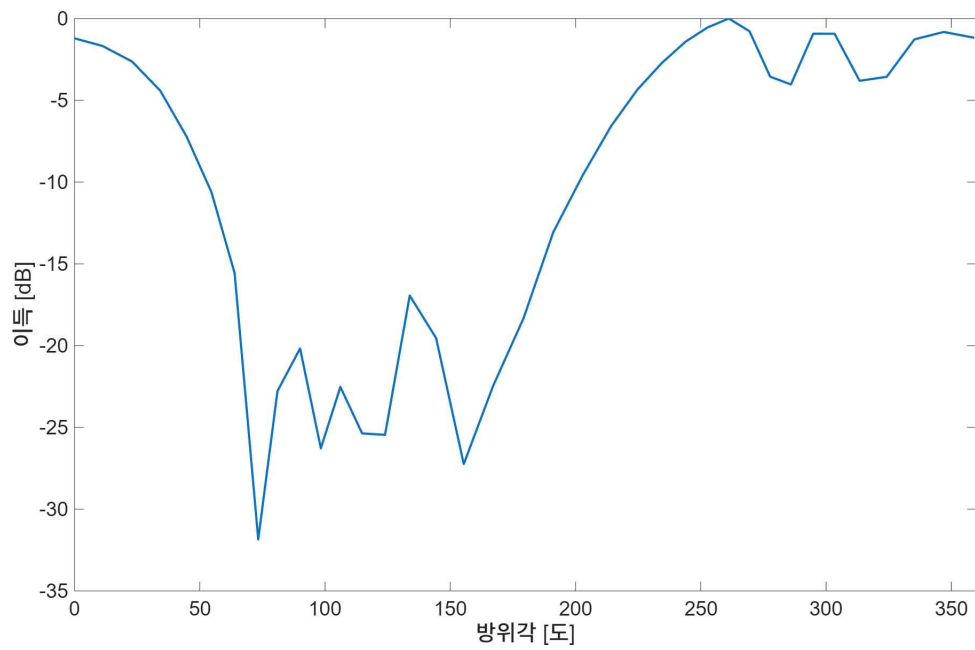
(그림 1.3-5) 0.1 m/s 이하의 속도에서의 원주비행의 측정결과

(그림 1.3-6)은 10° 간격으로 측정된 값을 선형 보간을 통한 ERP의 수평패턴을 보인 것이다.



(그림 1.3-6) ERP 기준 수평 패턴

(그림 1.3-7)은 직사각평면상의 안테나의 수평패턴을 보인 것이다. 최대 방사는 265° 정도이다.

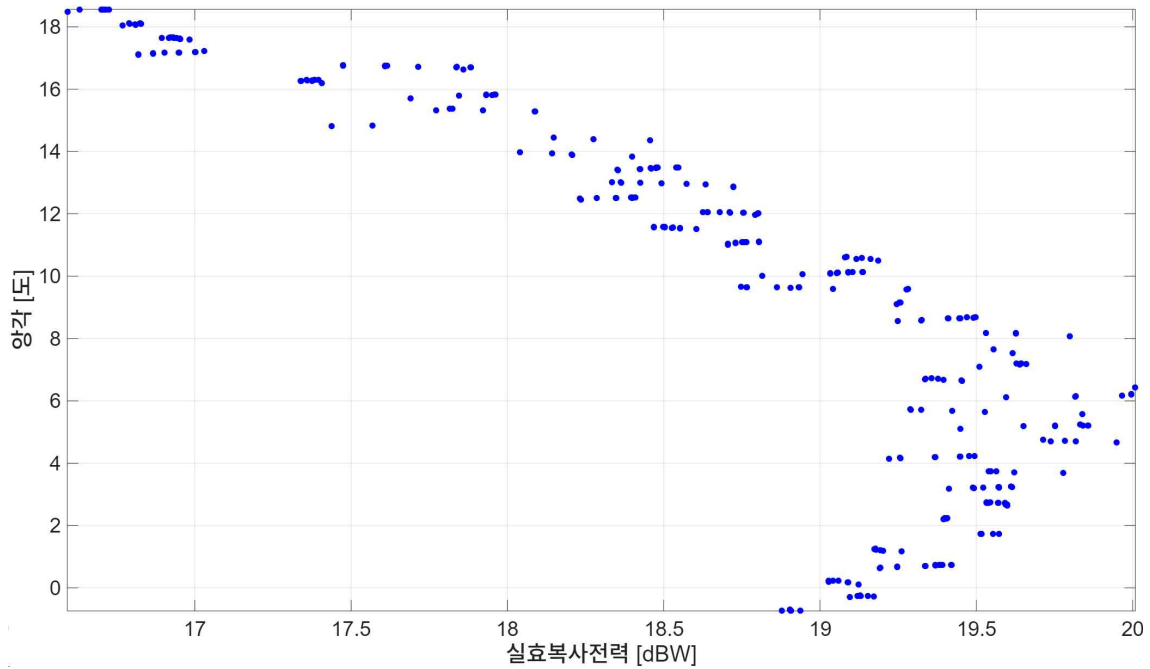


(그림 1.3-7) 수평 안테나 패턴

1.4 수직비행

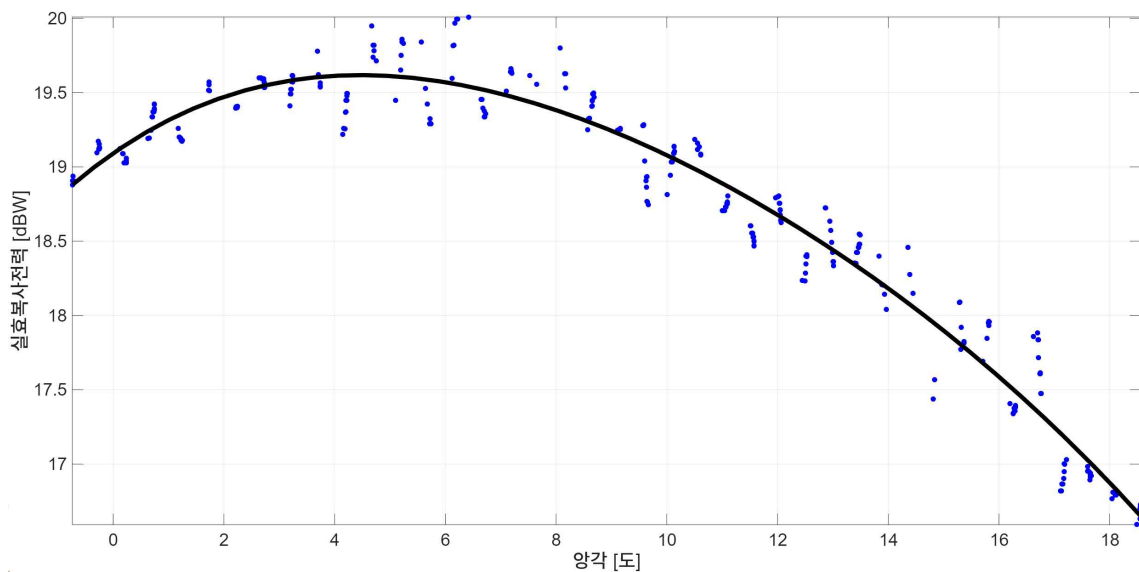
수직방사패턴을 측정하기 위하여 안테나 중심(0°)으로 -5° 부터 18.5° 까지 각도범위에서 0.5° 간격으로 측정을 수행하였다. 이동속도는 3 m/s 이고, 10초동안 호버링 상태에서 측정을 수행하였다.

(그림 1.4-1)은 0.5° 간격으로 측정된 값을 ERP 값을 보인 것이다. 각 위치에서 최대 0.7 dB 정도의 변화를 보인다.



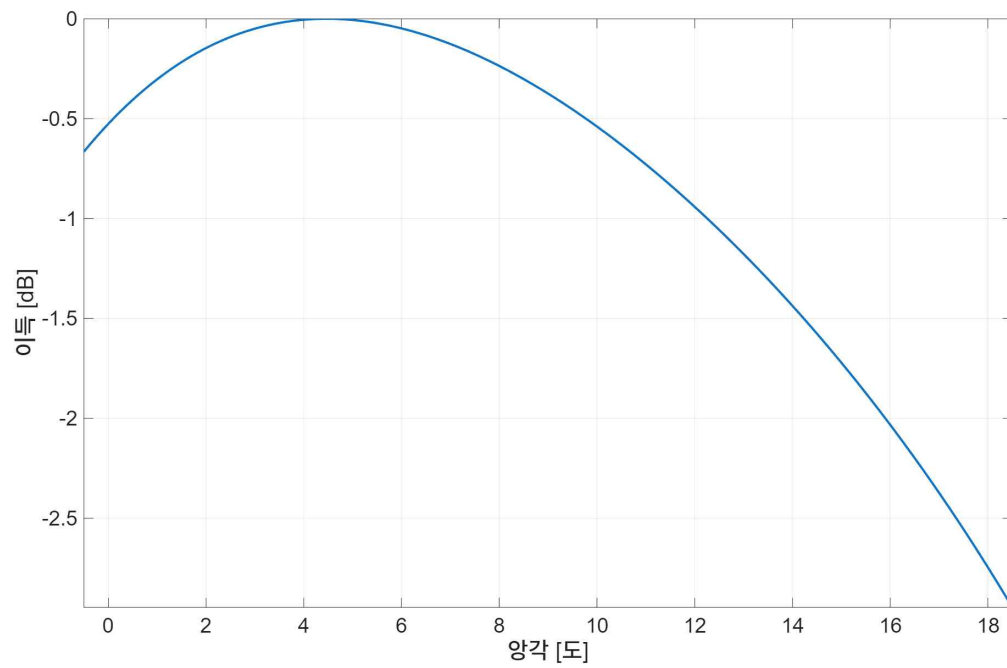
(그림 1.4-1) 양각에 따른 실효복사전력

(그림 1.4-2)는 측정된 값을 ERP 값을 곡선 피팅을 한 결과를 보인 것이다.



(그림 1.4-2) 실효복사전력 곡선 피팅

(그림 1.4-3)은 측정된 데이터로 부터 곡선피팅된 수직 안테나 패턴을 보인 것이다. 약 4.5° 에서 최대 방사가 발생하는 것을 알 수 있다.



(그림 1.4-3) 수직 안테나 패턴

부 록 II-1

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

지식재산권 확약서 정보

해당 사항 없음.

아래에 기재된 지식재산권 확약서 이외에도 본 표준이 발간된 후 접수된 확약서가 있을 수 있으니, TTA 웹사이트에서 확인하시기 바랍니다.

II-1.1 지식재산권 확약서(1)

- 발명의 명칭
- 권리자의 성명
- 등록(출원) 번호
- 등록(출원) 연월일
- 실시조건
- 확약서 접수일

II-1.2 지식재산권 확약서(2)

- 발명의 명칭
- 권리자의 성명
- 등록(출원) 번호
- 등록(출원) 연월일
- 실시조건
- 확약서 접수일

부 록 II-2

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

시험인증 관련 사항

해당 사항 없음.

II-2.1 시험인증 대상 여부

II-2.2 시험표준 제정 현황

부 록 II-3

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

본 표준의 연계(family) 표준

해당 사항 없음.

II-3.1

II-3.2

부 록 II-4

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

참고 문헌

[1] Report ITU-R SM.2056-1, Airborne verification of antenna patterns of broadcasting stations, 06/2024.

[2] Recommendation ITU-R BS.1195-1, Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF, 01/2013.

아래 기재된 참고 문헌의 발간일이 기재된 경우, 해당 표준(문서)의 해당 버전에 대해서만 유효하며, 연도를 표시하지 않은 경우에는 해당 표준(권고)의 최신 버전을 따른다.

부 록 II-5

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

영문표준 해설서

해당 사항 없음.

1 대항목(절) 제목

2 대항목(절) 제목

부 록 II-6

(본 부록은 표준을 보충하기 위한 내용으로 표준의 일부는 아님)

표준의 이력

판수	채택일	표준번호	내용	담당 위원회
제1판	2026.01.01	제정 TTAx.xx-xx.xxxx	-	지상파방송 프로젝트그룹 (PG802)

드론이용 지상파방송 TV 송신 안테나
ERP/지향특성 측정표준(안) 마련 연구



국립전파연구원

National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2025. 12.

발 행 인 : 정 창 립

발 행 처 : 과학기술정보통신부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4623

인 쇄 : 경성문화사

Tel. 02) 786-2999

ISBN : 979-11-5820-277-4 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.

