

드론 운용을 위한 433 MHz 전파 측정 및 분석

Measurement and Analysis of 433 MHz Radio Wave for Drone Operation

이성렬

목포해양대학교 항해정보시스템학부

Seong-Real Lee

Division of Navigational Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

[요 약]

드론 운용을 위한 주파수로 현재 2.4 GHz와 5 GHz 대역을 사용하고 있다. 드론의 비가시 장거리 운용을 위하여 2019년 12월 과학기술정보통신부는 433 MHz 대역을 신규 할당하였다. 하지만 433 MHz 대역은 기존에 할당된 아마추어 무선통신을 위한 주파수 대역과 동일하기 때문에 간섭 발생을 피할 수 없다. 따라서 433 MHz 대역을 기반으로 하는 드론 운용 시스템 개발에 필수 조건으로 이 주파수 대역에 대한 간섭 회피 기술이 개발되고 적용되어야 한다. 본 논문에서는 433 MHz 대역 신호의 간섭 회피 및 저감 기술 개발에 필요한 433 MHz 대역 신호의 측정과 분석 결과를 보고하고자 한다. 433 MHz 대역 신호의 측정과 분석은 3곳에서 5분 간격으로 측정된 스펙트럼을 통해 이루어졌다. 본 연구에서 수행된 측정과 분석은 공간적 특성, 시간적 특성 및 트래픽 특성 등을 고려하였기 때문에 433 MHz 대역의 간섭 회피 기술 개발에 필요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

[Abstract]

Currently, 2.4 GHz and 5 GHz bands are used as frequencies for drone operation. In December 2019, the Ministry of Science and ICT newly allocated the 433 MHz band for the invisible long-distance operation of drones. However, since the 433 MHz band is the same as the previously allocated frequency band for amateur radio communication, interference cannot be avoided. Therefore, as a prerequisite for the development of a drone operation system based on the 433 MHz band, interference avoidance technology for this frequency band must be developed and applied. In this paper, we report the results of measurement and analysis of 433 MHz band signals necessary for the development of interference avoidance and reduction technologies for 433 MHz signals. The measurement and analysis of the 433 MHz band signal are performed through the spectrum measured at 5-minute intervals at three locations. Since the measurements and analyzes performed in this study considered spatial characteristics, temporal characteristics, and traffic characteristics, it is considered to be the basic data necessary for the development of interference avoidance technology in the 433 MHz band.

Key word : Drone operation, Interference, Invisible long-distance, Spectrum analyzing, Amateur radio communication.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.2.209>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 March 2023; **Revised** 31 March 2023

Accepted (Publication) 26 April 2023 (30 April 2023)

***Corresponding Author; Seong-Real Lee**

Tel: +82-61-240-7264

E-mail: reallee@mmu.ac.kr

I. 서론

UAS (unmanned aerial system) 또는 UAV (unmanned aerial vehicle)로 불리는 무인 항공 시스템은 물류·운송, 영상촬영, 농업, 측량 및 재난감시를 위시한 모든 분야에서 이동 수단 혁신 외에 많은 것을 바꿔놓고 있다. 배터리 기술의 진보에 따른 전기로 추진되는 소형 UAS나 드론의 개발과 궤도에 따른 발전된 항법 기술 등에 의해 UAM (urban air mobility), 즉 도심 항공 모빌리티에 거는 기대가 매우 커지고 있다 [1].

무인 항공 시스템에서 소형 드론(drone)이 차지하는 비중이 아직까지 가장 높은 상황에서 드론의 비가시권·장거리 비행 등에 있어 드론의 활성화 제고를 위해서는 운용 거리를 10 km 이상으로 증가시켜야 하는 당면 과제에 직면해 있다[2]. 운용 거리 증대는 현재 사용하고 있는 주파수인 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역 주파수보다 파장이 긴 주파수 대역을 신규로 발굴해야 한다.

2019년 12월 과학기술정보통신부는 “상업용 드론 시장 개척을 위해 433 MHz 대역 등 비가시 장거리 제어용 저주파수를 발굴한다”는 정책을 발표했고 [3], 2021년부터 2025년까지 광운대학교 컨소시엄을 통해 과학기술정보통신부는 433 MHz 기반 드론 응용 통신기술개발 및 실증 사업을 수행 중에 있다 [4].

하지만 국내에서는 현재 기존 아마추어용 무선국이 433 MHz 대역을 사용하고 있기 때문에 이 대역과의 간섭을 최소화하기 위한 기술적 조치 등이 선행되어야 한다. 이러한 현실적 제한을 극복하기 위한 방안, 즉 433 MHz 대역 혼신과 간섭 회피 방안도 상기의 실증 사업 내용에 포함되어 있다. 소형 드론에서의 433 MHz 대역 혼신과 간섭 회피 기술의 개발은 현재의 433 MHz 대역 신호의 측정과 분석을 통해 이루어져야 한다.

따라서 본 논문에서는 우선 국내의 드론 주파수 현황을 살펴보고, 실증 사업에서 제안하는 433 MHz 드론 제어용 주파수 운용 계획을 제시하고자 한다. 아울러 433 MHz 대역 신호의 실측을 위한 시스템 구성, 그동안 수행되었던 실측 데이터 내용과 분석 결과를 보고자 하고자 한다.

II. 우리나라 드론 주파수 운용 현황과 433 MHz 주파수의 신규 제안

드론 항행을 위한 우리나라 주파수 분배 내용을 간단하게 요약하면 2016년 10월 5091~5150 MHz 대역 59 MHz 폭이 공급된 바 있으며, 제어용의 경우 소형 무인 항공기는 2.4 GHz와 5 GHz 대역 비면허 주파수(ISM)를 이용하고, 중대형 무인기는 전용대역을 이용하는 추세에 따라 5,030~5,091 MHz 대역을 지상 제어용 주파수로 분배하였다 [3].

현재 아마추어 무선국이 점유했던 430 MHz 대역은 과기정통부의 주파수 재분배에 따라 그림 1과 같이 RFID/USN, TPMS, RKE, 자동주차 (원격주차) 등이 높은 대역을 이미 할당 받았다. 이러한 이유로 본 연구 컨소시엄은 그림 1과 같이 430 MHz 대역의 다양한 서비스 중 아마추어 무선국 (HAM) 외 다른 서비스와의 간섭이 없도록 드론 제어용 주파수를 433 MHz ± 0.5 MHz (1 MHz 대역폭) 대역을 제안하여 그에 관련된 연구를 진행하고 있다. 하지만 그림 1에서도 알 수 있듯이 아마추어 무선국이 넓은 대역에 걸쳐있기 때문에 433 MHz 드론 운용을 위해서는 아마추어 무선국과의 간섭을 회피하는 기술이 적용되어야 한다 [2].

433 MHz 혼간섭 저감이나 회피는 다양한 기술 적용 방식이 가능하다. 하지만 드론 운용 환경과 서비스 품질과 관련한 혼간섭 저감과 회피 기법의 선택과 적용을 위해서는 아마추어 무선국과의 혼간섭 특성 예측과 분석을 위한 사례 분석, 모의시험과 실측을 통한 기초 자료가 제공되어야 한다 [2].

III. 433 MHz 신호 실측을 위한 시스템 구성

그림 2는 433 MHz 대역 신호 실측을 위한 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 현재 송출되고 있는 433 MHz 대역 신호의 주파수 대역과 전력 레벨 등을 실시간으로 측정하고 저장하는 단순한 과정의 반복이기 때문에 시스템 구성도는 매우 간단하다. 기본 구성은 스펙트럼 분석기는 측정 지점의 위치를 알 수 있도록 GPS option이 추가된 일반적인 제품을 사용하였고, 433 MHz 안테나는 차량용 다이폴(dipole) 안테나를 선택하였다. 측정 위치 측위를 위하여 사용된 GPS 안테나는 GPS 신호를 저잡음 증폭할 수 있는 active 타입의 안테나로 제작하여 연결하였다. 그림 2의 랩탑 컴퓨터에서는 측정 환경과 파라미터를 설정하고, 그림 3과 같이 실측 데이터를 항목별로 실시간 저장

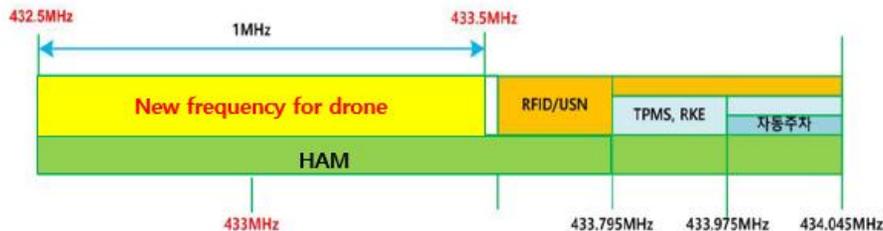


그림 1. 드론 항행을 위한 433 MHz 신규 주파수의 제안.

Fig. 1. Proposal of new frequency of 433 MHz band for drone navigation.

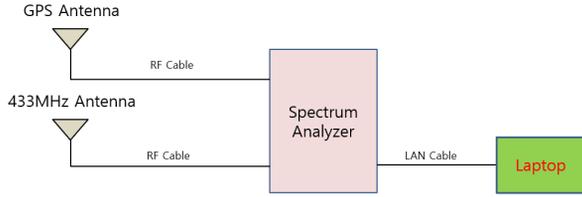


그림 2. 433 MHz 측정 시스템의 구성
Fig. 2. Configuration of measuring 433 MHz band signal.



그림 5. 433 MHz 측정 사진
Fig. 5. Picture of 433 MHz measurement.

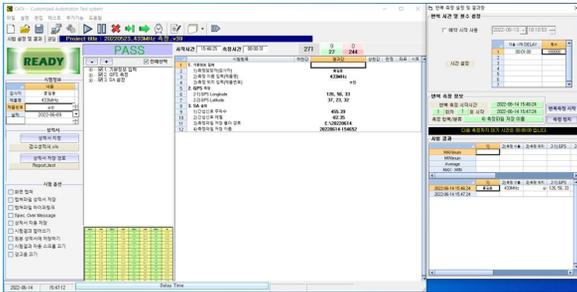


그림 3. 측정 소프트웨어 초기 화면
Fig. 3. Initial display of software for measuring.

표 1. 433 MHz 측정 결과
Table 1. Results of 433 MHz measurement.

Location	Average	Max.	Min.	Deviation
Seoul	-110.04	-60.58	-116.56	46.45
Anyang	-113.22	-60.35	-117.43	32.28
Mokpo	-105.26	-56.39	-118.68	36.39

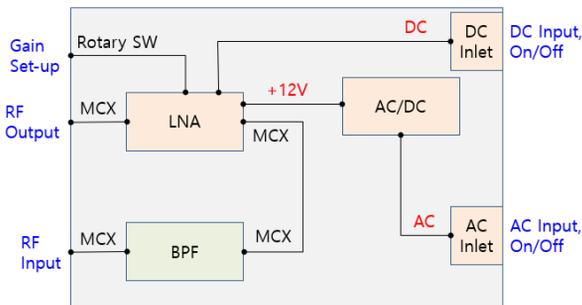


그림 4. 전치 증폭기의 구조
Fig. 4. Configuration of pre-amplifier.

하고 추후 분석을 위해 스펙트럼 분석기를 통해 얻어지는 모든 이벤트를 캡처하고 저장하는 기능을 가지도록 제작하였다.

그림 2의 시스템을 통한 측정 항목은 간섭 신호 주파수, 간섭 신호 레벨, 측정 위치의 위도 및 경도, 측정 일시 등이고, 소프트웨어를 통한 설정 항목은 측정 담당자, 측정 이름, 측정 위치, 측정 파일 저장 폴더, 측정 파일 저장 장소, 반복 측정 주기와 반복 측정 횟수 등이다.

433 MHz 안테나로부터 수신되는 신호는 시간과 공간, 그리고 강우 등의 기후적 요인에 따라 발생하는 감쇄에 의해 스펙트럼 분석기의 측정 정확도에 영향을 미칠 수 있다. 이를 보상하기 위하여 1차적으로 수신된 신호를 그림 4와 같은 전치 증폭기(pre-amplifier)를 설계 제작하여 스펙트럼 분석기 앞에 직렬로 연결하여 측정을 수행하였다.

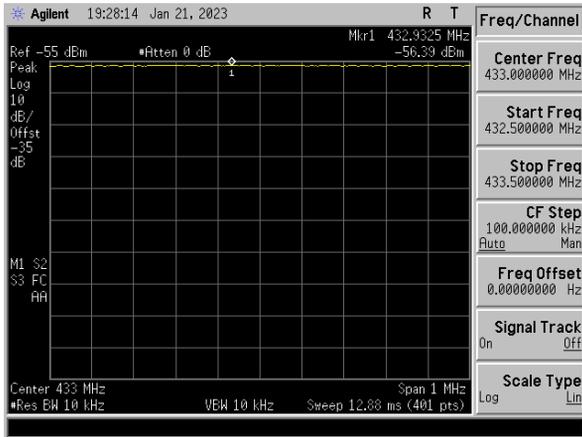
IV. 433 MHz 신호의 측정 결과 및 분석

433 MHz 신호의 실측은 서울(광운대학교), 안양(에이넷솔루션 실험실), 목포(목포해양대학교) 총 3곳에서 시차를 두고 2022년 11월 29일부터 2023년 3월 15일까지 수행했다. 그림 5는 3곳 중 목포에 설치된 측정 시스템을 나타낸 것이다. 측정 장소 3곳 모두 433 MHz 신호의 측정 간격은 5분으로 매 간격마다 432.5 MHz부터 3433.5 MHz의 1 MHz 대역폭 내에 나타나는 피크치(peak value)의 최소 수신 레벨과 최대 수신 레벨과 각각에 해당하는 주파수를 저장하였고, 각각의 스펙트럼도 캡처하여 저장하였다.

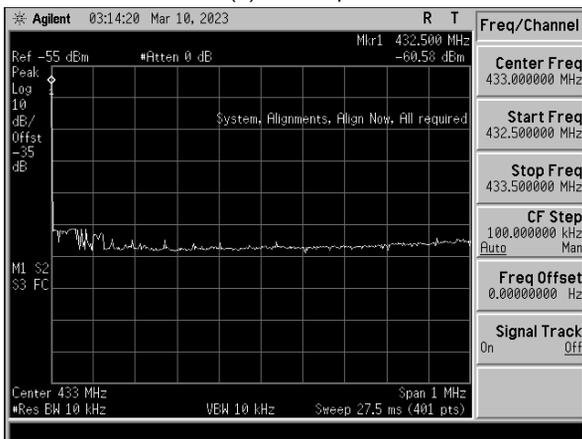
표 1은 서울, 안양, 목포 3군데에서 측정한 전체 데이터를 평균 수신 전력, 최대 수신 전력, 최소 수신 전력과 편차(평균값)를 정리한 것이다. 측정 지점 3곳 모두 평균 수신 전력은 -110 dBm 전후이고, 간섭에 큰 영향을 줄 수 있는 최대 수신 전력은 -56 dBm과 -60 dBm 정도로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

표 1에서 주목해야 할 결과는 목포에서 얻은 데이터로 다른 두 곳에 비해 평균 수신 전력과 최대 수신 전력이 비교적 높다는 것이다. 목포는 항구 지역으로 어선과 여객선 등의 운항이 잦은 곳으로 선박 통신용으로 할당된 200 MHz 대역의 VHF 통신이 빈번하게 수행되는 지역이다. 현재 선박국 간, 선박국과 해안국 간 통신 주파수로 433 MHz 대역이 할당되어 있지만 200 MHz 대역의 VHF 주파수의 고조파(harmonics)가 수신된 것으로 판단할 수 있다.

확인 결과 목포해양대학교는 아마추어 무선통신 동아리 활동이 없는 반면 광운대학교는 아마추어 무선통신 동아리 활동이 활발한 것으로 파악하였다. 목포 다음으로 1 MHz 대역폭 내에서 비교적 큰 수신 레벨 측정 횟수가 높은 곳이 광운대학교로 파악되었다. 이러한 측정 결과는 현재 그 근방의 전파 현황의 세부적 분석이 없는 단계에서는 아마추어 무선통신 전파에 의한 것이라고 잠정적으로 판단할 수 있다. 그림 6은 목포와 서울에서 측정된 최대 수신 레벨의 스펙트럼을 보인 것이다.



(a) at Mokpo



(b) at Seoul

그림 6. 433 MHz 측정 스펙트럼

Fig. 6. Spectrums of 433 MHz band signal.

표 2. 수신 레벨의 분포 분석

Table 2. Analysis of Reception power level distribution.

	< -110 dBm	-110 ~ -90 dBm	-90 ~ -70 dBm	> -70 dBm
Seoul	18,844	9,006	237	13
Anyang	27,214	2,614	60	7
Mokpo	7,777	20,556	689	20

측정된 433 MHz 대역 신호 중 최대 수신 레벨 발생 빈도가 서울과 목포에 비해 낮은 안양의 구체적 측정 장소는 인근에 아파트 등의 주택가가 밀집한 산업단지 내이다. 현재 433 MHz 대역을 사용하는 일반인들의 아마추어 무선통신 활동은 SNS와 스마트폰 보급 등으로 예전에 비해 대폭 감소한 상태로 이러한 변화가 반영된 주거지역이 밀집한 도심에서의 측정 결과가 나타난 것으로 판단된다.

표 2는 3곳에서 측정된 433 MHz 대역의 수신 레벨을 구간별로 정리한 것이다. 표 2에 보인 수신 레벨을 구간은 실측한 데이터를 근거로 하여 분석의 편의성을 감안하여 임의로 설정한 것이다. 임의로 설정한 수신 레벨 구간은 433 MHz 간섭 저감 기술 개발 과정에서 정해지는 기준 레벨과 433 MHz 통신 모듈

의 RF 송출 전력에 따라 추후 조정이 가능하다.

우선 설정한 구간에 대해 수신 레벨이 큰 순으로 그 비율을 보면, 서울의 경우 67.06%, 32.05%, 0.84%, 0.05%이고, 안양의 경우 91.03%, 8.74%, 0.2%, 0.02%이고, 목포의 경우는 26.78%, 70.78%, 23.72%, 0.07%로 나타났다. 즉 앞선 표 1의 결과를 증명하듯이 목포에서 얻은 측정 데이터가 다른 두 지역과 다르게 433 MHz 대역 신호 수신 레벨이 비교적 높고 그 분포에 있어서도 -110 ~ -90 dBm의 비중이 높은 것을 확인할 수 있다. 표 2로부터 파악할 수 있는 특성은 앞서 언급했듯이 433 MHz 대역 인근 신호 대역의 발생 빈도가 높은 지역에서의 간섭 발생 확률이 높아지는 하지만 간섭의 영향이 가장 클 것으로 판단되는 -70 dBm 이상의 433 MHz 대역 신호 발생 비율은 전체적으로 0.046% 정도로 매우 낮다는 것이다.

하지만 433 MHz 대역 신호의 송출 전력 크기에 반비례하여 발생 빈도가 낮아지는 하지만 그 매우 낮은 수치도 드론 운용에 영향을 미칠 수 있다는 사실을 간과해서는 안 될 것으로 생각된다. 이와 관련하여 본 연구에서는 분석을 하지 못했지만 간섭 가능성에 대한 시간적 영향 특성도 추후 수행해야 할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 드론 운용을 위한 신규 할당 주파수인 433 MHz 대역에서 아마추어 무선통신 등의 기존 통신 신호와의 혼신과 간섭 영향 분석을 위한 432.5 MHz부터 433.5 MHz의 1 MHz 대역폭 신호의 실측에 대해 살펴보았다. 본 논문에서 다룬 433 MHz 대역의 실측은 스펙트럼 분석 기반의 측정으로 공간과 시간적 제한 내에서 수행되었다.

실측을 통한 433 MHz 대역 신호의 분석 결과 우선 동일한 주파수 대역은 아니지만 인근 대역에서 발생한 고조파의 영향이 미칠 수 있는 지역, 예를 들어 항구나 해안 지역에서의 433 MHz 대역의 간섭이 발생할 것으로 예상된다. 또한 아마추어 무선통신 활동이 활발한 지역, 즉 대학 캠퍼스 지역에서도 433 MHz 대역의 간섭이 발생할 것으로 예상된다. 측정된 데이터를 근거로 판단해보면 이 두 공간에서의 간섭 정도는 다른 지역에 비해 최대 50 dBm 이상 클 것으로 판단된다.

현재 일반인들의 아마추어 무선통신 활동이 예전에 비해 크게 줄었지만 화재 등 재난 발생 지역에서의 구조 활동에 아마추어 무선통신을 적극 활용하고 있다. 광범위한 드론의 활용에 재난 발생 지역에서의 구조 활동도 포함된다. 즉 재난 발생이 일어난 지역에 아마추어 무선통신 트래픽과 드론 통신 트래픽이 동시에 발생할 가능성은 높다고 보아야 한다. 이 경우 433 MHz 대역 신호가 겹치게 되어 두 통신 간의 혼신과 간섭은 피할 수 없게 된다. 따라서 433 MHz 신호를 드론 운용을 위해 사용하고자 한다면 433 MHz 신호의 혼신과 간섭 회피 기술이 개발 적용되어야 한다.

현재 연구과제를 통해 개발되는 433 MHz 기반 드론의 최대 목표 반경은 20 km이다. 비교적 넓은 반경을 가지려면 송출 전력이 무선국 설비기준 범위 안에서 최대로 높여야 한다. 따라서 향후 433 MHz 신호의 혼신과 간섭 회피 기술 개발에 있어 최대 통신 반경과 본 측정을 통해 얻은 분석 결과 등을 동시에 교차 확인하여 반영해야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgments

이 논문은 2022년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업 “433MHz 기반 드론 응용 통신 기술 개발 및 실증(No. NRF-2022M1B3A3082059)” 지원에 의함.



이 성 열 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사), 1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
 2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사), 2002년 6월 ~ 2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장
 2004년 3월 ~ 현재 : 국립목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수
 ※관심분야 : WDM 전송 시스템, 광의 비선형 현상 분석, 광 솔리톤 전송

References

[1] S-. R. Lee, “Draft of interference scenario and pre-test of 433 MHz band for drone navigation,” in *Conference of Korea Navigation Institute 2022*, Seoul: Korea, pp. 137-139, Oct. 2022.
 [2] Y-. G. Lee and H-. S Lee, “Analysis of radio distortion in navigational aid using drone,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 23, No. 6, pp. 522-525, Dec. 2019.
 [3] [Internet]. Available : <http://www.newsway.co.kr/news/view?ud=2019120517101712562>.
 [4] [Internet]. Available : <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156498084>.
 [5] [Internet]. Available : <https://automation-world.co.kr/mobile/article.html?no=63770>.