

경량형 수신기를 활용한 비행 종료 시스템 성능검증 방안

이 재 용*

The Technique for Performance Verification of Flight Termination System using a Verification Receiver

Jae Yong Lee*

국방과학연구소의 지원을 받아 작성되었습니다.

요 약

본문은 탑재체의 축소형 모델인 경량형 수신기를 활용하여 비행 종료 시스템의 성능 검증 방법을 제시한다. 먼저, 원거리 다수 비행체 비행 종료 임무를 수행하기 위해 송신소가 충분한 안테나 이득과 출력을 확보하고 있는지 확인한다. 상용 드론에 수신기를 부착하고 원거리 수신 세기를 확인하는 것은 드론 조종 거리 제한 등 현실적 어려움이 있다. 이때, 원거리의 비행 구도를 근거리에서 모사하고 수신 세기를 측정함으로써 비행 전체 구간에 대해 비행 종료 가능함을 확인한다. 다음으로, 경량형 수신기를 활용해 송신소의 안테나 빔 패턴 측정 방법을 제안한다. 드론에 경량형 수신기를 부착하고 정지 비행한다. 이때, 송신 안테나를 빔 조향하고 경량형 수신기의 수신 세기를 바탕으로 안테나 빔 패턴을 확인한다. 마지막으로, 동일 비행 시험에서 다수 비행 종료 송신 시스템 운용할 때, 간섭이 발생하는 조건을 확인하고 적절한 운용 방안을 제시한다.

Abstract

This paper presents a performance verification method for Flight Termination Systems (FTS) using a lightweight receiver, which is a reduced-scale model of the actual payload. First, verify that the antenna gain and output power of the flight termination command station are sufficient to conduct long-range, multi-vehicle flight tests. Measuring long-range signal strength with a commercial drone is difficult in practice because of the drone's limited control range. By simulating long-distance flight profiles at a shorter range and measuring the signal strength, we verify the feasibility of completing the entire flight mission. Next, a method to measure the transmitter's antenna beam pattern using a lightweight receiver is presented. A lightweight receiver is mounted on a drone, which then performs a stationary hover. In this process, the transmitting antenna performs beam steering, and the antenna beam pattern is verified based on the received signal strength of the lightweight receiver. Finally, we identify the conditions under which interference occurs when operating multiple flight termination transmission systems during the same flight test and propose appropriate operational strategies based on the results.

Keywords

verification receiver, flight termination system, radar, telemetry, hand-over

* 국방과학연구소 제6기술연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6193-2928>

• Received: Feb. 27, 2026, Revised: Apr. 07, 2026, Accepted: Apr. 10, 2026
• Corresponding Author: Jae Yong Lee
Agency for Defense Development, Taean P.O Box 1, Chungnam,
32143, Korea
Tel.: +82-41-671-2421, Email: ljy@add.re.kr

I. 서 론

비행 종료 시스템은 비행체가 정해진 경로를 벗어나 비행하는 경우, 해당 비행체를 폭파하는 것을 말한다. 비행 종료 시스템은 비행 종료 명령을 송신하는 지상국과 해당 명령을 수신하여 폭파 임무를 수행하는 탑재체로 구성한다. 비행 종료 임무를 원활히 수행하기 위해서는 탑재체 최저 수신 감도 이상의 신호가 전달되어야 한다. 또한, 목표한 비행체를 적시에 폭파하기 위해 지상국과 탑재체 간 정해진 명령 방식을 준수해야 한다.

최근 다수 비행체 동시 운용 시 정해진 경로를 따르지 않는 비정상 비행체를 선별적으로 비행 종료하는 기술의 필요성이 증가하고 있다. 하나의 주파수를 사용하되 비행체 각각을 동시 혹은 다른 시점에 비행 종료하는 기술 등을 개발하고 있다. 이러한 기술을 적용한 비행 종료 시스템을 Enhanced Flight Termination System으로 부른다. 그 표준이 미국 Range Commanders Council 소속의 Inter Range Instrumentation Group에 의해 만들어졌으며, 관련 기술을 지속해서 개발하고 있다[1]-[4].

다수 비행체 비행 구도를 모사하기 위해 경량형 수신기를 활용한다. 그 형상은 그림 1과 같다. 경량형 수신기는 탑재체 일부 기능을 구현한 장비이다. 탑재체는 비행체 정보를 지상으로 송신하는 텔레메트리와 비행 종료를 위한 UHF 대역의 수신기 등으로 구성한다. 경량형 수신기는 이러한 구성품 중 비행 종료 시스템의 성능을 검증하기 위해 일부 기능만을 모사한 장비이다. 비행 종료 시스템의 성능을 검증하기 위해, 모든 구성품을 포함한 실제 탑재체를 이용하는 것은 다음과 같은 한계가 있다. 유선의 시스템은 통신 점검을 수행할 때 상시 전원을 사용하기 때문에 설치 위치가 제한된다. 또한, 탑재체와 상시 전원 간 유선으로 연결되기 때문에 수신기의 이동을 모사할 수 없다는 단점이 있다. 이처럼 수신기 설치 위치의 제약을 해소하고, 수신기의 이동을 모사하기 위해 경량형 수신기가 필요한 것이다. 또한, 경량형 수신기는 배터리가 내장되어 있으므로 일정 시간 무선 운용이 가능하다.

경량형 수신기를 이용하여 다수 비행체 동시 운

용 시 비행 종료 시스템 성능 검증 방안은 다음과 같다. 먼저, 다수 비행체 비행 구도에 대한 계측 장비의 비행 기록 획득 방식을 바탕으로 비행 안전 판단 기준을 제시한다. 다음으로, 경량형 수신기와 드론을 활용하여 비행 종료 송신 시스템의 안테나 성능을 확인한다. 마지막으로, 근거리 명령 동기화 시험과 동시 운용 안정성 확인 시험을 통해 동일 비행 시험 내 다수 송신소를 이용할 경우, 그 운용 방식에 있어 주의해야 할 점에 대해 제시한다.



그림 1. 경량형 수신기
Fig. 1. Lightweight receiver

II. 시험 계획 및 측정

2.1 계측 장비의 비행 기록 획득 방식을 이용한 비행 안전 판단 기준 제시

다수 비행체를 선별적으로 비행 종료하는 경우 판단 기준이 필요하다. 비행 시험 시 비행 기록의 누락을 방지하기 위해 텔레메트리, 레이더 계측 자원을 동일 시험에서 활용한다. 이때, 각 장비의 비행 기록 획득 방식을 비교하여 비행 안전 판단 기준을 제시한다. 시뮬레이션으로 도출한 비행경로와 탄착 영역을 대신하여, 계측 자원의 비행 기록 획득 방식을 통해 그 근거를 마련할 수 있다.

비행 시험에서 비행 기록을 획득하기 위해 텔레메트리와 레이더를 활용한다. 텔레메트리는 탑재체가 지상국으로 보내온 신호를 이용하여 비행 정보를 획득하는 시스템이다. 레이더는 표적이 반사한 신호를 처리하여 비행경로를 추적하는 시스템이다. 다수 비행체가 동시 운용되는 경우, 각각의 비행체에 텔레메트리가 있고, 하나의 비행체가 다른 비행체의 정보를 취합하여 비행 정보를 지상국으로 송신한다. 이때, 비행체의 협소한 공간은 비행체 간

통신을 위한 부품의 설치를 제한한다. 이러한 물리적 공간의 협소함은 비행체 간 통신 가능 거리를 한정하며 비행 안전 판단 기준이 된다.

비행 안전 판단을 위해서 전 비행 구간의 연속적인 비행 기록이 필요하다. 그림 2와 같이 레이더의 경우 오경보율을 포함한 수단으로써 추적 오류가 발생한다. 즉, 비행 전체 구간에 대한 연속적인 비행 기록 획득이 어렵다는 것이다. 따라서, 레이더는 비행 기록 획득 및 비행 안전 판단을 위한 보조적 수단이다.

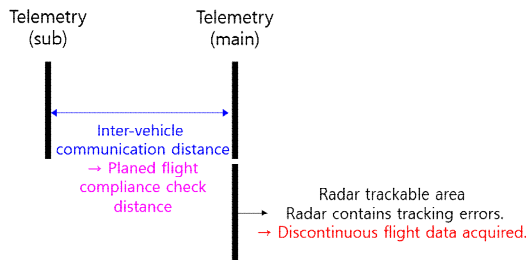


그림 2. 텔레메트리와 레이더의 비행 기록 수집 방식 비교
Fig. 2. Comparison of flight data acquisition between telemetry and radar

원거리의 다수 비행체 간 통신 가능 거리를 기준으로 비행 종료 성능을 검증하는 것은 현실적인 어려움이 있다. 원거리에서 다수 비행체를 모사하기 위해 상용 드론을 이용하는데, 조종이 가능한 거리의 한계가 있다. 이때, 근거리에서 원거리 비행 구도를 모사하여 성능 검증을 수행한다.

근거리 시험법의 시험 과정은 다음과 같다. 먼저, 비행체 간 통신 가능 거리를 기준으로 다수 비행체 비행 구도에 대한 worst case를 도출한다. 다음으로 상기 비행 구도(원거리)의 각 위치에서 수신 세기를 계산한다. 마지막으로, 근거리 수신 세기를 바탕으로 원거리 수신 세기를 확보할 수 있는지 확인한다.

그림 3의 비행 구도에서 각각의 비행체에 대한 수신 세기를 계산하면 다음과 같다. 식 (1)은 안테나 공학 분야에서 수신 세기 계산 시 일반적으로 이용하는 수식이다[5]. 여기서, P_{rx} 는 수신 세기, λ 는 파장, l 은 송신기와 수신기 간 거리이다. G_{tx} 는 송신 안테나 이득, G_{rx} 는 수신 안테나 이득, P_{tx} 는 송신기 출력이다. 상기 파라미터에 해당하는 구체적인 수치는 표 1과 같다.

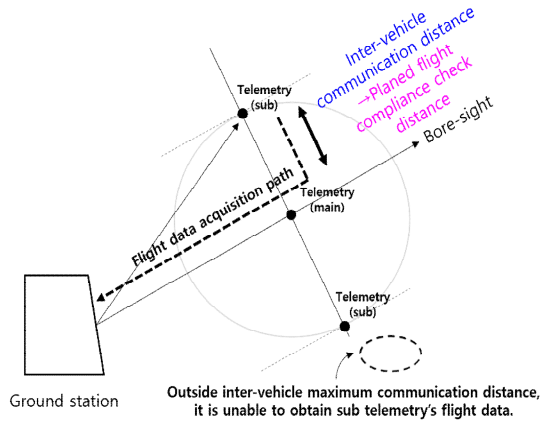


그림 3. 비행체 간 통신 가능 거리에 따른 계획 비행 준수 여부 판단 기준

Fig. 3. Planned flight compliance check according to inter-vehicle communication distance

$$P_{rx} = \left(\frac{\lambda}{4\pi l}\right)^2 G_{tx} G_{rx} P_{tx} \quad (1)$$

표 1. 비행 종료 송수신 시스템 사양

Table 1. Specification of transmitter & receiver

Parameter	Value
Frequency	UHF band
Range(l)	100 km ~ 1000 km
G_{tx}	16.07 dB
G_{rx}	-15 dB
P_{tx}	60 dBm
P_{rx}	-108 dBm

$$P_{rx} [V] = 0.5 [V] + (P_{rx} [dBm] - (-108 [dBm])) \times \left(\frac{0.05 [V]}{1 [dB]}\right) \quad (2)$$

비행 종료 송수신 시스템 간 데이터 링크 상태를 직관적으로 확인하기 위해 [V] 단위 수신 세기를 사용한다. [dBm] 단위 수신 세기와 [V] 단위 수신 세기 간 환산식은 식 (2)와 같다. 만약, 수신 세기가 -108[dBm] 라면, 0.5[V]를 통제원 PC 화면에 표시한다. [dBm] 단위 수신 세기가 1dB 증가할 때, [V] 단위 수신 세기는 0.05[V] 증가한다.

그림 4는 다수 비행체 비행 시나리오를 바탕으로 근거리와 원거리에서 수신 세기를 [V] 단위로 계산

한 결과이다. 근거리의 A, B 지점에서 계산값 이상의 신호를 수신한다면, 원거리의 C, D, E, F 지점에서 역시 계산값 이상의 신호를 수신할 수 있음을 가정한 것이다.

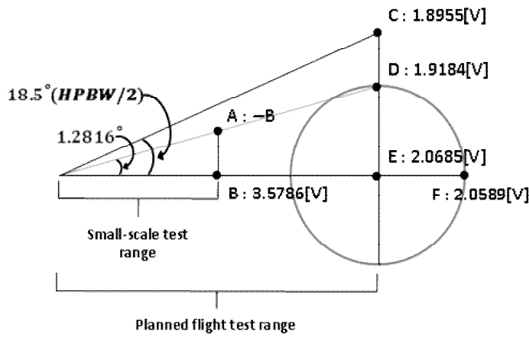


그림 4. 비행 시나리오에 따른 수신 세기 계산 결과
Fig. 4. Received power calculation result according to flight scenario

실측 결과는 다음과 같다. 먼저, 근거리에서 수신 세기를 측정하기 위한 경량형 수신기의 설치 환경은 그림 5와 같다. 비행 시험 시 안정적으로 비행 종료 임무를 수행하기 위해서 탑재체 내 비행 종료 시스템 수신기는 일정 세기 이상의 신호를 수신하여야 한다. 최저 수신 세기보다 낮은 신호를 수신할

경우, 그림 6과 같이 송신기와 수신기 간 데이터 링크의 동기 이탈 현상이 발생한다. 해당 그림의 가로로는 데이터를 저장하는 시간을 의미한다. 상태 1은 동기가 유지되는 것을 나타내며, 상태 0은 송신기와 수신기 간 동기 이탈이 발생하여 지령을 전달할 수 없는 상태를 의미한다. 이러한 이탈 현상을 지속할 경우, 자동 폭파 기능이 활성화되어 의도하지 않은 때에 비행체가 자체적으로 비행을 종료한다. 즉, 탑재체가 기준값 이하의 크기를 갖는 신호를 수신할 경우, 송수신기 간 데이터 링크가 끊어지며, 통제원이 의도한 때에 비행 종료할 수 없다.

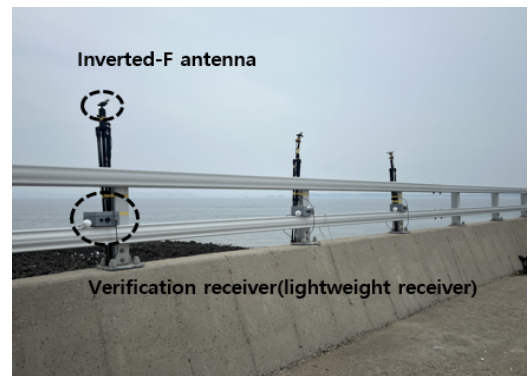


그림 5. Small-scale 시험 환경
Fig. 5. Small-scale test set-up

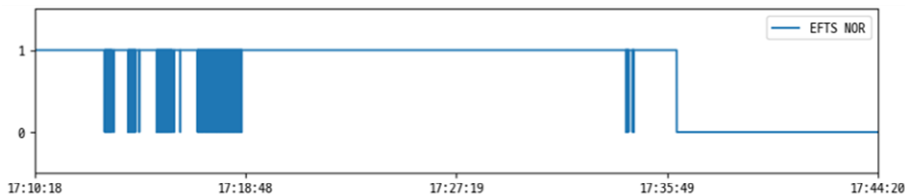


그림 6. 데이터 링크 연결 상태
Fig. 6. Data link status

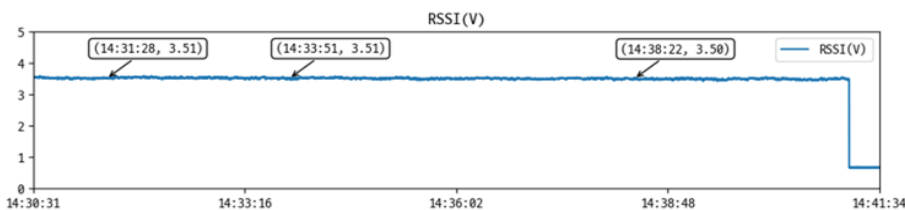


그림 7. A 지점 수신 세기 측정 결과
Fig. 7. Observing point A received power measurement result

그림 7은 그림 4의 A 지점에서 시간에 따른 수신 세기를 저장한 결과이다. 수신기는 약 3.51[V] 수신한다. 원거리의 비행체 간 통신이 가능한 최대 거리를 고려하여 근거리의 A 지점에서 수신 세기를 측정하는 것이다. 송신소로부터 A 지점까지 거리와 송신소로부터 B 지점까지 거리의 경로 차는 작다. 따라서, B 지점의 수신 세기는 A 지점의 수신 세기에 근접한다. B 지점의 계산값(3.5786[V])과 측정값(3.51[V])을 비교하면, 약 1.3720dB의 손실이 발생한다. 이러한 손실을 모든 측정점에 반영하여 수신 세기를 현실화하면 그림 8과 같다. 수신기는 비행 종료 가능한 최저 수신 세기를 로트별로 0.4[V]~0.5[V](-110dBm~-108dBm) 범위 내 형성한다. 그림 8의 손실을 반영한 수신 세기 계산값과 비행 종료 가능한 최저 수신 세기를 비교하였을 때, 모든 지점에서 비행 종료 가능하다.

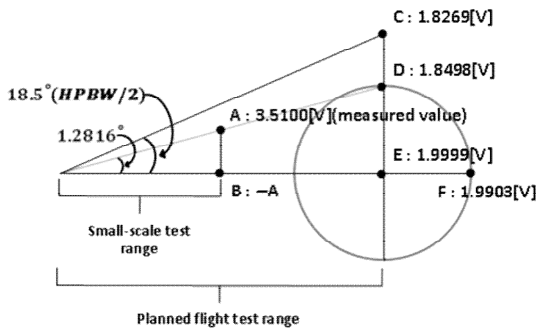


그림 8. 비행 시나리오에 따른 수신 세기 실측 결과
Fig. 8. Received power measurement result according to flight scenario

2.2 드론을 이용한 비행 종료 송신시스템 안테나 빔 패턴 측정 방법

비행체가 근거리에서 넓은 영역을 비행하는 경우, 모든 비행 구간 안정적인 비행 종료 명령을 송신하기 위해 넓은 빔 폭을 갖는 안테나를 사용한다. 한편, 원거리 비행체에 대해 충분한 수신 세기를 확보하기 위해 상대적으로 빔 폭이 좁은 고이득 안테나를 사용한다.

안테나의 빔 패턴을 측정하는 방법은 3개의 안테나를 이용한 방법이 있다[6]. 또한, 실험실 규모에서 측정하기 어려운 배열안테나의 경우 근접 전계를

측정하고, 원 전계로 변환하는 과정을 통해 빔 패턴을 확인한다[7]-[9].

이번 절에서는 경량형 수신기와 드론을 활용하여 비행 종료 송신 시스템의 안테나 빔 패턴 측정 방법을 제시한다. 그림 9는 경량형 수신기와 드론을 결합한 형상을 보여준다.



그림 9. 드론에 부착한 경량형 수신기
Fig. 9. Verification receiver attached to the drone

이러한 드론에 부착한 경량형 수신기를 활용하여 안테나 빔 패턴을 측정하는 방법은 다음과 같다. 먼저, far-field 조건을 만족하는 거리에 드론을 위치시킨다. 그 이후, 송신 안테나의 고각 0도의 높이에 드론을 위치하고 정지 비행한다. 다음으로, 송신 안테나를 방위각 방향으로 빔 조향한다. 마지막으로, 경량형 수신기의 수신 세기를 안테나 이득으로 변환한 후 빔 패턴을 확인한다. 이러한 과정을 순서대로 나타내면, 그림 10과 같다.

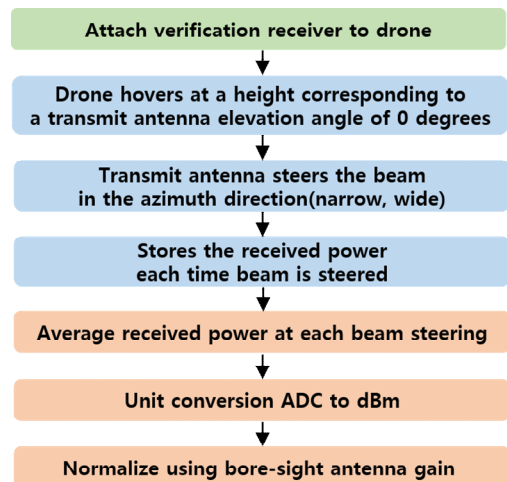


그림 10. ADC 빔 패턴 신호 컨디셔닝
Fig. 10. ADC beam pattern signal conditioning

경량형 수신기의 수신 세기를 안테나 이득으로 변환하는 과정을 수식으로 나타내면 식 (3)과 같다. 빔 조향 각도에 따른 수신 세기를 정면 조향 시 수신 세기로 정규화하여 빔 패턴을 구한다. 여기서, $P_{rx}(\theta)$ 는 빔 조향에 따른 수신 세기이며, $P_{rx}(\theta=0^\circ)$ 는 정면 조향 시 수신 세기를 나타낸다. $G_{tx}(\theta)$ 는 빔 조향에 따른 송신 안테나 이득을 나타내며, $G_{tx}(\theta=0^\circ)$ 는 정면 조향 시 송신 안테나 이득을 의미한다. G_{rx} 는 수신 안테나 이득이며, P_{tx} 는 송신기 출력이다. 정면 조향 시와 빔 조향 시의 자유 공간 손실은 동일하다.

$$\begin{aligned} \frac{P_{rx}(\theta)}{P_{rx}(\theta=0^\circ)} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{4\pi l}\right)^2 G_{tx}(\theta) G_{rx} P_{tx}}{\left(\frac{\lambda}{4\pi l}\right)^2 G_{tx}(\theta=0^\circ) G_{rx} P_{tx}} \\ &= \frac{G_{tx}(\theta)}{G_{tx}(\theta=0^\circ)} \end{aligned} \quad (3)$$

넓은 빔 안테나의 방위각 방향 빔 패턴 측정 결과는 그림 11과 같다. 그림 11은 수신기가 아날로그 수신 세기를 이산값으로 변환한 결과이다. 여기서, x축은 수신기가 수신 세기를 일정한 시간 간격으로 샘플링한 것을 나타내며, 그 시간은 0.02초이다. 그림 12는 빔 조향 각도에 따라 일정 시간 동안 저장한 이산값의 평균을 구하고, [dBm] 단위로 변환한 결과이다. 좁은 빔 안테나의 방위각 방향 빔 패턴 측정 결과는 그림 13과 같다. 그림 14는 신호 컨디셔닝 과정을 거쳐 [dBm] 단위로 변환한 것이다. 그림 13과 그림 14 모두 정면 조향 시 안테나 이득으로 정규화하였다.

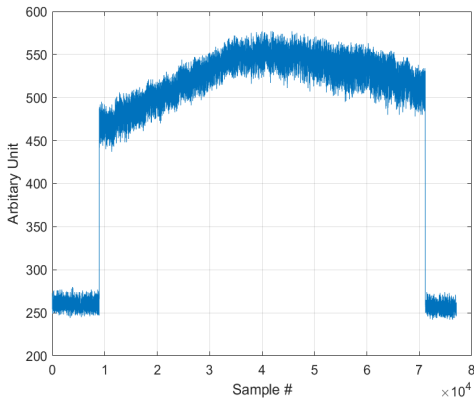


그림 11. ADC 빔 패턴(넓은 빔)
Fig. 11. ADC beam pattern(wide beam)

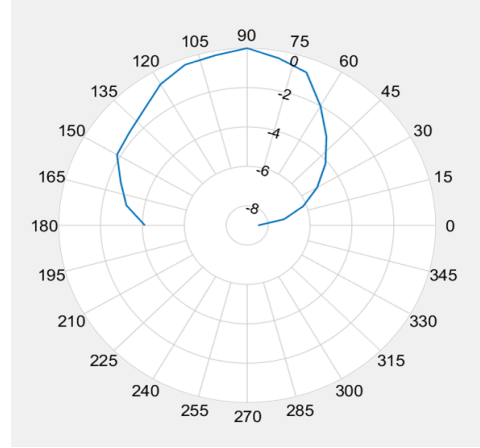


그림 12. ADC 빔 패턴 신호 컨디셔닝(넓은 빔)
Fig. 12. ADC beam pattern signal conditioning(wide beam)

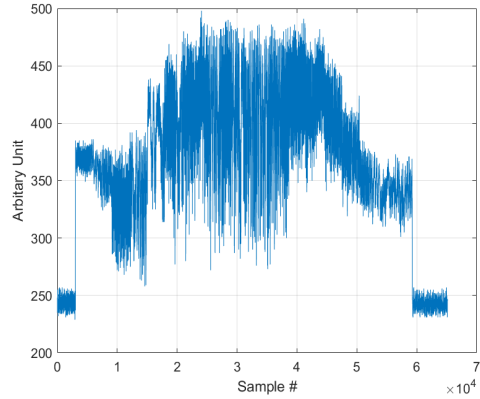


그림 13. ADC 빔 패턴(좁은 빔)
Fig. 13. ADC beam pattern(narrow beam)

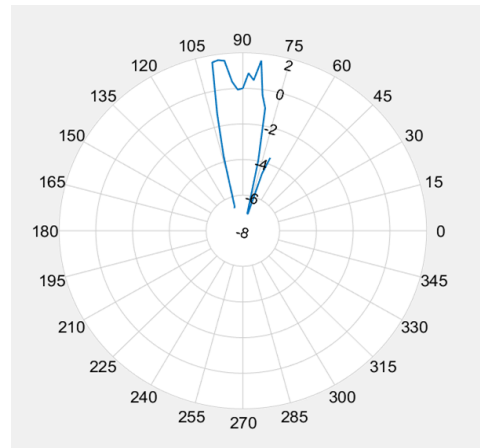


그림 14. ADC 빔 패턴 신호 컨디셔닝(좁은 빔)
Fig. 14. ADC beam pattern signal conditioning(narrow beam)

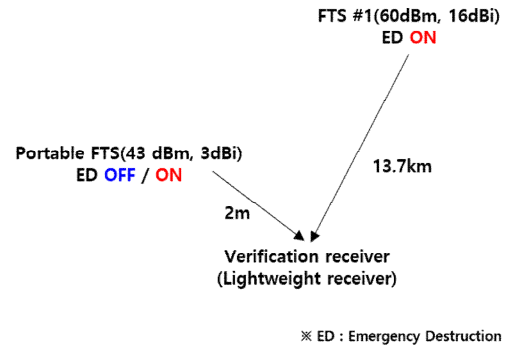
이러한 빔 패턴 측정 방법은 재현성이 높다. 초기 시험 환경과 동일하도록 드론을 정지 비행하고, 피측정 안테나를 빔 조향하는 것이 용이하기 때문이다. 이러한 높은 재현성은 피측정 안테나의 성능 열화를 정량적으로 확인하는 데 이용한다. 초기 측정 결과와 후속 측정 결과를 연속하여 비교함으로써 피측정 안테나의 시간에 따른 이득, side lobe level 등의 변화를 확인한다. 이 방법은 피측정 안테나의 수명을 예측하고, 고장 진단 방법으로 활용할 수 있다.

2.3 두 신호원에 따른 간섭 영향성 확인 시험

비행 시험 시 비행체는 화염을 발생한다. 주파수 대역에 따라 전파 도달을 방해하는 화염 각이 달라진다. 문헌에 의하면 UHF 대역의 경우 입사각이 약 23도 이하일 때, 비행체의 화염이 전파 도달을 방해한다[10]. 비행 시험 시 화염에 의한 전파 도달 음영 구역을 회피하기 위해 여러 계측 자원을 다른 장소에서 동시 운용한다. 하나의 계측 자원이 전파 도달 음영 구역에 놓일 때, 다른 장비에서 신호를 송신하여 해당 임무를 계속 수행한다. 이처럼, 장비 간 송신 권한을 이전하는 행위를 hand-over라고 부른다. 아래 두 시험을 통해 hand-over 시 주의해야 할 사항을 확인한다.

2.3.1 근거리 명령 동기화 시험

두 신호원이 있을 때, 수신기는 더 큰 신호를 송신하는 신호원과 동기화하는 결과를 확인한다. 해당 시험 환경은 그림 15와 같다. 그림 16은 원거리 송신기를 나타내며, 그림 17은 근거리 송신기를 나타낸다. 시험 과정은 다음과 같다. 먼저, 원거리 송신기 FTS #1이 ED ON을 송신한다. 여기서, ED는 Emergency Destruction의 약어로 비상 폭파 명령을 의미한다. FTS #1이 ED ON을 송신하는 것과 동시에 수신기로부터 가까운 거리에 있는 포터블 송신기가 ED OFF, ED ON을 순차 송신한다. 이때, 경량형 수신기의 동기 결과를 확인한다. 여기서, 두 신호원과 경량형 수신기는 far-field 조건을 만족한다.



15. 근거리 명령 동기화 확인 시험

Fig. 15. Command dependency test set-up



그림 16. 비행종료 송신시스템(FTS #1)

Fig. 16. Flight termination system(FTS #1)



그림 17. 포터블 비행종료 송신시스템

Fig. 17. Portable flight termination system

그림 18은 경량형 수신기가 포터블 점검장비와 동기화한 결과를 나타낸다. 여기서, FSD는 Frame Synchronization Data의 약어로 송신기와 수신기 간 동기 상태를 나타낸다. FSD 1인 상태는 비행 종료 명령 수행에 필요한 충분한 수신 세기를 확보하여 두 장비 간 동기가 유지되고 있음을 나타낸다. FSD 0인 상태는 비행 종료 명령을 수행하기 위한 일정

수준 이상의 수신 세기를 확보하지 못해 두 장비 간 동기가 유지되고 있지 않음을 나타낸다. ED 1인 상태는 송신기에서 비행 종료 명령을 인가한 것을 나타낸다. ED 0인 상태는 송신기에서 비행 종료 명령을 인가하지 않은 것을 나타낸다. 여기서, x축은 수신기가 일정한 시간 간격으로 FSD와 ED를 저장한 것을 나타내며, 그 시간은 0.02초이다. 이처럼, 수신기가 충분한 신호 세기를 확보하여 FSD 1인 상태를 유지할 때, 송신기와 동기를 유지하며 ED를 수행할 수 있다.

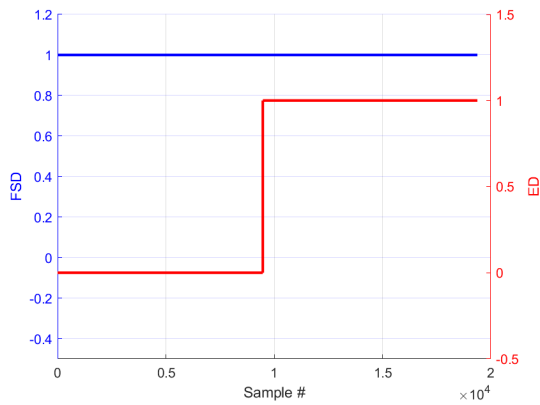


그림 18. 근거리 명령 종속성 확인 시험 결과
Fig. 18. Result of command dependency test

경량형 수신기는 포터블 점검장비가 ED OFF를 송신할 때, ED OFF를 수행한다. 경량형 수신기는 포터블 점검 장비가 ED ON를 송신할 때, ED ON을 수행한다. 따라서, 경량형 수신기는 FTS #1에 비해 더 큰 수신 세기를 전달하는 포터블 점검 장비의 명령을 수행한다. 따라서, 경량형 수신기는 상대적으로 더 큰 수신 세기를 전달하는 신호원과 동기되어 비행 종료 명령을 수행하는 것을 알 수 있다.

2.3.2 동시 운용 안정성 확인 시험

원거리 시험 시 지구 곡률에 의해 종말 구간 전과 도달 음영 구역이 발생한다. 이때, 송신소를 추가로 배치하여 종말 구간까지 안정적으로 비행 종료 임무를 수행해야 한다.

송신소를 추가로 배치하였을 때 두 신호원에 의한 수신 세기가 유사할 경우, 수신기는 어떠한 송신

기와도 동기를 유지할 수 없다. 여기서, 동시 운용 안정성 확인 시험을 통해 송신소 추가 전개 시 간섭에 따른 통신 두절을 방지하는 운용 방안을 제시한다. 두 신호원 중 하나의 신호원 출력은 고정하고, 다른 하나의 신호원 출력은 가변하여 수신기의 동기 이탈 현상을 확인한다. 두 신호원에 따른 수신 세기가 일정 수치 이내일 경우, 동기가 완전히 이탈되어 ED를 수행할 수 없다. 이 결과를 바탕으로 다수 송신소를 운용할 때, 간섭 방지하기 위한 운용 방안을 제시한다.

동시 운용 안정성 확인을 위한 시험 환경은 그림 19와 같다. 가변 출력을 발생시키기 위한 송신 시스템은 그림 20과 같다. 이때, 고정 출력을 발생시키기 위해 그림 16의 송신 시스템을 활용하였다.

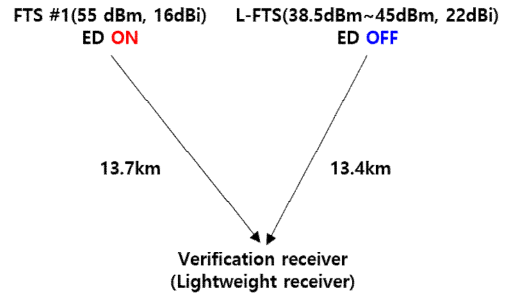


그림 19. 동시 운용 안정성 확인 시험
Fig. 19. Interference measurement test set-up



그림 20. 비행종료 송신시스템(L-FTS)
Fig. 20. Flight termination system(L-FTS)

시험 결과는 그림 21과 같다. 두 신호원 중 FTS #1의 출력은 고정하고, L-FTS의 출력은 가변하였을 때, 수신기의 동기 결과를 나타낸다. 검은색 실선은 L-FTS에 의한 수신 세기이며, 검은색 점선은 FTS #1에 의한 수신 세기를 나타낸다.

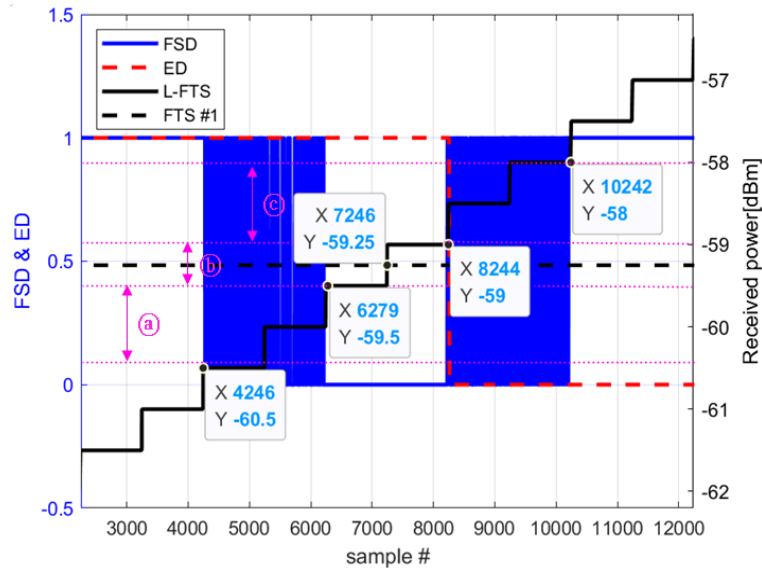


그림 21. 동시 운용 안정성 확인 시험 측정 결과
Fig. 21. Result of interference measurement test

두 신호원에 의한 수신 세기가 근접할수록 FSD 이탈 현상이 빈번히 나타난다. 먼저, 구간 ①을 관찰하면 L-FTS의 출력을 증가할 때, 수신기의 동기가 간헐적으로 이탈하고 있다. 일시적으로 동기 이탈이 발생하지만, 수신기는 수신 세기를 더 크게 전달하는 신호원과 동기되어 ED ON 수행이 가능하다. 다음으로, 구간 ②를 관찰하면 L-FTS에 의한 수신 세기가 FTS #1에 의한 수신 세기에 근접하고 있다. 이때, 경량형 수신기의 동기는 완전히 이탈하며, 두 신호원에 따른 어떠한 명령도 수행할 수 없다.

마지막으로, 구간 ③을 관찰하면 L-FTS에 의한 수신 세기가 FTS #1에 의한 수신 세기보다 커지고 있으며, 수신기는 다시 간헐적으로 동기를 회복한다. 이때, 수신기는 FTS #1에 비해 더 큰 수신 세기를 전달하는 L-FTS와 동기되며, L-FTS의 명령인 ED OFF를 수행한다.

정리하면, 한 신호원에 의한 수신 세기와 0.25~1.25dB 이내 수신 세기를 갖는 다른 신호원이 송신할 때, 수신기의 동기 이탈 현상이 간헐적으로 나타난다. 한 신호원에 의한 수신 세기와 0.25dB 이내의 수신 세기를 갖는 다른 신호원이 송신할 때, 동기는 완전히 이탈되어 ED 수행이 불가하다.

상기 시험 결과를 바탕으로 장비 운용 방안을 제

시하면 다음과 같다. 두 신호원에 따른 수신 세기 차이가 1.25dB 이내일 경우, 동기 이탈 현상이 발생한다. 이때 비행 종료 임무를 안정적으로 수행할 수 없으므로 권한을 이전한 장비가 송신하지 않음으로써 간섭 요인을 제거해야 한다.

III. 결 론

탐재체의 축소형 모델인 경량형 수신기를 활용하여 비행 종료 시스템의 성능 검증 방법을 제시하였다. 탐재체는 비행 정보를 지상으로 전달하는 텔레메트리와 비행 종료를 위한 UHF 대역의 수신기로 구성된다. 경량형 수신기는 비행 종료 송신시스템의 지령을 확인하기 위해 탐재체의 일부 기능을 모사한 장비이다. 이러한 경량형 수신기를 활용한 비행 종료 시스템의 성능검증 결과는 다음과 같다.

첫째, 다수 비행체 비행 구도에 대한 비행체 간 통신 가능 거리를 기준으로 비행 안전 판단 기준을 제시하였다. 그 과정은 다음과 같다. 먼저, 다수 비행체에 대한 원거리 비행 구도를 근거리에서 모사하였다. 근거리에서 모사한 비행 구도에서 수신 세기를 확인함으로써 원거리 비행체에 대해 비행 종료 가능성이 가능함을 확인하였다. 상기 시험 결과를 바탕

으로 다수 비행체의 비행체 간 통신 가능 거리를 활용하여 비행 종료 가능 영역을 제시하였다.

둘째, 경량형 수신기와 드론을 활용하여 지령 송신시스템의 안테나 성능을 확인하였다. 비행체가 근거리에서 넓은 영역을 비행하는 경우 비행 전 구간을 커버리지로 하는 넓은 빔 폭의 안테나를 사용한다. 원거리 비행 시험의 경우 추가 이득을 확보하기 위해 고이득 안테나를 사용한다. 송신 안테나 기준 고각 0도에 해당하는 높이에 드론을 위치하고, 빔 조향하여 안테나 이득에 대한 정보를 획득하였다. 이러한 안테나 이득 측정 방법은 주기적으로 측정하였을 때 고장 진단 방법으로 활용할 수 있다.

셋째, 근거리 명령 동기화 시험과 동시 운용 안정성 확인 시험을 통해 다수 송신소 이용할 경우, 주의 사항을 확인하였다. 첫 번째 시험을 통해 경량형 수신기는 큰 세기의 신호원과 동기화하는 것을 확인하였다. 즉, 큰 세기의 신호원과 동기를 유지하고 다른 신호원의 명령에 상관없이 ED ON/OFF를 수행한다. 두 번째 시험에서, 두 신호원에 의한 수신 세기가 유사할 때 수신기는 어떠한 송신기와도 동기화하지 않는 현상을 확인하였다. 따라서, hand-over 시 권한을 이전받은 송신기와 수신기 간 양질의 통신 환경 조성을 위해 권한을 이전한 장비의 전원을 OFF 할 필요가 있음을 제시하였다.

References

- [1] S. Hwang, Y. Lim, and J. Lee, "Investigation of FTS Command Sequence of Foreign Countries", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 32, No. 6, pp. 148-452, Aug. 2004. <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2004.32.6.148>.
- [2] Y. Bae, C. Oh, and H. Lee, "Standardization of Enhanced Flight Termination System in the U.S.", Current Industrial and Technological Trend in Aerospace, Vol. 8, No. 1, pp. 86-95, Jul. 2010.
- [3] J. Jeong, Y. Bae, and Y. Han, "Multi-Protocol Ground Flight Termination System Trend Survey", Current Industrial and Technological Trend in Aerospace, Vol. 21, No. 1, pp. 131-141, Jul. 2023.

- [4] S. Priyadarshini, M. K. Gourab, and U. Mandal, A. Roy, "A Comparative Study on various Flight Termination System Technologies", Defence Science Journal, Vol. 73, No. 3, pp. 351-361, May 2023. <https://doi.org/10.14429/dsj.73.18334>.
- [5] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", John Wiley & Sons Inc., pp. 57-62, 1981.
- [6] C. A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design", Willy-Interscience, pp. 1029-1034, 2005.
- [7] A. D. Brown, "Electronically Scanned Arrays", CRC Press, pp. 35-80, 2012.
- [8] B. R. Mahafza, "Radar System Analysis and Design Using MATLAB", CRC Press, pp. 541-605, 2013.
- [9] K. Yoon, J. Bang, O. Gombo, B. Ahn, and S. Kim, "Implementation of Cylindrical Near-Field Measurement System", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 53-59, Jan. 2012.
- [10] E. Dieudonne, A. Kameni, L. Pichon, and D. Monchaux, "Radio frequency attenuation by a rocket plume using diffraction theory and finite element modeling", Acta Astronautica, Vol. 158, pp. 334-341, May 2019. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.03.032>.

저자소개

이재용 (Jae Yong Lee)



2015년 2월 : 광운대학교
전자공학과(공학사)
2018년 2월 : 광주과학기술원
기전공학부(공학석사)
2018년 5월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원
관심분야 : 배열안테나, 레이다