

피아식별 AIMS 인증을 통한 항공기 안테나 성능검증 연구

Study on Aircraft Antenna Performance Verification Using IFF AIMS Certification

안승범 · 이기택 · 이청 · 신동대 · 남병석

Seungbeom Ahn · Kitaek Lee · Cheong Lee · Dongdae Shin · Byeongseok Nam

요 약

본 논문에서는 항공기용 피아식별 장비 안테나의 성능검증 방법에 대하여 연구하였다. 피아식별 장비는 암호장비 연동을 위해 미 국방부 AIMS 인증이 필요하며, 응답기 전력 기준에 해당하는 DoD AIMS 1102와 DoD AIMS 1103 입증 과정을 통하여 피아식별 안테나의 성능을 검증하였다. 안테나 성능기준과 방사패턴이 규격에 부합하는지를 확인하고, 요구성능을 만족하지 못하는 항공기는 안테나 교체 또는 추가 장착을 통하여 요구성능을 충족시켰다. DoD AIMS 1102 요구도 시험결과로 제출하고 DoD AIMS 1103 검증을 위한 사전준비를 완료한 후 비행시험을 통하여 Mode 5뿐 아니라 SIF 모드까지 안테나 성능을 검증하였다. AIMS 인증 요구도를 충족하기 위한 과정을 통하여 피아식별 안테나의 성능검증을 확인하였고, 통신과 항법 등의 항전장비 안테나의 검증에도 활용 가능할 것으로 예상된다.

Abstract

In this study, we present a method for verifying the performance of an antenna used in an aircraft. Identification friend of foe equipment requires the AIMS certification of the US Department of Defense for interworking with the encryption device; the performance of IFF is verified through the verification process of DoD AIMS 1102 and DoD AIMS 1103 according to an aircraft model equipped with a transponder. It was determined whether the performance standards of the antenna and radiation pattern were met, and whether the aircraft that did not meet the required performance met the performance by replacing or additionally installing the antenna. After submitting the DoD AIMS 1102 requirement test documents and completing the preliminary preparation for the DoD AIMS 1103 verification, the antenna performance was verified not only in Mode 5 but also in the SIF mode through flight tests. Through the process of meeting the AIMS certification requirements, the performance verification of IFF was confirmed, and it is expected that it can be used for the verification of avionics antennas such as communication and navigation.

Key words: IFF Antenna Performance, AIMS Certification, Replacing and Installing the Antenna

I. 서 론

항공기의 군용 전자장비는 적국의 기술발달에 따라 비

화기능 강화 및 항재밍 성능 확보 등을 핵심화두로 비약적인 발전이 진행됨에 따라 기존 레거시 항공기들의 성능개량 소요는 급속히 증가하고 있다^{[1]~[3]}. 주요 핵심 장

한화시스템 구미사업장(Gumi Business Site, Hanwha System)

· Manuscript received August 3, 2022 ; Revised October 13, 2022 ; Accepted October 25, 2022. (ID No. 20220803-008S)

· Corresponding Author: Seungbeom Ahn (e-mail: seungbeom.ahn@hanwha.com)

비인 통신/항법/피아식별 장비는 항공기에 탑재된 안테나의 성능에 의해 많은 영향을 받기 때문에 정확한 성능분석이 매우 중요하다^{[4],[5]}. 기 탑재 또는 신규 탑재 안테나에 대한 성능은 제조사에서 제공하는 안테나 단품에 대한 스펙으로 반사손실과 편파, 방사패턴, 안테나 이득 등의 성능요소와 MIL-STD-810 기반의 환경시험 결과를 기준으로 1차 확인된다^[6]. 하지만 항공기 플랫폼에 장착된 안테나에 대한 추가 성능검증은 제한되며, 일반적인 항전장비 성능검증 방법을 통하여 안테나의 성능을 간접적으로 예측할 수 있다. 이러한 방법으로는 정확한 안테나 성능검증이 제한됨에 따라 항전장비에 대한 성능예측도 완벽할 수 없으며, 항공기의 특정 기동에서 항전장비의 운용 제한을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 탑재 안테나의 성능을 확인하는 방법으로 적과 아군을 식별하기 위한 IFF(identification friend or foe; 피아식별)의 AIMS(air traffic control radar beacon system identification friend or foe mark XII/mark XIA system; 항공통제 및 피아식별 시스템) 인증 방법을 통한 안테나 성능검증 방법을 제안하고, 그 결과를 제시하였다. 미 국방부 산하 기관인 DoD(Department of Defense; 미국 국방부) AIMS 주관의 인증 절차는 피아식별장비 연합 암호장비를 미국 주도의 연합국가들에 배포를 위하여 해당 전력에 대한 인증 진행 및 인증서를 발급하는 형태로 한·미연합 작전을 위해서는 반드시 수반되어야 한다. AIMS 인증은 장비 단위의 인증인 Box 레벨 인증과 대상 전력에서의 인증인 플랫폼 레벨 인증으로 분류되며^[7], 각 단계는 응답기 전력과 질문기 전력으로 분리하여 수행한다^{[8]~[13]}. 응답기 전력에 해당하는 항공전력은 지상시험과 비행시험을 수행하며, 특히 비행시험의 경우는 지상 질문기 전력과의 상호 인증을 수행하고 DoD AIMS PO를 통해 플랫폼 인증을 획득하게 됨에 따라 연합암호 장비를 활용한 연합 운용이 가능하게 된다.

먼저, 응답기 전력의 AIMS 플랫폼 인증에 해당하는 DoD AIMS 1102 응답기 장착 시험 요구도 중 안테나 항목에 해당하는 항목을 다수의 항공전력을 기준으로 분석하였다^[12]. 분석 결과, 공군 2개 기종에서 안테나 송신출력 제어 기준과 안테나 방사패턴 요구도를 충족하지 않아 안테나를 교체하거나 추가 장착하는 형태로 설계를

변경하였다. 이 과정에서 안테나 특성은 안테나 제조업체가 제공하는 데이터 시트 자료를 기반으로 1차 분류하고, 확인이 불가한 항목은 실제 측정을 통하여 검증하였다. 항공기에 장착된 안테나 방사패턴 분석을 위해 단품 안테나에 대한 역설계를 통하여 성능의 정합성을 향상시켰다^[14]. 이러한 과정을 통하여 DoD AIMS 1102 응답기 장착시험 요구도 성능이 확인된 대상 기종에 대하여, DoD AIMS 1103 응답기가 장착된 체계상의 시험 요구도 가이드 라인을 기준으로 응답기의 주요 성능을 검증하였다^[13]. Mode 5와 SIF(selective identification feature; 선택적 식별 기능) 모드에 대하여 운용영역 시험을 수행하고, Mode 5 모드에서 안테나 방사패턴 시험을 수행하였다. 운용영역 시험은 해당 모드에서 질의/응답이 끊기지 않고 어느 범위까지 가능하며, 특정 구간에서 질의/응답 제한되는 경우가 있는지를 확인하는 시험으로 신호가 정상적으로 질의/응답하지 못한 구간을 포함하여 전체 질의/응답 구간에서 응답률을 나타내는 기준인 POD(probability of detection; 감지 확률)와 PID(probability of identification; 식별 확률)가 충족함을 확인하였다^[13]. 안테나 커버리지 시험을 통하여 질의/응답이 안정적으로 들어오는 특정 구간에서 방위각(azimuth plane) 전체 방향에 대하여 끊임없이 질의/응답이 진행됨을 확인하였다.

피아식별 장비의 AIMS 플랫폼 인증을 위한 안테나 성능분석 및 시험방법을 통하여, 지금까지 제한적이었던 항공기 체계에서 안테나 성능검증 방안을 제시하였다. 각 장비의 특성과 운용 개념을 기반으로 안테나의 고유 특성과 반사손실, 안테나 이득 기준의 방사패턴을 적용하면 피아식별 장비뿐 아니라, 통신/항법 장비 등의 항전장비의 평가 방법으로 활용 가능함에 따라 다수의 항공기 성능개량 사업을 효율적으로 진행할 수 있을 것이다.

II. AIMS 인증을 통한 안테나 성능검증 방법

항공기에 장착된 안테나의 일반적인 성능지표는 안테나 제조사가 제공하는 스펙 자료에 의해 일차적으로 평가된다. 안테나의 일반적인 성능기준인 반사계수와 편파, 송신출력 운용, 대역폭의 기본 성능과 함께 안테나 이득과 방사패턴을 확인할 수 있다. 또한, 항공기 장착을 위해

MIL-STD-810 기반의 환경시험과 능동형 안테나의 경우, MIL-STD-704 기반의 전원시험 등을 수행한 결과를 바탕으로 안테나가 항공기에 장착되었을 때 장비 운용에 문제가 없음을 확인한다^{6),[15]}. 하지만, 안테나 제조사들은 제조사의 고유 기술로 판단하여 해당 자료를 구체적으로 제공하지 않으며, 항공기 플랫폼에 탑재된 안테나 성능에 대한 구체적인 측정과 방법은 제시하지 않는다. 표 1은 일반적으로 평가하는 항공전자 장비의 안테나 성능검증 지표표를 보여준다. 안테나가 장착된 항공기 플랫폼에서 지상시험으로 안테나의 반사계수 측정과 BIT(built in test: 내장 자체 시험) 점검, RF 출력 측정을 수행함으로써 장비 및 안테나의 기본 성능을 확인한다. 이후에는 안테나 자체성능보다는 항공기에서 장비의 기본성능과 연동 검증을 수행한다. 비행시험에서는 항전장비에 따라 시험방법이 분류되며, 항전장비의 기능을 확인하는 시험을 통하여 안테나 성능을 간접 확인한다. 피아식별장비는 지상 질문기 전력과 항공기 응답기 전력 간의 모드별 질의/응답을 확인하는 방법으로 피아식별장비의 장비 및 안테나 성능을 도출한다. 항공기 플랫폼에서 안테나에 대한 정확한 성능검증 방법이 제한되고 항전장비를 통한 간접적 검증을 수행함으로써, 안테나가 항공기에 탑재됨에 따라 발생하는 제약사항 확인이 매우 제한된다.

피아식별장비 성능개량은 한·미 연합 작전수행 능력 향상을 위해 비화기능이 강화된 Mode 5로 전환하는 사업으로 다른 성능개량 사업과 달리 암호자재 연동을 위해

서는 DoD AIMS 항공기 플랫폼 인증 획득이 필요하며, 응답기를 장착하는 항공기 플랫폼은 DoD AIMS 1102의 응답기 장착 시험 요구도가 충족함을 체계 설계 및 지상 시험을 통하여 검증하고, DoD AIMS 1103의 응답기 장착 체계상의 시험 요구도가 충족함을 비행시험을 통해 확인함으로써 플랫폼 인증을 수행하게 된다^{12),[13]}. 성능개량 항공기 대상 플랫폼에 대하여 안테나 성능 요구도를 분석하였다. 표 2는 DoD AIMS 1102 응답기 장착 시험 요구도 중 안테나의 성능지표와 기준을 제시한 항목이다.

3.7.1 안테나 특성 항목으로 안테나의 편파와 15 W의 평균출력을 견디야 하는 출력 운용성, 대역폭 기준을 확인하였다. 또한, 피아식별 질의와 응답 주파수 대역에서 2:1 이하의 안테나 반사계수를 만족하고, 응답기와 안테나 간의 케이블 손실은 3 dB 이내임을 검증하였다. 안테나 방사패턴과 격리도 기준에 대한 기준도 제시되어 있으며, 안테나 패턴은 수평면에서 무지향성 특성과 수평면에서 30도 수직빔 특성을 보여야 한다. 안테나 방사패턴은 안테나 단품이 아니라, 안테나가 항공기에 장착될 경우의 성능 분석을 통해 정확한 예측이 필요하다. DoD AIMS 1102의 방사패턴 성능 요구도를 DoD AIMS 1103 비행시험의 안테나 커버리지 시험 결과로 제출하여 대체 가능하지만, 성능에 대한 정확한 예측이 제안되어 항공기 개조 후에 성능을 확인하고 보완하는 과정을 반복함으로써 많은 인력과 비용이 소요된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 AIMS 요구도 분석을 위한 안테나 패

표 1. 일반적인 항공전자장비 안테나의 성능검증 방법

Table 1. General performance verification method for avionics antennas.

Test evaluation	Equipment	Verification method
Ground test	VSWR for antenna	• VSWR measurement/ confirmation of specification by antenna company
	Output/ BIT	• Output power measurement/ BIT(built in test) test
	Function check	• Self communication check or simulation equipment test
	Aircraft integration check	• Integration verification items check
Flight test	Communication avionics	• Communication check for the operation range survey under LOS conditions • Communication check on 4 directions for level flight(rotary wing), clover leaf(fixed wing) or circular pattern
	IFF avionics	• Interrogation/reply check for each modes between interrogator and transponder
	Navigation avionics	• Operation check for navigation equipment in flight verification based on air traffic control facilities

표 2. DoD AIMS 1102 응답기 장착 시험 요구도 중 3.7 안테나 항목

Table 2. 3.7 Antenna index on DoD AIMS 1102 transponder installation test requirements.

Index		Verification method
3.7.1 Antenna characteristics	Polarization	• Vertical polarization using information or measurement
	Power handling	• Radiating 15 W average power using information or measurement
	Bandwidth	• Least 20 MHz at 1,030 MHz and 1,090 MHz using information or measurement
3.7.2 Antenna VSWR /RF transmission line loss	VSWR	• VSWR($\leq 2:1$) measurement at 1,020/1,030/1,040/1,080/1,090/1,100 MHz
	Insertion line loss	• Loss(≤ 3 dB) measurement at 1,030/1,090 MHz
3.7.3 Antenna pattern		• Omni-directional in the horizontal plane, vertical beam width of at least $\pm 30^\circ$ from horizontal plane • 0° antenna elevation pattern to verify that the total antenna system gain, including system losses, at the receiver input is greater than -4 dBi for $\circ\circ\%$, -6 dBi for $\circ\circ\%$, -8.5 dBi for $\circ\circ\%$ of the coverage volume → So, ≥ -4 dBi: $\circ\circ\%$, ≥ -6 dBi: $\circ\circ\%$, ≥ -8.5 dBi: $\circ\circ\%$ @ $\pm 30^\circ$ from horizontal plane
3.7.4 Isolation		• Isolation($\geq \circ\circ$ dB) measurement between the antenna transmission lines

턴 분석 방법을 그림 1과 같이 5단계로 제안하였다. 안테나 제조사는 탑재 방사패턴 분석을 위한 안테나의 설계 형상과 3차원 방사패턴을 제공하지 않기 때문에 역설계를 통한 탑재 방사패턴 분석 방법을 제시하였다. 패턴 요구도 분석을 기반으로 EM 시뮬레이션을 위한 항공기 모델링 과정과 안테나 역설계 과정, 항공기 탑재 EM 시뮬레이션 분석, 최종 결과분석으로 구성된다. 패턴 요구도 분석은 DoD AIMS 1102를 기반으로 분석한 요구도이며,

항공기 모델링 과정은 EM 시뮬레이션을 위한 항공기 외형 형상 도출을 위해 실제 항공기를 3차원 스캔하여 방사패턴 분석을 위한 항공기 형상을 모델링하였다. 안테나 역설계는 X-ray 촬영을 통하여 안테나 급전부와 방사부에 대한 형상을 확인한 후 EM 시뮬레이션을 수행한 결과와 반사계수와 방사패턴을 실측한 결과를 비교 분석함으로써 정합성을 높이는 과정으로 구성된다^[4]. 역설계된 안테나 형상을 항공기 모델링 파일에 장착하여 EM 시뮬레

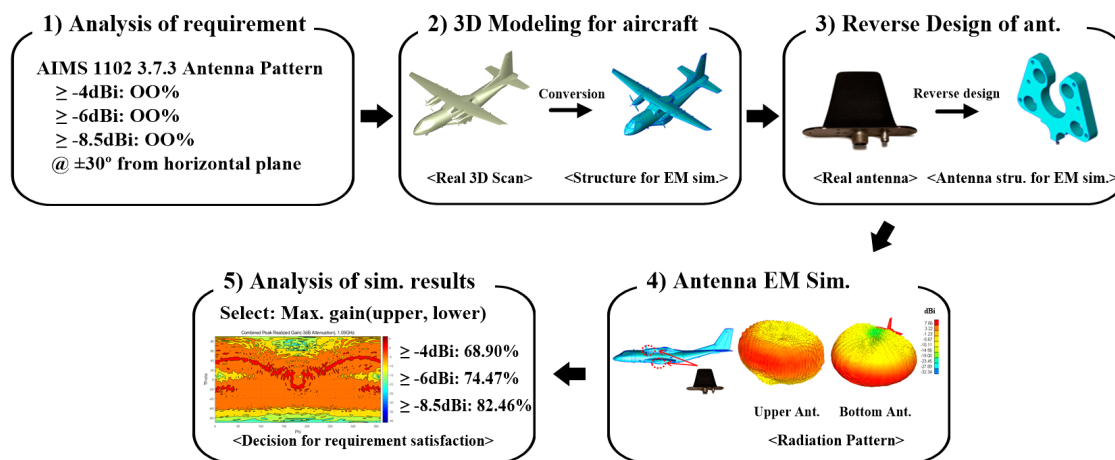


그림 1. DoD AIMS 1102 요구도 분석을 위한 안테나 패턴 분석 방법

Fig. 1. Analysis method of antenna pattern for DoD AIMS 1102 requirement analysis.

이선을 수행한 후 도출된 방사패턴 데이터를 바탕으로 고각 $\pm 30^\circ$ 내 수평면 기준으로 안테나 이득 -4 dBi와 -6 dBi, -8.5 dBi의 분포 기준에 대하여 만족 여부를 확인하였다.

다수의 항공기는 응답기 장착 시험 요구도를 충족하였으며, 표 3과 같이 두 기종 안테나는 방사패턴과 평균 출력 만족도를 불만족하였다. 수송 항공기 ○○의 안테나 패턴 분석결과 질의/응답 운용 주파수인 1,030 MHz와 1,090 MHz에서 안테나 이득 -6 dBi와 -8.5 dBi 분포도 기준을 충족하지 않았으며, 방사패턴 분석결과, 기존 장착된 안테나가 무지향성 특성을 만족하지 않음을 확인하였다. 동일한 방법으로 분석결과, 특수 작전용 항공기인 ○-○○는 안테나 평균출력 운용 요구도 미충족으로, 하부 안테나를 평균출력 100 W에서 동작하는 안테나로 교체장착하였다. 또한, 교체 장착한 하부 안테나 방사패턴 분석결과, 안테나 이득에 대한 분포도가 요구도를 만족하지 않아 상부 안테나를 추가로 장착하였다. 안테나 교체 장착 후 안테나 이득에 대한 분포도를 분석한 결과는 표 4와 같이 ○○ 수송기와 특수 작전용 ○-○○ 모두 질의/응답 주파수 모두에서 성능 요구도를 만족하였다. 또한, 각 주파수에서의 안테나 이득 기준 이상 분포를 그림 2와 같이 도출하였다. 고각 $\pm 30^\circ$ 범위 내의 1도 단위 방위각에서 기준 이상의 안테나 이득을 보이는 각도는 주황색

표 4. 설계변경에 따른 안테나 패턴 분석결과

Table 4. Analysis results for antenna pattern according to design change.

Platform	Analysis result	Detailed results (1,030 MHz/1,090 MHz)		
		-4 dBi	-6 dBi	-8.5 dBi
○○ Transport aircraft	Satisfaction	88.82/88.47	96.14/95.97	99.70/99.73
○-○○	Satisfaction	90.48/90.88	96.93/97.15	99.50/99.52

으로 표시하였으며, 기준 미만 안테나 이득을 보이는 각도는 파란색으로 나타내었다. 그림의 중앙 부분은 ○○ 수송기 전방으로 안테나가 항공기 동체 후방 쪽에 장착되어 항공기 동체에 의한 음영지역으로 인하여 안테나 이득이 기준을 만족하지 못하는 구간이 존재한다. 그림 2(a)는 응답 주파수인 1,030 MHz 대역에서 -4 dBi 이상이 88.62 %를 차지하고, -6 dBi와 -8.5 dBi 기준으로는 각각 96.14 %와 99.70 %를 나타냄을 확인하였다. 1,090 MHz에서도 각 기준을 만족하여 DoD AIMS 1102 응답기가 장착된 전력의 체계 요구도가 만족하였음을 확인하였다.

III. AIMS 인증시험을 통한 안테나 성능검증 사례

피아식별장비 AIMS 인증은 DoD AIMS 03-1000C 피아식별장비의 기술규격서를 기준으로 질문기와 응답기의

표 3. DoD AIMS 1102 요구도 불만족에 따른 안테나 장착 설계변경

Table 3. Design change of antenna installation according to requirement non-satisfaction on DoD AIMS 1102.

Platform	AIMS 1102 index	Satisfaction with requirement	Index of design change
○○ Transport aircraft (installed upper/lower antennas)	3.7.3 Antenna pattern	Receiver input: Non-satisfaction ≥ -4 dBi: 70.59 % (○○ %) ≥ -6 dBi: 76.64 % (○○ %) ≥ -8.5 dBi: 86.27 % (○○ %) (@ 1,090 MHz, $\pm 30^\circ$ from horizontal plane)	Upper/lower antennas : Requirement non-satisfaction → Exchange upper/bottom antenna
○-○○ (installed upper/lower antenna)	3.7.1 Antenna characteristics	Average power: Non-satisfaction power handling 2 W (15 W)	Lower antenna : Requirement non-satisfaction → Exchange bottom antenna
	3.7.3 Antenna pattern	Receiver input: Non-satisfaction ≥ -4 dBi: 61.02 % (○○ %) ≥ -6 dBi: 69.39 % (○○ %) ≥ -8.5 dBi: 80.23 % (○○ %) (@ 1,090 MHz, $\pm 30^\circ$ from horizontal plane)	Top antenna : Requirement non-satisfaction → Install upper antenna

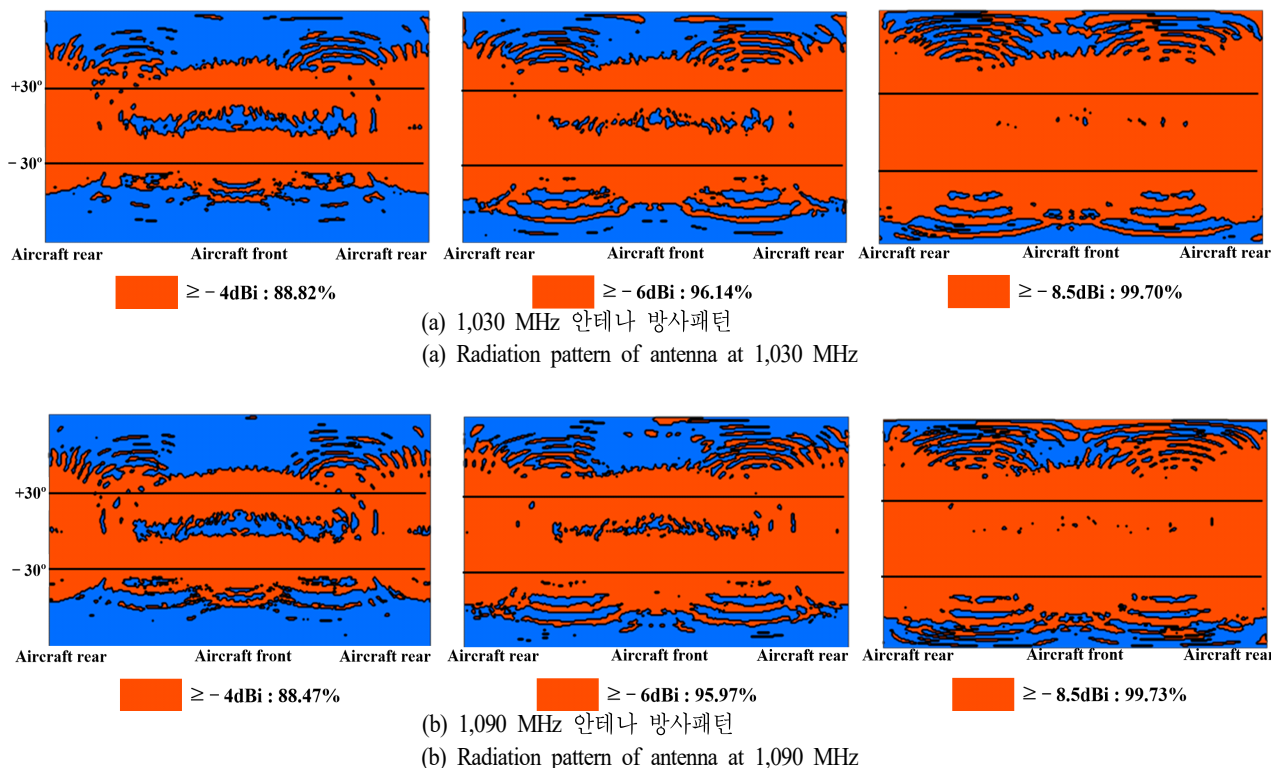


그림 2. 공군 ○○ 수송기 기종의 안테나 패턴 분석 결과

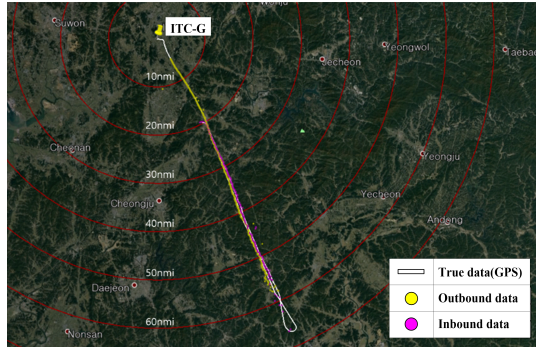
Fig. 2. Analysis results of antenna pattern for ○○ transport aircraft of air force.

인증 규격으로 분류가 되며, 장비단위의 인증과 플랫폼 레벨 인증으로 나뉜다^[7]. 응답기 전력은 DoD AIMS 1101 응답기 장비의 인증 규격과 DoD AIMS 1102/1103 응답기 장착 체계요구도 및 체계 시험 요구도의 플랫폼 인증 규격이 존재한다^{[11]~[13]}. Mode 5 성능검증과 항공기 플랫폼에서 수행하는 AIMS PO의 공식 시험은 지상시험을 통하여 DoD AIMS 1102를 확인하고, 비행시험을 통하여 DoD AIMS 1103 체계 시험을 검증한다. DoD AIMS 1102 검증은 항공기 체계에서 확인 가능한 항목과 체계에서 검증이 제한되는 항목으로 분류되며, 3.7.1 안테나 특성과 3.7.3 안테나 패턴, 3.7.4 격리도 요구도는 안테나 스펙자료와 분석결과로 3.7.2 안테나 반사손실과 케이블 손실은 체계 측정결과로 확인하였다. DoD AIMS 1103 체계 시험 요구도 항목은 항공기 비행 시험 간 각 모드별 질의/응답 기능 확인과 함께 운용영역 시험, 안테나 커버리지 시험을 통하여 안테나를 포함한 RF 성능을 검증하였다. 체계

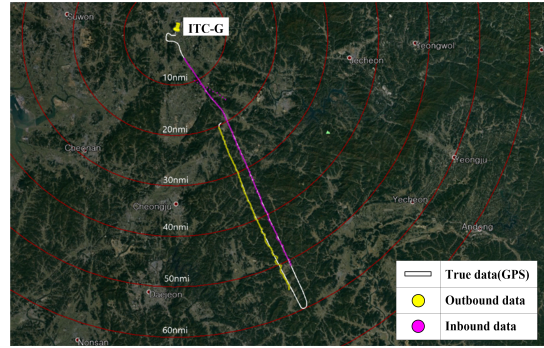
비행 시험은 ITC-G(IFF test capability-ground; 지상 IFF 시험 장비)를 활용해서 수행하며, ITC-G에서 모드별 코드값과 PIN/No 번호 확인을 통하여 질문기 질문에 대한 응답기의 정상 응답 여부를 확인하였다.

운용영역 시험은 Mode 5와 SIF 모드에 대하여 5 NM 이상 거리부터 일정 거리까지 질의/응답이 끊임없이 정상으로 동작하는지를 확인하는 시험으로, 식 (1)과 식 (2)에서 보는 것과 같이 신호의 정상 질의/응답 여부를 POD와 PID를 기준으로 확인한다. POD는 감지 확률로 ITC-G에서 질문한 신호 중 응답기 전력이 응답하는 확률을 의미하며, 질문과 응답 신호 전송 간에 미응답(dropout) 신호를 제외한 신호 대비 수신 응답 비율로 계산된다. PID는 실제 수신 응답 중 정확한 응답 즉 각 모드별 질의/응답 간 코드 및 PIN/No 번호가 일치하는 정확한 응답 비율을 의미한다.

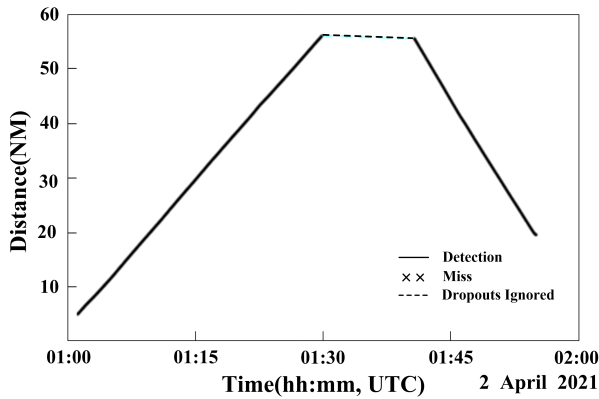
그림 3 및 그림 4는 육군 ○○-○○ 기종의 Mode 5와 SIF



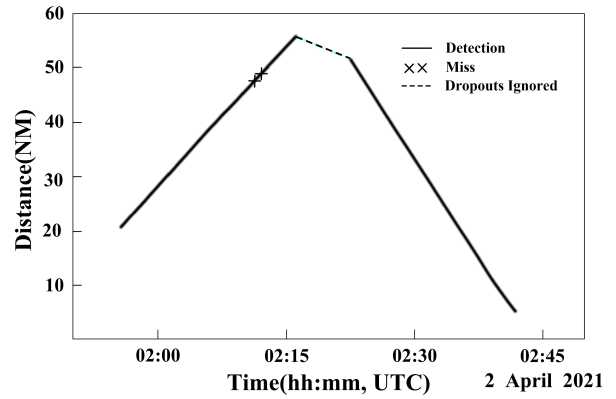
(a) 비행경로에 따른 수신 데이터
(a) Receiving data according to flight patch



(a) 비행경로에 따른 수신 데이터
(a) Receiving data according to flight patch



(b) 거리에 따른 Mode 5 응답기 수신
(b) Transponder receives of Mode 5 according to distance



(b) 거리에 따른 Mode 3 응답기 수신
(b) Transponder receives of Mode 3 according to distance

그림 3. IFF Mode 5 운용영역 시험
Fig. 3. Operational range test for IFF Mode 5.

그림 4. IFF SIF(Mode 3) 운용영역 시험
Fig. 4. Operational range test for IFF SIF (Mode 3).

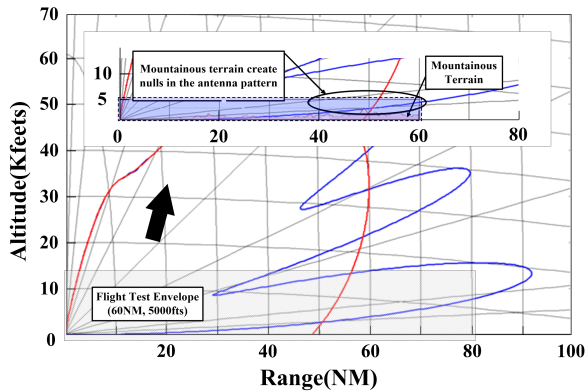
모드인 Mode 3에 대한 운용영역 시험 결과를 보여준다.

$$POD = \frac{Reports\ received}{Reports\ expected - Reports\ dropouts\ ignored} \times 100 \quad (1)$$

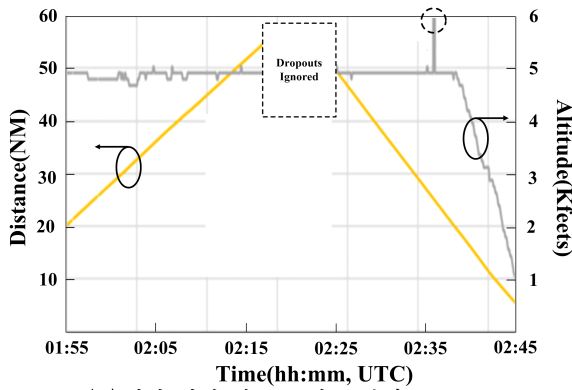
$$PID = \frac{Correct\ code\ reported}{Reports\ received} \times 100 \quad (2)$$

Mode 5 모드 응답은 out-bound일 경우 5 NM에서 57 NM 까지 끊임없이 질의/응답이 되고, in-bound에서는 56 NM 에서부터 질의/응답이 정상적으로 끊임없이 수신되어 POD와 PID 모두 100%를 나타내었다. ○○-○○ 기종의 Mode 5 신호가 정상으로 수신되는 20 NM 이내까지 접근 한 후 Mode 3으로 전환하고, 다시 out-bound를 수행함으 로써 비행 시간을 절약하며 비행 1 소트를 통해 시험을 수행하였다. Mode 3 비행시험 결과는 Mode 5와 유사한

거리까지 out-bound와 in-bound 시 신호가 들어왔으나, out-bound비행 간 50 NM 근처에서 몇 차례 신호가 끊기 는 현상과 Mode C 고도정보가 불일치하는 일부 이상현 상이 발생하여원인 분석을 수행하였다. 그림 5(a)는 ITC-G 장비의 운용 가능 거리로 질문기의 RF 출력과 지 향성 안테나 성능을 기준으로 응답기의 최저 수신감도로 질문신호를 받을 수 있는 거리를 도출하였다. 빨간색 실 선은 질문기 전력의 이상적인 운용거리이며 파란색 실선 은 안테나의 실제 성능을 고려한 운용거리로써, 질문기 기준 특정 방향에서 안테나의 성능저하로 인하여 거리가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. ○○-○○ 기종 Mode 3 비행시험 구간의 실제 지형을 대입한 결과, 미응답 신호 가 존재하는 구간이 산악지형을 통과한 구간으로 LOS 미



(a) 운용영역 시험 간 미응답 분석
(a) Dropout analysis for operational range test



(b) 운용영역 시험 간 고도정보 분석
(b) Analysis of altitude value for operational range test

그림 5. IFF 운용영역 시험 분석 예제

Fig. 5. Analysis example for IFF operational range test.

확보로 인하여 ITC-G 기점 기준 47.7 NM에서 항공기가 질문 신호를 받지 못한 것으로 확인되었다. LOS 미확보로 인한 신호 끊김 현상만이 발생하였기 때문에 질문 신호가 끊기는 현상으로 인하여 질문 신호 중 응답하는 확률인 POD는 99.75 %를 나타내었다. 또한, 실제 수신 응답 중 정확한 응답 비율을 의미하는 PID는 응답한 실제 신호 중 동일 방위에 있는 다른 항공기의 정보가 수신되는 0.25 %를 제외하고 99.75 %를 나타내었다. DoD AIMS 인증 기준은 POD와 PID 모두 90 % 이상일 경우 항공기 운용상에 문제가 없는 것으로 판단한다^[13]. 그림 5(b)는 Mode C 비행시험에서 고도정보에 대한 분석결과로 미응답 구간은 질의/응답이 전달될 수 있는 최대거리인 50 NM 이상임에 따라 발생하였으며, UTC 시간으로 2시 33

분경에 수신된 20,400 ft 정보는 ITC-G의 비행시험 데이터 분석결과 해당 시점에 대상 항공기의 동일 방위, 동일 거리에 위치한 다른 항공기로부터 수신된 Mode C 응답으로 확인되었다. 비행시험 간 발생한 신호 끊김 현상 및 Mode C 고도값 불일치 현상은 비행시험 대상 항공기 주변의 다른 항공기가 비행 중일 때 발생할 수 있는 왜곡현상으로 항공기 자체 결함이 아님에 따라 시험결과에 영향이 없음을 해당 프로그램을 주관하는 DoD AIMS PO (program office)와의 협의를 통해 결론지었다.

그림 6은 ○○-○○ 기종의 Mode 5 신호에 대한 안테나 커버리지 시험결과로 out-bound와 in-bound 시험의 정상범위 공역 이내인 10 NM에서 20NM 사이의 질의/응답이 안정적으로 이뤄지는 비행가능 공역을 확인한 후 8자 패턴으로 반복 비행함으로써 방위각 전체에서 신호가 끊김 없이 수신됨을 확인하였다. 이는 피아식별장비용 안테나의 무지향성 특성을 확인하는 결과로, 항공기의 안정적인 피아식별 신호 질의/응답이 가능함을 보여주는 결과이다. DoD AIMS 1102/1103 응답기 장착 체계요구도 및 체계 시험 요구도의 플랫폼 인증 규격에 대한 자료 및 지상/비행 시험결과 제출로 시험 대상 항공기의 AIMS 플랫폼 인증은 완료되었으며, 한·미연합작전 시 대상 기종에 연

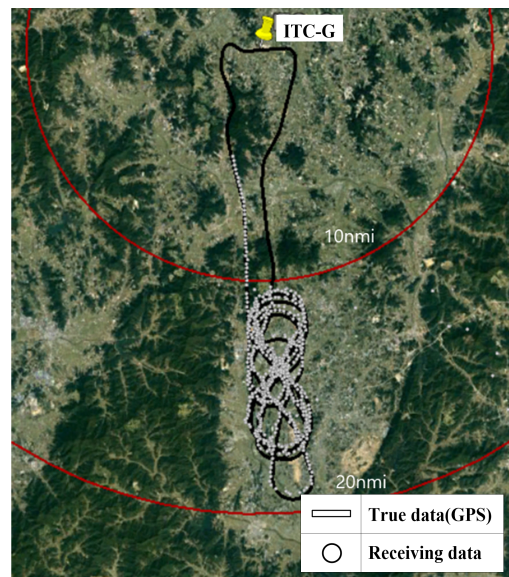


그림 6. IFF Mode 5 안테나 커버리지 시험

Fig. 6. Antenna coverage test for IFF Mode 5.

합암호장비 활용이 가능함을 검증 완료하였다. 이러한 검증방법은 피아식별장비뿐 아니라, 통신/항법 장비의 평가에도 활용 가능할 것으로 보이며, 다른 기종의 항공기 성능개량 사업 수행 시 항전장비의 평가방법으로 활용할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 피아식별용 안테나의 성능을 검증하는 방법으로 AIMS 플랫폼 레벨 인증절차를 활용한 방안을 제안하였다. AIMS 응답기 전력의 장착 시험 요구도를 기반으로 항공기에 장착된 안테나의 성능과 방사패턴을 분석하고, 안테나 송신출력 제어 기준과 방사패턴 요구도를 충족하지 않은 2개 기종에 대하여 안테나를 교체하고, 추가 장착하여 장착 시험 요구도를 충족시켰다. 응답기 장착시험 요구도 성능이 만족함을 미 국방부 AIMS PO에 승인받은 후, 체계상의 시험 요구도 기준으로 응답기의 주요 성능을 검증하였다. 기존 SIF 모드뿐 아니라, 추가 구현된 Mode 5 모드까지의 운용영역 시험과 데이터 유효성 검증 시험, Mode 5 모드에서 안테나 방사패턴까지의 시험을 통하여 피아식별장비의 체계 성능검증을 완료하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 AIMS 플랫폼 인증서가 발급되었으며, 한·미연합 작전을 위한 연합암호장비에 대한 사용 승인을 획득하였다.

피아식별용 안테나 단품뿐 아니라, 항공기에 탑재된 안테나 성능검증 방법을 확인함으로써 항공용 통신/항법 장비 등의 항전장비 평가 시에도 동일한 방법을 활용할 수 있으며, 향후 진행되는 다수의 항공기 성능개량 사업에 RF 성능검증 및 최적화 구현에 기여할 것으로 사료된다.

References

- [1] Defense Acquisition Program Administration, "Results of the 145th defense project promotion committee," 2022. Available: <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156516792>
- [2] Defense Acquisition Program Administration, "Results of the 132th defense project promotion committee," 2022.

- Available: <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156427088>
- [3] Korea Defense Industry Association, "Hanwha Systems, signed contract to improve the performance of foe identification equipment(IFF) for aircraft: Expected to improve survivability and operational capability through effective combined military operation," *Defense & Technology*, vol. 487, pp. 16-17, Sep. 2019.
 - [4] A. C. Polycarpou, C. A. Balanis, and A. Stefanov, "Helicopter rotor-blade modulation of antenna radiation characteristics," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 5, pp. 688-696, May 2001.
 - [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2005.
 - [6] *Department of Defense Test Method Standard Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*, MIL-STD-810H, Jan. 2019.
 - [7] *Technical Standard for the ATCRBS/IFF/MARK XIIA Electronic Identification System and Military Implementation of Mode S*, DoD AIMS 03-1000C, Apr. 2018.
 - [8] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Interrogator Bench Performance Test Requirements*, DoD AIMS 1201, Jul. 2018.
 - [9] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Interrogator Installation Test Requirements*, DoD AIMS 1202, Jul. 2018.
 - [10] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Interrogator Operational Test Requirements*, DoD AIMS 1203, Jul. 2018.
 - [11] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Transponder Bench Performance Test Requirements*, DoD AIMS 1101, Jul. 2018.
 - [12] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Transponder Installation Test Requirements*, DoD AIMS 1102, Jul. 2018.
 - [13] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Transponder Operational Test Requirements*, DoD AIMS 1103, Jul. 2018.

tional Test Requirements, DoD AIMS 1103, Jul. 2018.

- [14] S. Ahn, M. Choi, and S. Lee, "A study on optimal location design using antenna addition for improving air-to-ground communication radios," *The Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and*

Science, vol. 33, no. 5, pp. 365-376, May 2022.

- [15] *Department of Defense Test Method Standard Aircraft Electronic Power Characteristics*, MIL-STD-704F, May 2019.

안 승 범 [한화시스템/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8907-0261>



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2006년 2월: 홍익대학교 전자공학부 (공학석사)
2011년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)
2011년 2월~2017년 4월: LS산전 책임연

구원

2017년 4월~2020년 5월: 한국항공우주산업 책임연구원
2020년 5월~현재: 한화시스템 생산기술팀(지휘통제) 수석연구원
[주 관심분야] 구조체 안테나 해석 및 설계, 항공전자 RF/무전기 체계통합, 항공전자 시험평가

이 기 택 [한화시스템/상무]

<https://orcid.org/0000-0003-3657-392X>



1999년 2월: 광운대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1999년 3월~현재: 한화시스템 구미사업장장
[주 관심분야] 생존 FLIR/RWR 장비 개발, 항공전자 MC 장비 개발 및 체계통합

이 청 [한화시스템/수석연구원]

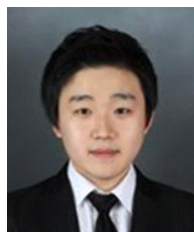
<https://orcid.org/0000-0003-1101-3985>



2003년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 11월~현재: 한화시스템 생산기술팀(지휘통제) 수석연구원/팀장
[주 관심분야] 지상무기체계 FCS/지휘통제 설계, 항공전자 RF/무전기 체계통합, 항공전자 시험평가

신 동 대 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4447-7957>



2011년 2월: 금오공과대학교 전기공학과 (공학사)
2011년 1월~현재: 한화시스템 생산기술팀(지휘통제) 전문연구원
[주 관심분야] IFF Mode 5 항공 AIMS 인증, 항공전자 RF/무전기 체계통합

남 병 석 [한화시스템/연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-0463-3975>



2019년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2019년 7월~현재: 한화시스템 생산기술팀(지휘통제) 연구원
[주 관심분야] IFF Mode 5 항공 AIMS 인증, 항공전자 체계통합