THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2023 November.; 34(11), 799～810.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2023.34.11.799
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

통신 · 항법 안테나의 항공기 체계성능 검증방안 연구

A Study of Verification Method on Aircraft System Performance for Communication and Navigation Antennas

안 승 범

Seungbeom Ahn

요 약

본 논문에서는 항공기에 탑재되는 통신 · 항법 안테나의 체계성능 검증방법을 제안하였다. 통신 안테나는 VSWR과 장비의 송신출력 기준의 지상시험 방법과 지상 계측 시스템을 활용하여 신호를 측정하거나 음성 명료도와 신호세기를 평가하는 방법으로 비행시험 방법을 제시하였다. 피아식별 안테나는 AIMS 인증 요구도를 기반으로 지상과 비행시험 방법을 제안하였고, 항법 안테나는 VSWR을 통한 지상 확인과 안테나를 통해 수신되는 항공 터미널 신호를 측정하는 비행시험 방법을 도출하였다. 통신과 피아식별, VOR/ILS 안테나의 성능을 측정함으로써 성능평가 방법을 검증하였다. 제안된 안테나의 체계성능 검증방법은 RF 성능문제를 해소하고 군 운용성을 보장하는 최적의 방안이 될 것이다.

Abstract

In this paper, we propose a system performance verification method for communication and navigation antennas installed on an aircraft. For the communication antennas, a ground test method based on the VSWR and the transmit power of the equipment is presented. The flight test is proposed to measure the reception level using a ground measurement system, or to evaluate the voice intelligibility and signal strength. For the IFF antenna, ground and flight test methods based on the AIMS certification requirements are proposed. For the navigation antennas, ground confirmation through the VSWR and a flight test method for measuring air terminal signals using navigation antennas are derived. The performance evaluation method is verified by measuring the performances of the communication, IFF, and VOR/ILS antennas. The proposed verification method is the best solutions for addressing the RF performance problem and ensuring military operability.

Key words: Antenna Performance, Ground and Flight Test, Radiation Pattern, Equipment Sensitivity

Ⅰ. 서 론

항공전자장비 개발 시 체계에 탑재된 안테나 성능은 장비운용 및 성능확보에 있어 매우 중요한 핵심 요소이다. 항전장비의 수신 민감도 기준으로 1～2 dB 차이로 인하여 장비운용이 불가할 수 있으며, 산악 지형이 많아 LOS(line of sight: 가시선) 확보가 어려운 국내 운용환경 여건상 안테나의 탑재 성능에 따른 안테나 이득 차이는

한화시스템 생산기술(지휘통제)팀(Production Technology(Command & Control) Team, Hanwha System)
· Manuscript received August 1, 2023 ; Revised August 19, 2023 ; Accepted October 10, 2023. (ID No. 20230801-057)
· Corresponding Author: Seungbeom Ahn (e-mail: seungbeom.ahn@hanwha.com)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

항공전력 운용 확장성에 중요한 요소가 된다. 항공기 체계에서 안테나 설계 및 성능 검증은 기체를 포함한 항공기 체계 전체를 개발하는 해외사가 추진하고 있다. 최근 국내 방위산업체의 항전장비 기술력 발달과 함께 피아식별장비 및 공지통신무전기 등의 항전장비 성능개량 사업과 민간 항공기를 군용으로 성능개량하는 백두체계 정찰기 사업과 항공통제기 2차 사업, 해상초계기 성능개량 사업 등이 지속적으로 발생함에 따라 안테나 탑재 설계와 성능 분석에 대한 국내 기술력 확보가 중요한 현안으로 부각되고 있다[1]~[3]. 항공기 기체 제조사들은 안테나 장착을 위해 1차적으로 기체의 재질과 구조 강도 및 공력 등의 구조적 특성 분석을 통하여 장착 가능한 위치를 도출한다[4]. 1차 장착 가능 위치 중 장비의 특성과 운용 요구도를 고려하여 안테나의 장착 위치는 최종 결정되며, 제조사들만의 체계성능 검증방법으로 안테나의 탑재 성능을 분석한다. 하지만, 기체 개발 역사가 짧은 국내 방위산업체들은 해당 기술에 대한 노하우가 부족한 상황으로 항전장비 자체의 성능 검증을 통하여 안테나의 성능을 간접적으로 예측한다. 이러한 방법은 정확한 안테나 성능 검증이 제한되어 항전장비에 대한 성능 예측도 제한되며, 운용 환경요인 또는 항공기의 특정 기동 등에서 항전장비 운용 제한을 발생할 수 있다.

본 논문에서는 통신・항법 안테나의 종류별 체계성능 검증방법을 제안하였다. 항공기 체계에서 안테나의 지상 점검 항목과 절차, 비행시험을 통한 안테나 및 장비 성능 검증방법을 제안하였다. 지상에서는 안테나의 VSWR (voltage standing wave ratio: 전압 정재파비)과 출력 운용성 검증을 통한 점검을 수행하고, 비행에서는 안테나 방사패턴 및 안테나를 통해 수신되는 RF 수신레벨을 확인한다. 통신 및 피아식별 안테나는 원형 회전이나 클로버 회전 또는 8자 비행을 통해 방사패턴을 측정하는 방법을 제시하였고, VOR(VHF Omnidirectional Range: 초단파 전방향 무선표지)과 ILS(Instrument Landing System: 계기 착륙 시스템) Localizer, Glide Slope 안테나는 안테나를 통해 유입되는 신호가 항법 장비의 수신 민감도 이상의 크기인지를 측정하는 방법을 제안하였다.

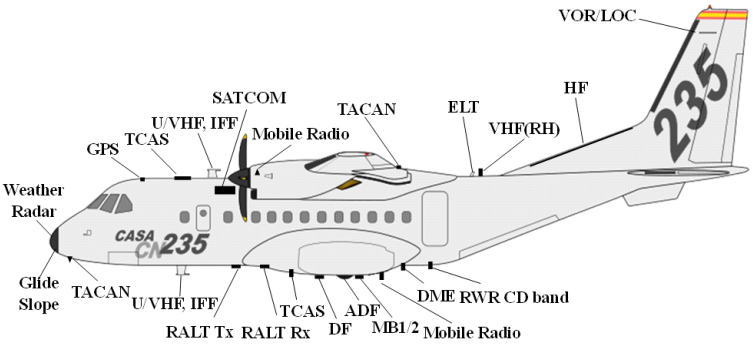
제안된 지상과 비행 성능검증 방안을 항공기 체계개발 시 적용하여 안테나 자체의 탑재 성능을 검증하였다. 회전익 항공기에서 VHF-FM과 UHF-AM 무전기에 연동되는 안테나의 방사패턴을 측정하였으며, 최대 수신 강도와 최소 수신 강도의 편차가 20 dB 이내로 무지향성 특성을 만족함을 확인하였다. 피아식별 안테나와 VOR, Localizer, Glide Slope의 항법 안테나도 제안된 측정방법을 이용하여 안테나의 성능을 검증함으로써 장비 성능과 함께 탑재 안테나의 성능을 통한 정확한 성능평가가 가능하였다.

제안된 지상 점검방법과 비행시험을 통한 안테나 검증방법은 통신과 피아식별, 항법 장비와 연동되는 안테나에 대한 체계성능 평가로 항전장비의 정상동작 판단을 통한 기존의 검증방법보다 정확한 성능검증을 수행할 수 있을 것이다. 이를 통하여 항공기 성능개량 사업을 보다 효율적으로 진행하며 우수한 군 운용을 보장할 것이다.

Ⅱ. 통신・항법 안테나의 지상・비행시험을 통한 성능확인 방법

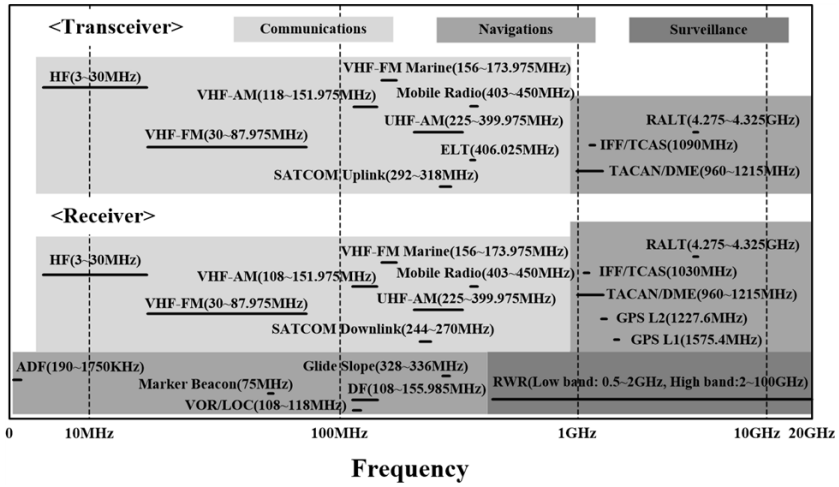
2-1 탑재 안테나의 종류 및 기존 성능확인 방법

항공기에는 많은 통신・항법 장비가 탑재되며, 특히 군용 항공기의 경우 UHF 무전기와 HF 무전기, 위성 SATCOM 등의 통신 장비와 ADF와 IFF의 항법 장비, RWR 등의 생존 장비가 추가 탑재된다. 이에 따라 공군 수송기 기종은 그림 1(a)와 같이 항공기 동체 전방부터 꼬리 날개까지 많은 안테나가 탑재된다. 통신 안테나는 항공기 상부에 U/VHF와 VHF, HF, SATCOM, Mobile Radio, ELT 총 6개 안테나가 장착되며 하부에는 U/VHF와 Mobile Radio 총 2개 안테나가 장착된다. 항법 안테나는 상부 전방에 GPS와 TCAS, 피아식별 안테나가 설치되며 동체 중앙에 TACAN, 상부 꼬리 날개에 VOR/LOC 안테나 장착된다. 하부에 탑재된 항법 안테나는 상・하부 탑재가 필요한 TACAN와 IFF, TACS 안테나가 동체 전방과 중앙에 위치하며 RALT 송・수신 안테나와 DF, ADF, Marker Beacon, DME 안테나가 동체 중앙하부에 장착된다. 또한 동체 전방에 Glide Slope과 함께 Weather Radar가 장착되며, RWR 장비의 안테나가 하부 후방에 탑재된다. 이러한 탑재 안테나는 그림 1(b)에서 보는 것처럼 수백 KHz에서 수십 GHz까지 운용 주파수 대역을 갖는다. 통신과 항법 장비는 VHF 대역(30～300 MHz)과 UHF 대역(300～3,000



(a) 항공기 탑재 안테나

(a) Installed antennas for aircraft



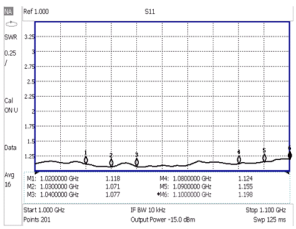
(b) 운용 주파수 대역

(b) Operational frequency bands

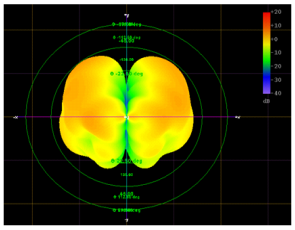
그림 1. 항공기 탑재 안테나와 운용 주파수 대역

Fig. 1. Installed antennas and operating frequency bands for aircraft.

MHz)에서 운용 주파수가 많은 부분 겹치며, 특히 100 MHz에서 450 MHz는 U/VHF AM과 SATCOM, Mobile Radio, ELT의 통신 장비와 VOR과 Localizer, DF, Glode Slope의 항법 장비가 운용되는 주파수 대역으로 개발 간 장비 운용 특성을 고려하거나 운용 주파수 대역 간 간섭 회피 설계가 진행되어야 한다. 일반적으로 항공기용 안테나는 원제작사의 제품 스펙을 기준으로 선정하게 된다. 안테나의 크기와 무게 등의 구조적인 특징부터 동작 주파수와 주파수별 VSWR, 편파, 방사패턴, 이득 등의 성능 항목까지 항전장비의 특성에 맞는 안테나를 선정한다. 이때 항공기에 장착되는 장비로 군용 표준 규격인 MIL-STD-810 기반의 환경시험 결과가 충족한 안테나를 고려해야 한다[5]. 안테나 제조사들은 안테나의 스펙자료를 운용주파수와 VSWR, 편파, 방사패턴 등의 간단한 숫자 자료로만 제공하며 상세성능 지표를 제공하지 않기 때문에 안테나 단품에 대한 VSWR과 방사패턴, 편파를 직접 측정하여 성능확인이 필요하다. 그림 2는 피아식별 안테나의 성능확인 예시로 VSWR과 이득, 편파에 대한 안테나 단품 측정결과를 나타낸다. 성능을 항공기 탑재 시 장착 위치 및 주변 장착물에 따라 성능 변화가 많이 발생하여 항공기 운용이 불가한 심각한 상황이 발생하는 경우도 있다[6].



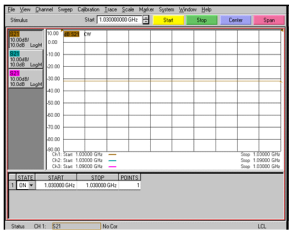
VSWR: ≤1.19 @1.02~1.04, 1.08~1.1 GHz



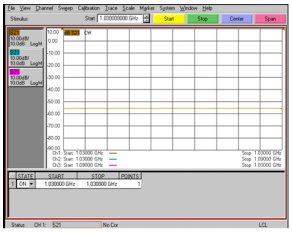
Gain: 3.84 dBi @1030 MHz

(a) VSWR과 이득

(a) VSWR and gain



Vertical Polariza.: Rev. Power − 32 dB



Horizontal Polariza.: Rev. Power − 55 dB

(b) 편파

(b) Polarization

그림 2. 안테나의 성능확인 예시

Fig. 2. Example of performance verification for antenna.

2-2 탑재 안테나의 지상시험 성능확인 방법

탑재 안테나의 정확한 성능 도출을 위해 통신・항법 안테나의 체계 지상시험과 비행시험을 수행하는 방법을 제안하였다. 표 1은 체계 지상시험 항목과 시험방법으로 통신과 피아식별, 항법 안테나로 분류하였다. 모든 안테나는 VSWR 측정을 통하여 기준 성능을 만족해야 하며, 송・수신 항전장비는 장비의 송신 출력을 전력계(watt-meter)로 측정해야 한다. 이때 안테나별 VSWR은 체계 시스템 기준과 AIMS 플랫폼 인증, 항법장비별 RTCA/DO 표준, 장비의 스펙을 기반으로 평가기준을 잡았으며 GPS는 상용 안테나 스펙을 기준으로 하였다[7]~[13]. 송신 출력은 장비의 송신출력 기준으로 항공기 체계의 여유값(margin)과 주파수 할당에 따른 최대 출력을 넘지 않는 범위로 평가 기준을 선정하였다.

2-3 탑재 안테나의 비행시험 성능확인 방법

지상에서 검증된 통신 안테나 성능은 엔지니어 설계 안내서인 AMCP 706-203 Engineering Design Handbook

표 1. 통신・항법 안테나 체계 지상시험 항목 및 방법

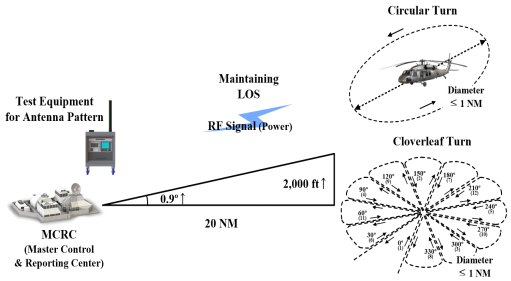
Table 1. The items and methods of system ground test for communication and navigation antennas.

Index	Equipment	Items	Method	Criteria	Requirement
Comm. antenna	VHF-FM radio	Trans. power	Measure output power for freq. using wattmeter	8~25 W	Equipment power
		VSWR	Measure VSWR for freq. using network analyzer	≥3:1	System refer.
	U/VHF-AM radio	Trans. power	Measure output power for freq. using wattmeter	9~15 W	Equipment power
		VSWR	Measure VSWR for freq. using network analyzer	≥3:1	System refer.
IFF antenna	IFF (transponder)	Trans. power	Measure output power for freq. using wattmeter	below 15 W	AIMS 1102
		VSWR	Measure VSWR for freq. using network analyzer	≥2:1	AIMS 1102
Naviga. antenna	VOR/ILS	VSWR	Measure VSWR for freq. using network analyzer	≥5:1 (VOR/LOC) ≥3:1 (Glide Slope)	RTCA/ DO-196/ 195/192
	Marker Beacon			≥3:1	RTCA/DO-143
	GPS			≥3:1	Commercial antenna
	TCAS/DME/TACAN			≥2:1 (TCAS) ≥3:1 (DME/TA	RTCA/DO-185 RTCA/DO-189
	RALT			≥3:1	Equipment VSWR

(Army Materiel Command Pamphlet: 미국 육군물자사령부 소책자) 등의 국제 표준에 기반하여 회전익과 고정익 항공기에 대한 프로파일로 구체화하였으며, 피아식별 응답기 전력에 장착되는 안테나는 미국 국방부 산하 기관인 AIMS(Air Traffic Control Radar Beacon System Identification Friend or Foe Mark XII/Mark XIIA System; 항공통제 및 피아식별 시스템) 1103 인증 요구사항을 표준 절차로 활용하였다[14],[15]. VOR과 Localizer, Glide Slope 안테나는 VOR 운용 관련 미국 항공 표준인 AC 00-31A과 Localizer 운용관련 표준인 ICAO(International Civil Aviation Organization: 국제 민간 항공기구)의 Annex 10 등을 기반으로 항공 터미널 기반 해당 항법 장비의 운용 영역에서 안테나 수신 신호를 측정하는 방법을 도출하였다[16],[17]. 표 2와 같이 비행을 통하여 방사패턴을 측정하거나 안테나로부터 수신되는 항공 터미널 신호 크기를 측정하여 장비의 정상 동작 범위를 충족하는지를 확인한다. 그림을 통하여 통신과 항법 안테나의 비행을 통한 성능 검증방법을 살펴보자. 그림 3은 회전익과 고정익 항공기의 통신 안테나 성능 검증방법이다. 회전익기는 항공기가 원형 회전이나 클로버 회전하는 동안 조종사가 PTT(push to talk)를 지속적으로 당겨 무전기를 송신하여 지상 측정 시스템을 통하여 360도 전방향에 대한 방사패턴을 측정하는 방법을 제안하였다. 이때 항공기 회전 기준은 AMCP 706-203 Engineering Design Handbook에 의해 원형 회전의 경우 회전 직경과 지상과의 거리 비율이 20:1 이상을 유지해야 됨에 따라 지상 장비와의 거리는 20 NM로 항공기 원형 회전은 1 NM 이내로 제한하였다. 이때 제자리 비행(hovering)이 가능한 항공기는 제자리 비행을 할 경우 거리 변화에 따른 변수를 줄일 수 있다. 또한, 클로버 비행은 회전 직경이 1 NM 이상일 때 30도 간격으로 비행함으

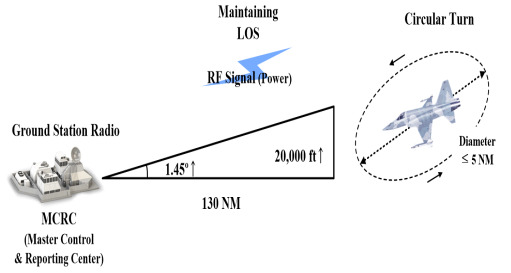
표 2. 통신·항법 안테나 체계 비행시험 항목 및 방법
Table 2. The items and methods of system flight test for communication and navigation antennas.

Index	Equipment	Items	Method	Criteria	Requirement
Comm. antenna	VHF-FM Radio	Radiation pattern (rotary wing)	Measure received power at 1 degree intervals using ground system by circular or cloverleaf turns	Null point (difference in the level between maximum and minimum	• AMCP 706-203 • UH-60 PIDS
	U/VHF-AM Radio	Communication check (fixed wing)	Communication check by circular or cloverleaf turns	Communication intelligibility	• ACP 131 (F) QRK-QSA Reports • ANSI/ASA S3.2
IFF antenna	IFF	Coverage	Check PIN (platform identification number) and NO (national origin) in flight drawing eight pattern	Reception PIN number and no without drop-out	• AIMS 1103 (transponder)
Naviga. antenna	VOR/ILS	Received power	Measure antenna reception level under operating condition of airport	Reception power above sensitivity level	• AC 00-31A • ICAO Annex 10 • Equipment sensitivity
	Marker Beacon	Normal operation	Check normal operation for navigation equipment (∵Since the antenna is working normally, the equipment also operates normally)	Normal operation of the instrument panel	• Restriction on narrow operating angle
	GPS				• Restriction on GPS reception level
	TCAS				• Restriction on flight stability
	DME/ TACAN				• Restriction on flight stability
	RALT				• Restriction on flight stability



(a) 회전익 항공기 검증방법

(a) Verification method for rotary wing aircraft



(b) 고정익 항공기 통신점검 방법

(b) Communication check method for fixed wing aircraft

그림 3. 회전익·고정익 통신 안테나 성능 검증방법

Fig. 3. Verification method for communication antennas of rotary and fixed wing aircrafts.

로써 조종사의 비행 편의성을 제공하는 측정 방법이다. 지상 계측 시스템을 통해 측정된 수신레벨은 UH-60 PIDS(Prime Item Development Specification: 초기 장비 개발 사양서) 기준을 적용하여 수신레벨의 최대와 최소 차이 즉, 편차가 20 dB 이상 발생하는 Null 지점이 없을 경우 모든 방향에서 통신이 가능한 전방향성(omnidirectional) 특성을 만족한다고 판단할 수 있다[18]. 고정익기의 성능측정은 항공기의 회전 직경과 운용 가능 고도를 고려하여 지상관제에서 130 NM 이상 떨어진 지점의 20,000 ft 이상 공역에서 원형 회전으로 지상관제와 정상적인 통신이 가능한지를 판단하는 형태로 진행할 수 있다. 이때 통신 시스템에 대한 음성 평가 방법은 ACP 131(F)에 명시된 음성 명료도와 음성 신호세기 기준을 활용하거나 ANSI/ASA S3.2에 명시된 MRT(modified rhyme test)와 DRT(diagnostic rhyme test)를 준용한다[19],[20]. 음성 명료도와 음성 신호세기 방법은 각각 1에서 5까지 단계를 분류하여 화자와 청자간의 교신 간 숫자들의 조합으로 통신 상태를 점검한다. 음성 명료도는 1단계 'bad'부터 5 단계 'excellent'까지의 QRK 5단계로, 음성 신호세기는 1단계 'scarely perceptible'부터 'very good'까지의 QSA 5단계의 조합으로 평가할 수 있다. 지상관제와 항공기 또는 항공기간 통신 상태를 점검할 때는 QRK와 QSA 조합으로 4×3(음료 명료도 4단계 'good'×신호세기 3단계 'fairly good') 형태와 같이 점검 상태를 언급한다. MRT는 단음절 영어 단어 그룹 50개를 선정한 후 유사한 단어 중 화자가 하나의 단어를 말하면 청자가 선택하는 방식으로 'Sun, Bun, Gun, Run, Nun'과 'Peace, Peas, Peak, Peal, Peat, Peach' 등과 같다. DRT도 유사한 방법이나 두 개의 단어 중 청자가 선택하는 방식으로 'Veal-Feel'과 'Meat-Beat', 'Yiled-Wiled' 등 192개를 하나의 그룹으로 평가하는 방식이다.

피아식별 안테나의 비행시험은 응답기(transponder) 전력의 경우, DoD(Department of Defense: 미국 국방부) AIMS 1103의 운용 시험 요구사항 인증을 통하여 성능 검증을 수행한다[15]. 해당 시험결과를 포함한 AIMS 주관의 인증을 진행하여 항공기 플랫폼별 인증서가 발급될 경우에만, 미국 주도의 연합국가들 간의 작전을 위한 연합암호장비 배포가 가능하다. 피아식별장비 응답기 탑재전력은 AIMS 1103의 요구사항 항목을 만족해야 하며, 안테나와 관련된 평가항목으로 SIF(selective identification feautre: 선태적 식별 기능)와 Mode 5 신호 각각에 대하여 안테나 커버리지 시험을 수행해야 한다. 안테나 커버리지 시험은 지상의 질문신호에 대하여 정상적인 PIN(platform identification number: 플랫폼 식별 번호)과 NO(national origin: 국가 번호)로 응답하는지를 확인하는 방법으로 그림 4와 같이 360도 전방향에 대한 평가를 위하여 8자 비행으로 수행하며 최소 2회 이상의 비행 결과를 바탕으로 질문과 응답 전송 간에 미응답(dropout) 신호가 있는지를 확인하여 안테나 성능을 평가한다. 이때 비행지역의 LOS 여부를 고려하여 3,000 ft 이상의 고도에서 신호의 왜곡에 따른 미응답이 발생하지않는 최소 지점인 5 NM(지상전력과의 거리) 이상 떨어진 공역에서 시험을 수행한다.

항법 안테나는 수신 전용장비인 VOR/ILS와 Marker Beacon, GPS, RALT, 송/수신 장비인 TCAS와 TACAN, DME 등이 운용되고 있다. 해당 장비 중 비행의 안정성과

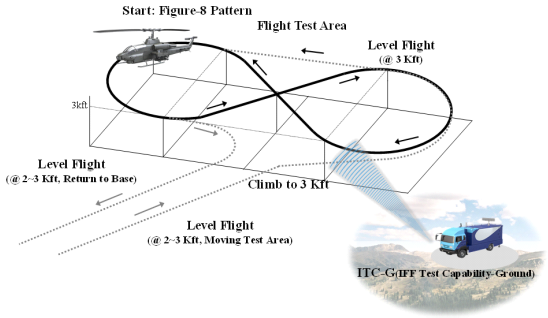


그림 4. 피아식별 안테나 성능 검증방법
Fig. 4. Verification method for IFF antenna.

수신 신호가 미약하여 측정이 불가한 항법장비인 Marker Beacon과 TCAS, TACAN, DME, GPS, RALT는 해당 장비의 계기판이 시현되는 결과를 기준으로 안테나의 성능을 예측할 수 있다. VOR/ILS 장비는 항공 터미널 기반으로 정상적인 운용이 반드시 되어야 하는 공역에서 스펙트럼 분석기를 통해 수신되는 지상 터미널 송신신호의 세기를 측정하는 방법을 제안하였다. 이때 측정된 VOR/ILS 신호 세기가 개별 장비의 최저 수신감도 이상이어야 하며, 최저 수신감도 이상의 신호일 때 VOR/ILS 장비가 정상적으로 운용될 수 있기 때문이다. 그림 5 및 그림 6은 VOR/ILS 장비의 안테나 성능 검증방법으로 항공 터미널 기반의 운용 가능한 공역과 시험방법에 대하여 보여준다. 그림 5 VOR 안테나 성능 검증방법은 VOR/DME/TACAN 시스템에 대한 미국 항공 표준인 AC 00-31A의 문서 내 'Fig. 2-3. Standard Terminal Service Volume'을 기반으로 설정된 공역에서 VOR 안테나에 스펙트럼 분석기를 연결함으로써 지상 송신신호를 측정하는 방법으로 제안하였다[16]. 측정 시 항공기 회전을 통하여 360도의 모든 방위각에서 장비

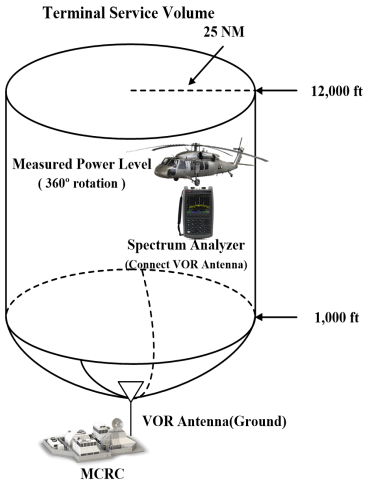


그림 5. VOR 안테나 성능 검증방법
Fig. 5. Verification method for VOR antenna.

수신 민감도 이상의 신호가 수신되는지를 확인한다. Localizer와 Glide Slope은 ICAO Annex 10 무선항법 보조장치(Radio Navigation Aids.)에 대한 표준의 방위각과 고도각 방향에 대한 장비의 운용범위를 기반으로 그림 6과 같이 안테나 성능 검증방법을 제안하였다[17]. Localizer는 활주로 센터 라인 기준으로 방위각 ±35°와 고도각 7° 이내가 운용범위이며, Glide Slope은 방위각 ±8°와 고도각 Glide Path 각도인 θ의 0.45Θ ~ 1.75θ 이내가 운용범위임을 고려하였다. Localizer는 항공기의 inbound와 outbound를 동시에 고려해야 함에 따라 360도 전방위에 대하여 측정하고 Glide Slope은 항공기가 측면에서 활주로로 진입할 수 있음을 고려하여 항공기 기수 방향의 ±60° 방위각에 대하여 측정하는 방법을 제시하였다. 이때 수신전용 항법장비이지만 항공기의 운용 안전성 고려가 필요할 경

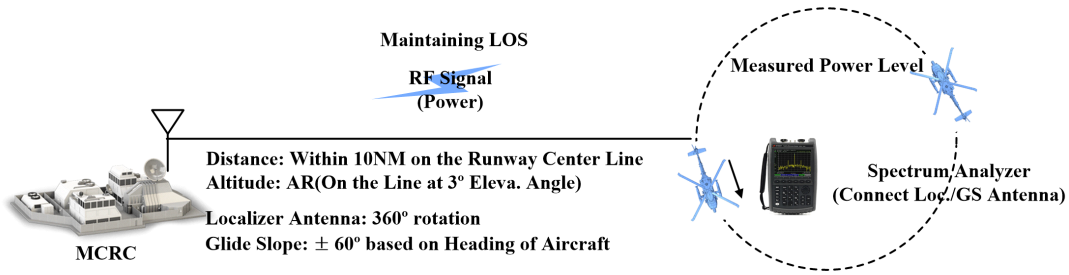


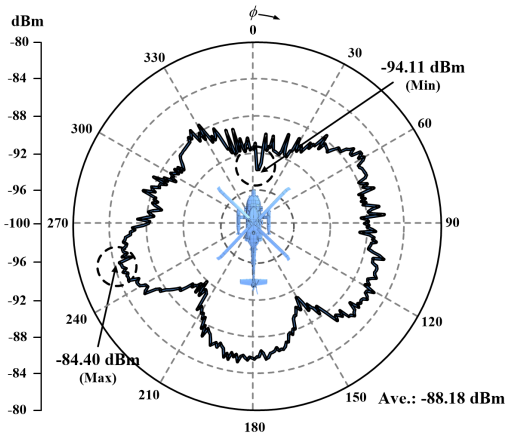
그림 6. Localizer와 Glide Slope 안테나 성능 검증방법
Fig. 6. Verification method for Localizer and Glide Slope antennas.

우 VOR/ILS 안테나에 스펙트럼 분석기에 직접 연결하지 않고, BOB(break out boxes)를 통하여 RF 신호라인을 분리하고 스펙트럼 분석기로 측정한 후에 BOB에 의한 RF 삽입손실을 계측 후에 보정할 수 있다.

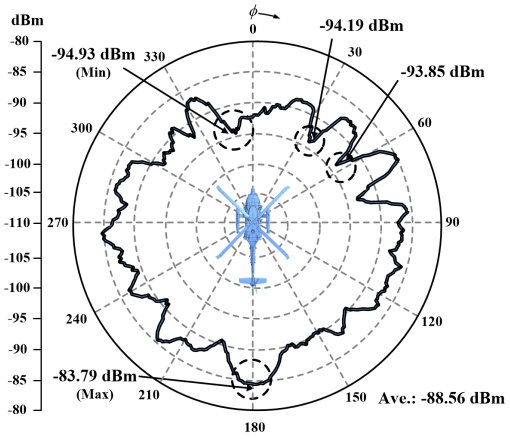
Ⅲ. 통신・항법 안테나의 비행시험을 통한 성능확인 사례

3-1 통신 안테나의 비행시험 성능확인 사례

제안된 통신・항법 안테나의 체계성능 검증방법을 활용하여 항공기 체계개발 시 지상과 비행시험을 수행하였다. 통신 안테나를 포함한 피아식별과 항법 안테나 모두 지상시험 항목은 기준을 만족하며, 지상시험이 완료된 후 FFRR(First Flight Readiness Review: 초도비행준비검토회의)와 SRB(Safty Review Board: 안전검토심의회) 등을 통해 비행을 위한 안전규정을 확인 및 승인이 완료된 후 비행시험을 진행하였다. 그림 7은 회전익 항공기 통신 안테나의 성능 측정결과로 VHF-FM 안테나와 UHF-AM 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 원형 회전 비행 간 PTT 신호를 지속 송신하여 1도 간격으로 수신되는 신호레벨을 지상에서 측정하였다. VHF-FM 안테나는 항공기 동체 하부 후방쪽에 장착되어 180도 후방방향과 120도, 250도 방향에서 수신성능이 우수하며, 항공기 전방에서 가장 낮은 수신레벨을 보였다. 평균 수신 레벨은 −88.18 dBm이며, 방사패턴의 최대와 최소 편차가 9.71 dB를 나타내었다. 그림 7(b)는 UHF-AM 무전기의 주파수 3XX.XX MHz 방사패턴 측정결과를 나타낸다. 항공기 후방이 −83.79 dBm으로 최대 신호를 11시 방향에서 −94.93 dBm으로 최소신호를 나타내었다. 평균 수신레벨은 −88.56 dBm이며, 최대편차는 11.14 dB로 확인되었다. VHF 대역보다 UHF 대역으로 운용 주파수가 높아짐에 따라 RF 신호의 직진성이 커지며 항공기 기체 구조에 의해 수신레벨이 감소하여 편차가 10 dB 이상 발생하는 영역이 3군데 확인되었다. 다만, UH-60 PIDS의 안테나 방사패턴의 음영지역(null point) 기준인 최대편차 20 dB보다 작은 값으로 모든 방향에서 무전기 신호를 수신하는 데 영향이 없을 것으로 판단된다.



(a) VHF-FM 안테나 방사패턴 측정결과(7X.XX MHz)
(a) Measurement result for radiation pattern of VHF-FM antenna



(b) UHF-AM 안테나 방사패턴 측정결과(3XX.XX MHz)
(b) Measurement result for radiation pattern of UHF-AM antenna

그림 7. 회전익 통신 안테나의 성능 측정결과
Fig. 7. Measurement results for communication antenna of rotary wing aircraft.

3-2 피아식별 안테나의 비행시험 성능확인 사례

항공기에 장착된 응답기용 안테나의 성능 확인을 위하여 AIMS 1103 응답기 전력의 안테나 커버리지 시험을 활용하였다. 지상의 질문기와 공중의 응답기 간의 정상적인 질의・응답을 기반으로 해당 시험을 진행된다. 질문기는 XX±2 dBm 출력으로 1,030 MHz 신호를 6초에 한 번씩 회전하는 지향성 안테나로 송신하며, 항공기에 탑재된 응답기는 질문 신호를 수신 후에 응답기 출력 XX±2 dBm이고

0 dBi 수준의 무지향성 안테나를 통하여 1,090 MHz 신호로 응답함으로써 지상 질문기가 해당 신호를 수신하여 피아식별을 수행하게 된다[21]. AIMS 1103 응답기 전력의 안테나 커버리지 시험은 표 3과 같이 상세 프로파일로 진행하였다. 항공기는 이륙 후 시험공역으로 이동하기 위하여 Normal 모드로 전환하여 Mode 1과 2, 3, 5, C의 모든 지상 질문 신호에 응답하며 이동하였다. 시험공역으로 이동을 완료한 후 Mode 5 Format 1과 2, 4에 대한 커버리지 측정을 위해 지상 질문기에서 해당 신호 이외 모든 질문 신호를 off한 후 Mode 5의 Format 1과 2, 4에 대하여 응답이 정상적으로 수신되는지 확인하였다. 질의·응답이 정상임이 확인되면 8자 형태로 2회 이상 회전을 수행하였으며, 약 1 시간 정도의 커버리지 시험을 완료한 후 지상 질문전력과의 거리가 5 NM 지점에서 안테나 커버리지 시험을 마무리하였다. 비행시험 Sortie(쏘티)를 최적화하기 위하여 공역 이동 시와 8자 패턴 시험 중 시험에 영향이 없는 다른 평가항목에 대하여 동시 수행이 가능하며 한 예로 identification 항목을 비행 프로파일에 추가하여 수행하였다. 그림 8은 안테나 커버리지 시험결과로 outbound와 inbound 시험의 정상범위 공역 이내인 10 NM에서 20 NM 사이의 질의·응답이 안정적으로 이뤄지는 비행가능

표 3. IFF 안테나 커버리지 상세 비행 프로파일
Table 3. The detailed flight profile for IFF antenna coverage.

Index	Time (UTC)	Observation
1	04:33:00	Take off.
2	04:38:34	Change mode to normal. Mode 1, 2, 3, C interrogation on and Mode 5 Format 1, 2, 3, 4 interrogation on.
3	04:39:20	Mode 1, 2, 3, C interrogation off. Mode 5 Format 1, 2, 4 interrogation on and Format 3 interrogation off.
4	04:40:25	Start figure eight pattern. Begin antenna coverage test (3,000 fts).
5	04:44:14	Conduct identification.
6	05:39:40	End figrue eight pattern. Returning to the base.
7	05:46:25	Pass 5 NM point. End antenna coverage test.

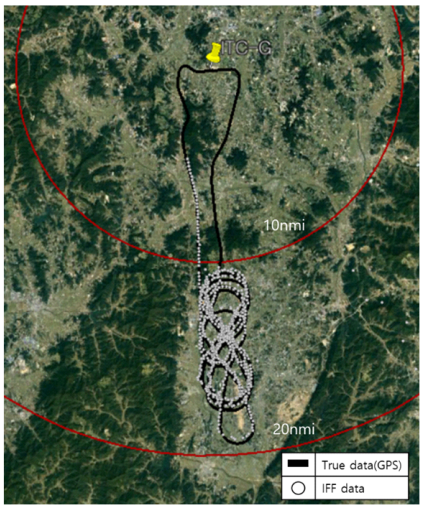
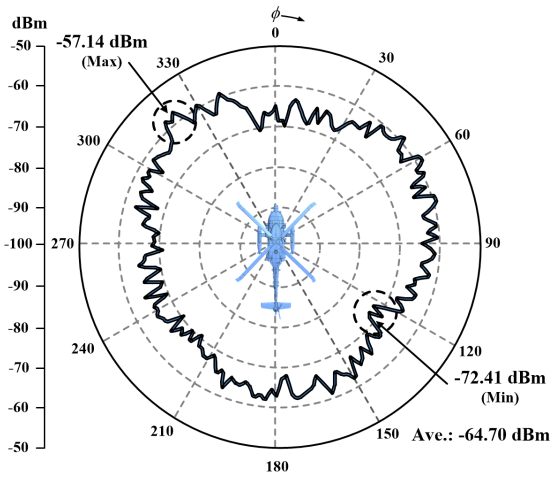


그림 8. IFF 안테나 커버리지 측정결과
Fig. 8. Measurement result for IFF antenna coverage.

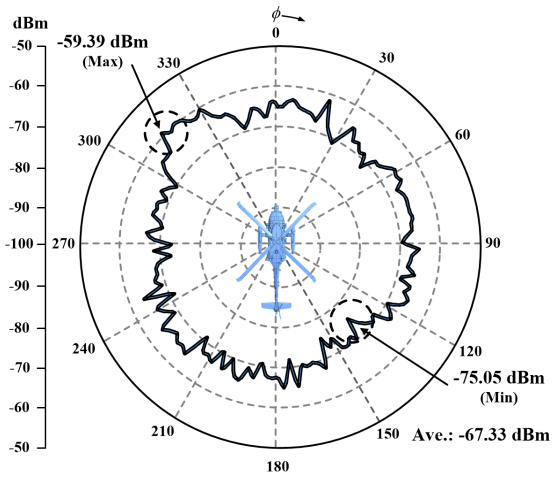
공역 즉, LOS 영역을 확인한 후 8자 패턴으로 반복 비행함으로써 방위각 전체에서 신호가 끊김 없이 수신됨을 확인하였다. 또한, 항공기에 탑재된 GPS 신호 위치와 질문기 전력에서 인지한 IFF 신호 위치값이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이는 피아식별 안테나의 무지향성 특성을 확인하는 결과로 항공기의 안정적인 피아식별 신호 질의·응답이 가능함을 보여주는 결과이다.

3-3 항법 안테나의 비행시험 성능확인 사례

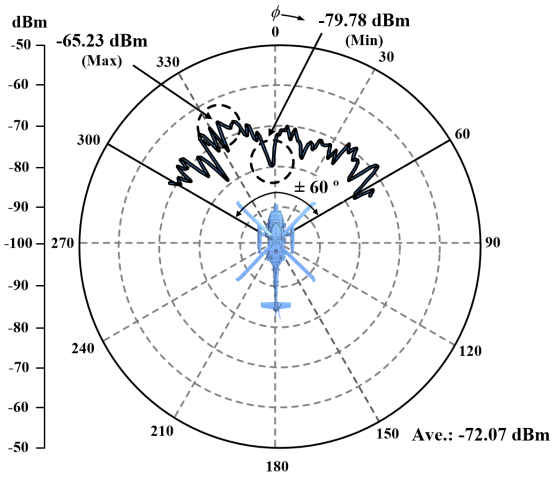
그림 9는 VOR/ILS 장비의 VOR과 Localizer, Glide Slope 안테나의 성능측정 결과를 보여준다. VOR/ILS 수신기의 수신 민감도 이상의 신호가 안테나를 통해 수신될 경우 장비는 정상 시현되는 것으로 판단할 수 있으며, 일반적인 VOR/ILS 장비의 수신 민감도인 −107 dBm을 기준으로 판단하였다. VOR 안테나는 3,000 ft 상공에서 항공 터미널 신호를 수신할 수 있는 20 NM 지점에서 선회 비행으로 VOR 안테나의 수신레벨을 측정하였으며, BOB를 통하여 VOR/ILS 수신기가 정상 동작하는 상태에서 RF 신호를 측정한 후 신호 분기에 따른 삽입손실을 보정하였다. 115.1 MHz의 VOR 최대신호는 약 330도 지점에서 최소감도는 120도 지점에서 각각 −57.14 dBm과 −72.41 dBm을 나타냈으며, 평균은 −67.70 dBm고 편차



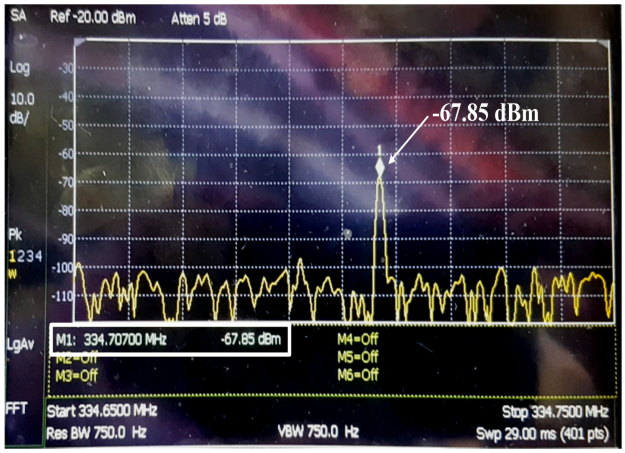
(a) VOR 안테나 방사패턴 측정결과(11X.X MHz)
(a) Measurement result for radiation pattern of VOR antenna



(b) LOC 안테나 방사패턴 측정결과(10X.X MHz)
(b) Measurement result for radiation pattern of LOC antenna



(c) Glide Slope 안테나 방사패턴 측정결과(33X.X MHz)
(c) Measurement result for radiation pattern of Glide Slope antenna



(d) Glide Slope 신호 측정 사진
(d) Picture for measurement of Glide Slope signal

그림 9. 항법 안테나의 성능 측정결과
Fig. 9. Measurement results for navigation antennas.

는 15.27 dB로 확인되었다. 동일한 방법으로 주파수 108.1 MHz의 Localizer 신호를 측정하였으며 최대와 최소신호는 유사한 방향에서 −59.39 dBm과 −75.05 dBm을 평균값과 편차는 각각 −67.33 dBm과 15.66 dB로 지상 항공터미널의 Localizer 신호를 정상적으로 수신할 수 있는 범위임을 확인하였다. 그림 9(c)는 Glide Slope 안테나에 대한 주파수 334.7 MHz의 측정결과로 그림 6에서 제시한 방법인 항공기 기수 방향의 ±60° 방위각에 대하여 측정하였다. 최대와 최소 신호는 −65.23 dBm과 −79.78 dBm이었으며, 평균과 편차는 −72.07 dBm과 14.55 dB로 계산되었다. 그림 9(d)는 Glide Slope 안테나의 신호 측정 사진으로 휴대용 스펙트럼 분석기를 통해 수신된 신호를 보여준다. Glide Slope 주파수 334.7 MHz에서 −67.85 dBm의 신호를 확인할 수 있으며, 항공기의 GPS 시간에 따른 항

공자세 정보를 기반으로 수신 시간을 확인한 후 측정된 신호의 수치를 기록하는 방식을 활용하였다. 제안된 통신・항법 안테나 항공기 체계성능 검증방법은 장비성능에 의존하여 평가하는 기존 방법에서 항공기에 탑재된 안테나의 성능을 검증함으로써 항공기 체계개발과 성능개량 사업 진행 간 최적의 평가방법을 제공하고 정확한 성능 예측을 통해 군 운용성을 보장할 수 있을 것이다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 항공기 체계개발이나 성능개량 시 정확한 안테나 성능예측을 위해 통신・항법 안테나의 종류별 지상시험과 비행시험을 통한 체계성능 검증방법을 제안하였다. 안테나의 개별 단품성능과 RTCA/DO와 AIMS 표준 등을 기반으로 안테나의 VSWR과 장비의 송신출력을 제안하였다. 또한, 통신과 피아식별 및 항법 안테나의 비행시험을 통한 체계 검증방안을 제시하였다. 통신 안테나는 고정익과 회전익을 분리하여 항공기의 무전기 송신출력을 지상 계측시스템을 통하여 측정하는 방식과 음성 명료도와 음성 신호세기를 조종사가 평가하는 MRT나 DRT를 제안하였다. 피아식별 응답기에 연동되는 안테나는 AIMS 1103 기반으로 안테나 커버리지 측정방법을 제시하였다. 마지막으로 VOR/ILS 수신 전용장비의 안테나인 VOR과 Localizer, Glide Slope의 수신레벨을 측정하는 방법을 AC 00-31A와 ICAO 등의 표준문서를 기반으로 도출하였다. 제안된 안테나 체계성능 검증방법을 활용하여 항공기 체계개발 시 안테나의 단품 성능뿐 아니라 탑재성능을 검증하였다. 회전익 항공기에서 VHF-FM 안테나와 UHF-AM 안테나의 측정결과를 제시하였고, 응답기 전력의 Mode 5 안테나 커버리지 측정을 수행하였다. 또한, VOR/ILS 장비의 3개 안테나에 대한 검증을 통하여 신호수신이 필요한 필수 공역에서 항공 터미널 신호를 측정하고 신호세기가 VOR/ILS 장비의 수신 민감도 이상임을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 안테나 탑재성능 검증방법은 항전장비에 의한 평가가 아닌 안테나의 자체의 성능 평가 방식으로 정확한 성능도출과 함께 항공기 개발과정에서 발생할 수 있는 RF 성능 현안을 해소하고 군 작전 운용성을 보장할 수 있는 최적의 방안이 될 것이다.

References

[1] Defense Acquisition Program Administration, "Results of the 135th defense project promotion committee," 2021. Available: https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156448767

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

[3] Defense Acquisition Program Administration, "Results of the 154th defense project promotion committee," 2023. Available: https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156571676

[4] *Antenna Subsystems, Airborne, Criteria for Design & Location of*, MIL-STD-877, Sep. 1995.

[5] *Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*, MIL-STD-810H, Jan. 2019.

[6] RAMI, "AT-741B/B." Available: https://www.rami.com/wp-content/uploads/2021/04/AT-741BB-1.pdf

[7] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Transponder Installation Test Requirements*, DoD AIMS 1102, Jul. 2018.

[8] *Minimum Operational Performance Standards for Airborne VOR Receiving Equipment Operating within the Radio Frequency Range of 108-117.95 MHz*, RTCA/DO-196, Nov. 1986.

[9] *Minimum Operational Performance Standards for Airborne ILS Localizer Receiving Equipment Operating within the Radio Frequency Range of 108-112 MHz*, RTCA/DO-195, Nov. 1986.

[10] *Minimum Operational Performance Standards for Airborne ILS Glide Slope Receiving Equipment Operating within the Radio Frequency Range of 328.6-335.4 MHz*, RTCA/DO-192, Jul. 1986.

[11] *Minimum Performance Standards-Airborne Radio Marker Receiving Equipment Operating on 75 MHz*, RTCA/DO-

143, Mar. 1970.

[12] *Minimum Operational Performance Standards for Traffic Alert and Collision Avoidance System II(TCAS II)-Change 2*, RTCA/DO-185, Mar. 2013.

[13] *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Distance Measuring Equipment(DME) Operation within the Radio Frequency Range of 960-1215 MHz*, RTCA/DO-189, Sep. 1985.

[14] *Helicopter Engineering Part Three Qualification Assurance*, AMCP 706-203, Apr. 1972.

[15] *Technical Manual Performance Test Requirement MARK XIIA and Mode S & Mark XIIB Transponder Operational Test Requirements*, DoD AIMS 1103, Jul. 2018.

[16] *United States(U.S.) National Aviation Standard for the Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR)/Distance Measuring Equipment(DME)/Tactical Air Navigation(TACAN) Systems*, AC 00-31A, Sep. 1982.

[17] International Civil Aviation Organization[ICAO], *Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation: Aeronautical Telecommunications. Volume 1: Radio Navigation Aids*, Montreal, ICAO, 2006.

[18] U.S. Department of Defense, *UH-60 Prime Item Design Specification*, Washington, VA, U.S. Department of Defense, 1987.

[19] *Communications Instructions-Operating Signals*, ACP 131(F), Apr. 2009.

[20] *American National Standard Method for Measuring the Intelligibility of Speech over Communication Systems*, ANSI/ASA S3.2, Dec. 2020.

[21] S. Ahn, K. Lee, C. Lee, D. Shin, and B. Nam, "Study on aircraft antenna performance verification using IFF AIMS certification," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science,* vol. 33, no. 10, pp. 743-752, Oct. 2022.

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 책임연구원

2017년 4월～2020년 5월: 한국항공우주산업 책임연구원

2020년 5월～현재: 한화시스템 생산기술(지휘통제)팀 수석연구원

[주 관심분야] 구조체 안테나 해석 및 설계, 항공기 탑재 RF 간섭 및 데이터링크 분석, 항공기 성능개량 체계설계 및 통합, 항공전자 체계통합 및 검증, 항공전자 시험평가