

## 항공기 진단계통을 통한 비행안전성 확보에 대한 연구

임준완<sup>1,†</sup><sup>1</sup>한국항공우주산업(주)

## A Study on the Safety of Flight(SOF) Assure through Aircraft Diagnostics Systems

Junwan Lim<sup>1,†</sup><sup>1</sup>Korea Aerospace Industries, LTD

## Abstract

Aircraft diagnostic systems identify system failures and nip aircraft accidents in the bud by removing hazards that hinder Safety Of Flight (SOF). The necessity for diagnostic systems is increasing as aircraft manufacturing technology is modernized. Many countries have conducted studies and developed diagnostic systems. However, studies about diagnostic systems are very few in Korea. This study defines the scope of aircraft diagnostics systems and closely considers methods to ensure the Safety Of Flight (SOF) for military aircraft.

## 초 록

항공기 진단계통은 항공기 각 계통의 고장을 식별 및 탐지하고, 비행안전을 저해시키는 위험요소를 제거 및 개선함으로써 사고를 미연에 방지하기 위한 계통이다. 해당 계통은 항공기 제작기술이 첨단화 될 수록 필요성이 커지고 있다. 또한 여러 항공선진국에서는 진단계통에 대한 다양한 연구와 개발이 진행되고 있으나, 국내에서는 아직 진단계통에 대한 연구 및 응용 실적이 매우 적은편이다. 본 논문에서는 항공기 진단계통의 정의와 범위를 제안하고, 군용항공기 비행안전성 확보를 위한 접근방법을 고찰해 보 고자 한다.

**Key Words** : Diagnostics Systems(진단계통), Safety Of Flight(비행 안전성), Hazard(위험요소), FMECA(고장유형 및 치명도 분석, BIT(자체진단시험), Identification and Detection(식별 및 탐지), Display(시현), Analysis(해석), Measure(조치)

## 1. 서 론

이전의 항공분야에서는 항공기 사고를 감소시키기 위하여 사고조사 활동을 활발히 진행해 왔었다. 하지만 항공기 사고조사 활동은 사고의 원인을 규명하기 위해 꼭 필요한 기체와 데이터의 대부분이 손실되어 안전을 저해시키는 위험요소를 개선 및 제거하기에 어려움이 있었다. 근래의 항공기는 진단계통(Aircraft

Diagnostics Systems)을 도입함에 따라 항공기 각 계통의 고장을 실시간으로 식별 및 탐지(Identification and Detection)하고, 안전을 저해시킬 수 있는 위험요소를 차단하여 사고를 미연에 방지할 수 있게 되었다. 또한 항공기 운영정보를 추적 및 분석함으로써 항공기 운항에 지장을 초래할 수 있는 고장에 대한 즉각적인 조치가 가능하며, 고장과 사고의 개연성을 파악할 수 있게 되었다. 이는 실질적으로 항공기 사고율, 부품 고장률, 비가동 시간(Downtime), 정비 비용 등을 감소시키며, 항공기의 안전운항에 영향을 주거나 줄 수 있었던 운항과 관련된 경미한 일련의 위험요소 및 고장을 감지하여 항공기의 비행안전성을 향상시킨다.

Received: Nov. 24, 2016 Revised: Feb. 20, 2017 Accepted: Feb. 20, 2017

† Corresponding Author

Tel: +82-10-2416-6589, E-mail: [junwan.lim@koreaaero.com](mailto:junwan.lim@koreaaero.com)

© The Society for Aerospace System Engineering

본 논문에서는 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통에 따라 감항인증기준을 충족시킴으로서 항공기 형식인증을 수행하고, 진단계통에 더욱 용이하게 접근할 수 있는 접근방법을 제시할 것이다.

## 2. 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통의 검증방법에 대한 고찰

방위사업청에서는 비행안전성 확보를 위해 일반적으로 지켜야할 기술기준으로 군용항공기 표준감항인증기준(MIL-HDBK-516C)을 2015년 11월 13일 고시하였으며, 이는 새로운 환경과 향상된 항공기 제작기술에 부합되고, 유인항공기는 물론 무인항공기까지 적용할 수 있도록 하였다. 또한 기존의 MIL-HDBK-516B의 입증용 용이하게 할 수 있도록 표준(Standard)과 적합성 검증방법(MOC; Method of Compliance)을 추가적으로 제시하고 있다[1, 2].

본 장에서는 7개의 항목으로 기술되어 있는 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통에 따라 검증을 수행하기 위한 방법을 제시하였다.

### 2.1 식별 및 탐지(10.1.1절) : 치명적인 기능고장 유형이 식별되고 탐지 방법이 반영되어 있음을 검증하라.

10.1.1절의 검증은 고장유형 및 치명도 분석(FMECA; Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)으로부터 시작된다고 할 수 있다. 이는 항공기의 잠재적인 고장유형을 도출하고, 해당 고장유형이 시스템 및 항공기 임무수행에 미치는 치명도를 분석하여 고장의 원인을 사전에 제거하거나 영향성을 완화시키는 분석활동이며, 분석의 결과는 설계, 안전성, 군수지원 분석, 신뢰성중심의 정비성 분석 등의 업무를 수행하는데 참고자료로 활용된다. 이는 기술자료(개발자료, 도면, 규격서, 계통도 등), LRU 기술자료, 유사장비 분석자료, 시험평가 및 운영 결함 자료를 바탕으로 검토되어야 한다. 또한 LRU, 계통, 항공기 단위로 고장영향을 분석하며, 심각도, 고장유형비율, 고장영향확률, 유형별 고장률 등의 치명도가 분석되어야 한다. 또한 항공기의 손실이나 인원의 상해를 방지하기 위한

조치를 수행하기 위해 치명적 고장을 탐지하기 위한 방법과 시현할 수 있는 방안이 마련되어야 한다[3, 4].

### 2.2 자체진단시험(BIT) 기능을 포함한 모든 치명적인 기능적 고장이 경고, 주의 및 권고 메시지/기능과 연결되어 있음을 검증하라.

자체진단시험(BIT; Built In Test)은 고장유형 및 치명도 분석에 의한 기능분석을 통하여 적용대상을 선정하며, 선정된 계통의 결함을 실시간으로 탐지하며, 해당계통의 이상 유무를 신속하게 진단하여 결함탐지율(Fault Detection Rate) 및 결함분리율(Fault Isolation Rate) 등의 주요 평가지표를 산출한다[5].

해당 기준은 고장유형 및 치명도 분석을 통해 도출된 고장에 대한 경고, 주의 및 권고가 적시에 조종사에게 전달되어야 함을 요구한다. 결론적으로 해당 기준의 입증을 위해서는 자체진단시험을 통해 치명적인 고장을 지속적으로 탐지하며, 경고, 주의 및 권고가 조종사 인터페이스 시스템(Pilot Interface System)을 통해 시각, 청각, 촉각 등으로 시현될 수 있어야 한다.

### 2.3 비행 안전 파라미터(10.2.1절) : 항공기(탑재) 및 지상 진단계통의 작동이 모든 비행 안전 파라미터에 적합함을 검증하라.

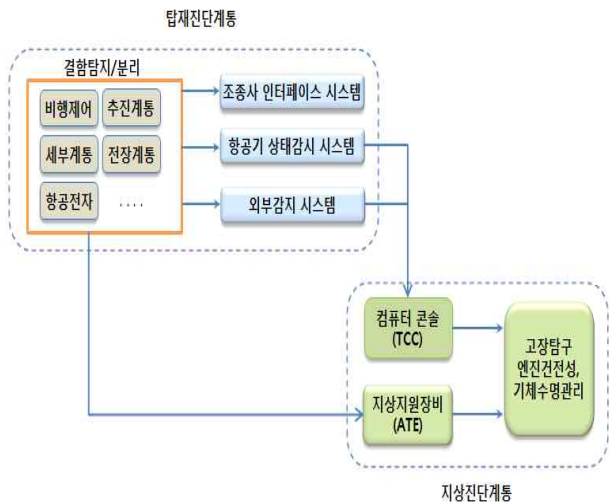


Fig. 1 Overview of On-board/Ground Diagnostics Systems

탑재진단계통은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 항공기

에 탑재되어 외부장비의 도움 없이 진단을 수행하는 계통으로 항공전자 시스템 내에서 산출되는 정보를 조종사가 판단할 수 있도록 직접적으로 시현하는 조종사 인터페이스 시스템, 항공기의 상태를 감시하는 항공기 상태감시 시스템(Aircraft State Sensors System), 외부 환경을 감지하는 외부감지 시스템(External World Sensors System), 센서로부터 얻은 정보를 통해 부여된 기능 및 임무를 자동적으로 처리 또는 제어하는 임무 자동화 시스템(Task Automation System) 등이 있다[6].

지상진단계통은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 탑재진단계통에서 저장 또는 송신된 정보를 지상의 컴퓨터 콘솔 또는 외부 장비로 확인 및 해석하여 항공기의 유지 및 관리를 용이하게 해주는 계통이다. 해당 기준을 충족시키기 위해서는 탑재진단계통을 통해 비행 안전 파라미터를 측정 및 시현하고 저장할 수 있어야 하며, 시현되지 않거나 지상에서 해석되어야 하는 모든 진단계통과 관련된 비행 안전 파라미터는 지상 진단계통을 통해 분석 및 해석되어야 한다. 또한 계통의 고장 또는 오류로 인해 잘못 측정된 비행 안전 파라미터가 있다면 진위여부를 판단하고, 조종사 및 지상요원에게 잘못된 정보가 전달되지 않도록 해야 한다. 또한 해당 계통의 고장 식별과 수리 및 교체가 이루어져야 한다.

**2.4 치명적 파라미터 교정(10.2.1.1절) :**

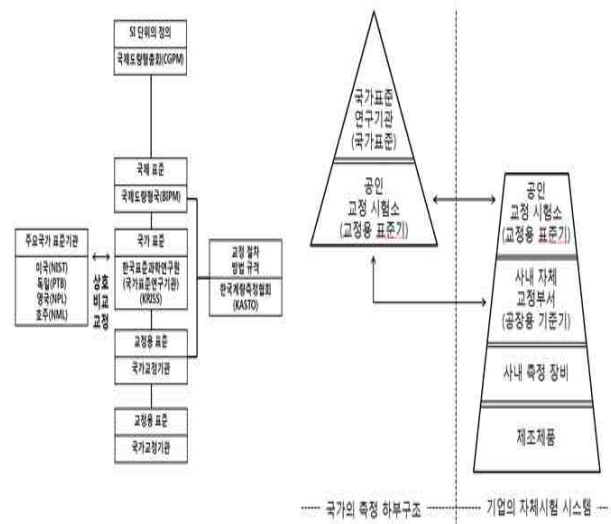
**치명적 파라미터 값이 설정된 허용오차 내에서 측정되고 작동 및 교정 절차가 정의됨을 검증하라.**

해당 기준을 충족시키기 위해서는 2.3장의 과정을 거쳐 산출되는 파라미터 중에서 비행안전에 치명적인 영향을 줄 수 있는 파라미터가 정의되어야 하며, 해당 파라미터의 허용 가능한 오차 및 정확도가 시험정확도 비율(TAR; Test Accuracy Ratio)을 갖고 있어야 한다. 시험정확도 비율은 진단계통을 통해 측정된 파라미터들의 정확도를 나타내는 지표이며, 진단계통에 속해 있는 시험 및 측정 장비들의 유효성을 말한다[7].

해당 기준의 적합성 검증방법(MOC; Means of Compliance)에서는 진단계통의 표준을 미국 국립표준기술연구소(NIST; National Institute of Standards and Technology)로 기준으로 하며, 해당 표준과 소급성이 있는 교정측정요구도요약서(CMRS; Calibration

Measurement Requirements Summary)로 검증될 것을 요구한다. 여기서 소급성(Traceability)은 연구개발, 산업생산, 시험검사 현장 등에서 측정된 결과가 명시된 불확정 정도의 범위 내에서 국가측정표준 또는 국제측정표준과 일치되도록 연속적으로 비교하고 교정하는 체계를 뜻하며, 교정측정요구도요약서는 무기체계 운영에 따른 측정요소, 즉 공통 및 특수시험, 측정, 진단에 필요한 파라미터와 이를 지원하기 위한 정밀측정장비의 측정 파라미터를 식별하기 위해 일정한 양식으로 기록한 것을 말한다.

국내 현황을 고려하여 위 기준을 충족시키기 위해서는 Fig. 2와 같이 미국 국립표준기술연구소와 소급성을 유지하고 있는 ‘한국표준과학연구원(KRIS; Korea Research Institute of Standards and Science)’으로 테일러링이 필요하며, 해당 기관의 표준과 상호 비교 및 교정을 위해 ‘방위사업청 예규 제 25호 정밀측정장비 획득업무지침 별지 제1호~5호’에 포함된 교정측정요구도요약서를 작성하여 소급성을 보장할 수 있어야 한다[8, 9].



**Fig. 2 Traceability Systems of KOLAS&KRIS**

**2.5 진단계통 안전(10.2.2절):**

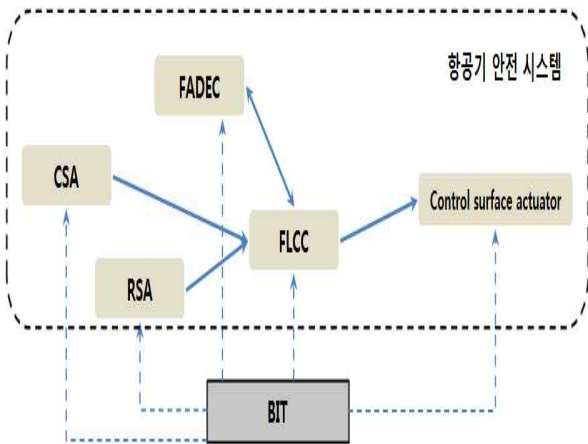
**진단계통 자체가 탐지되지 않은 고장이나 항공기 시스템의 다른 손상을 유발하지 않음을 보장하기 위한 조치가 수행됨을 검증하라.**

10.2.2 절을 충족시키기 위해서는 진단계통을 통해

탐지될 수 있는 고장을 본 논문의 2.1절에서와 같이 고장유형 및 치명도 분석을 통해 식별하고, 진단계통 자체가 항공기에 적용됨으로써 다른 시스템의 고장을 유발하지 않도록 조치되어야 하며, 조치를 취하는 과정에서 항공기에 어떠한 손상도 유발하지 않음이 검증되어야 한다. 또한 해당 기준의 표준 및 적합성 검증 방법은 해석 또는 분석이 필요하지 않은 내용으로 진단 하드웨어 및 소프트웨어는 시스템 침입을 최소화하도록 설계되며, 해당 하드웨어 및 소프트웨어의 설계는 문서 검사를 통해 검증된다. 또한 진단 감지기 또는 소프트웨어의 고장이 항공기 시스템의 안전한 작동에 영향을 미치지 않아야 한다고 기술한다.

**2.6 안전 시스템 건전성 보고(10.2.3절) : 안전시스템의 기능이 잠재적인 안전시스템의 요구 이전에 치명적인 고장을 보호한다는 것을 검증한다.**

항공기 안전 시스템은 고장이 발생할 경우 비행 안전에 치명적인(Catastrophic, Critical) 영향을 미칠 수 있는 시스템으로 해당 시스템의 대상 식별은 시스템 안전성 평가(SSA; System Safety Assessment) 등의 안전성 관련 설계 프로세스의 진행에 따라 구체화된다.



RSA : Rate Sensor Assembly CSA : Control stick assembly FLCC : Flight control computer BIT : Built In Test FADEC : Full Authority Digital engine Controller

**Fig. 3 Example of Safety System for Flight Control & Propulsion**

예를 들어 fig. 3과 같이 비행제어 분야에서는 센서

(RSA; Rate Sensor Assembly), 조종면(Control Surface), 조종장치(CSA; Control Stick Assembly) 비행 제어 컴퓨터(FLCC; Flight Control Computer) 등이 있고, 추진계통 분야에서는 통합디지털 엔진제어(FADEC; Full Authority Digital Electronics Control)시스템이 있다.

건전성이란 항공기 시스템의 상태를 실시간으로 감시하여 시스템의 이상을 조기에 감지하고 발생 가능한 고장을 미리 예측하는 것으로 불필요한 유지 및 보수 비용을 축소시킬 수 있고, 시스템의 안전성과 신뢰성을 높여준다[10].

해당 기준의 표준에 따라 항공기 안전 시스템은 본 논문의 2.2절에서 자세히 설명한 자체안전진단시험으로 설계시점에 지정된 각각의 항공기 시스템을 점검하여 고장유형 및 치명도 분석에서 도출된 치명적인 고장을 식별 및 탐지하여 조치할 수 있는 수단 및 방안을 마련해 놓아야 하며, 필수 안전 시스템에 해당되는 계통의 상태는 조종사 및 지상요원에게 시현될 수 있음을 검증해야 한다[11].

**2.7 작동 및 정비교범(10.2.4절) : 진단계통을 포함하고 있는 모든 운용자 및 정비 교범이 완전하고 정확함을 검증하라.**

**안전 시스템 건전성 보고(10.2.3절) :**

진단계통을 포함하고 있는 교범은 각각의 항공기 특성마다 상이할 수 있지만 일반적으로 비행교범(Flight Manual), 작업지침서(Job Guide), 결함분리 교범(Fault Isolation Manual) 등이 있다. 각 교범에 기술되어 있는 사항은 다음과 같다.

비행교범에서는 항공기의 비행을 위해 조종사가 수행해야 하는 자체진단시험 수행절차 및 관련정보, 각 계통별 고장진단 기능에 의해 보고된 경고 및 주의(Warning/Caution)에 대한 조치절차를 기술한다.

작업지침서에는 작업자가 수행해야 하는 고장진단 기능이 포함된 시스템 및 구성품에 대한 자체진단시험 수행 절차와 지상 진단 장비를 통해 산출된 결함 정보의 확인절차가 기술된다.

결함분리 교범에는 고장진단 결과에 따른 결함 식별 및 고장탐구 절차와 계통별 또는 구성품별 고장에 대한 상세정보가 기술된다.

위에서 언급된 비행교범, 작업지침서, 결합분리 교범 외에도 기타 교범들이 진단계통을 포함하거나 관련성이 있다면 10.2.4절에 따라 검증되어야 한다.

또한 해당 기준을 충족시키기 위해서는 기준, 표준, 적합성 검증방법에 따라 진단계통이 안전비행 파라미터를 다루고 있음을 보장하기 위한 적합한 공학적 데이터 반영과 품질검토회의 및 정부기관의 검증을 받아 최종 운영자 교범 및 정비교범의 완전함과 정확함이 검증될 수 있어야 한다.

### 3. 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통 고찰을 통한 결론

진단계통이란 항공기 각 계통의 상태를 평가하기 위한 목적을 가진 계통으로 각 계통에서 고장을 식별하여 고장의 위치를 찾아내며, 해당 계통의 고장이 비행안전에 영향을 미치거나 또는 치명적인 사고를 발생시키지 않도록 조종사 및 정비사 또는 관제사 등의 지상요원에게 정보를 제공하는 계통이라 할 수 있다[12]. 이를 기능적으로 구분하여 본다면 다음의 Fig. 4와 같이 식별 및 탐지, 시현, 해석, 조치의 단계로 나눌 수 있다.

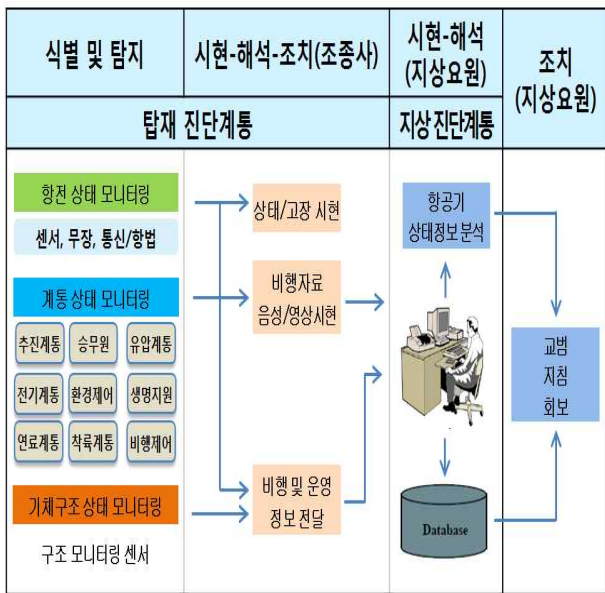


Fig. 4 Overview of the Diagnostics Systems

식별 및 탐지란 항공기의 각 계통에 주어진 제한조건

내에서 체계 또는 구성품의 요구되는 기능이 수행되고 있음을 지속적으로 관찰 및 기록하는 것을 말하며, 시현은 식별 및 탐지 단계에서 관찰 및 기록된 정보를 음성 및 영상 또는 데이터로 ‘코드화’ 하여 조종사 또는 지상요원이 식별가능 하도록 제공하는 단계이다.

해석(Analysis)은 식별 및 탐지, 시현의 과정을 거쳐 코드화된 복합적인 정보를 조종사 또는 지상요원이 분석을 수행하는 것이며, 조치(Measure)는 조종사 또는 지상요원이 수행해야 하는 행동을 정의하는 단계이다.

위에서 언급된 진단계통의 정의 및 단계는 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통의 기준(Criteria), 표준(Standard), 적합성 검증방법(Means of Compliance), 참고문헌(Reference)을 고찰을 통해 도출된 것으로 차후 다양한 의견을 고려하여 변경이 있을 수 있다.

군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통의 기준을 토대로 항공기 진단계통에 적용되어야 하는 사항은 다음과 같이 요약될 수 있다.

식별 및 탐지 단계에서는 항공기 설계단계에서 해당 항공기의 기체수명기간 동안 일어날 수 있는 고장유형과 각 고장유형에 따른 치명도가 정의 및 분석되어야 하며, 자체진단시험을 통해 연관된 계통의 결함을 실시간으로 진단하여 항공기의 건전성을 보장하고, 결합탐지율 및 결합분리율 등의 평가지표를 산출하여야 한다. 또한 항공기 상태감시 시스템 및 외부감지 시스템을 통해 입력되는 정보를 저장할 수 있어야 한다.

시현의 단계에서는 식별 및 탐지 단계에서 도출된 고장에 대한 경고, 주의 및 권고가 적시에 조종사 인터페이스 시스템을 통해 시각, 청각, 촉각 등으로 조종사에게 시현될 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 항공기 상태감시 시스템 및 외부감지 시스템 등의 탑재진단계통에 저장된 항공기 정보를 컴퓨터 콘솔 및 외부장비 등의 지상진단계통을 거쳐 지상요원이 해석할 수 있도록 시현될 수 있어야 한다.

해석의 단계에서는 조종사 및 지상요원이 각각의 위치에서 시현된 복잡적이고 다중적인 항공기의 정보를 해석하여 항공기가 안전할 수 있도록 분석 및 판단을 수행하여야 한다.

조치의 단계에서 조종사는 시현 및 해석된 정보를 즉각적으로 또는 임무 자동화 시스템을 통해 직·간접적인 활동을 수행하며, 지상요원은 해당 정보를 교범



및 지침으로 기술하여 고장 식별과 수리 또는 교체가 이루어 질 수 있도록 하며, 중대한 사항이 발생하였거나 또는 해결할 수 없는 이슈가 발생한 경우 등은 회보를 통해 통보 및 보고 할 수 있는 체계가 수립되어야 한다.

위의 단계에 속하지는 않지만, 진단계통에 포함되는 사항으로는 교정과 건전성 보고가 있다.

교정은 저장되는 항공기의 운영정보를 파라미터 단위로 구분하였을 때, 해당 파라미터의 정확도가 국제적인 소급성을 갖도록 하며, 교정측정요구도요약서를 지속적으로 작성하여 탑재 및 지상 진단계통에 속하는 계통 및 장비를 관리하도록 해야 한다.

건전성 보고는 실시간 감지 시스템을 통하여 시스템의 이상을 조기에 감지하고, 발생 가능한 고장을 미리 예측하여 항공기의 안전성과 신뢰성 향상을 도모해야 한다.

#### 4. 결 론

진단계통은 다양한 산업 분야에 각기 다른 방식으로 적용될 수 있지만 목적은 안전성 확보에 있다고 할 수 있다. 특히, 항공산업과 같이 비행안전 미확보로 인해 발생할 수 있는 손실이 큰 산업일수록 진단계통의 중요성이 커질 것이며, 항공기 감항인증 분야에 핵심적인 요소가 될 수 있다.

본 논문에서는 군용항공기 표준감항인증기준 10장 진단계통의 기준들을 고찰하여 진단계통에 기술기준 충족을 위한 접근방법을 제시하였다. 최종적으로 진단계통은 항공기의 운영에서 발생할 수 있는 각종 고장을 식별 및 탐지하고, 조종사 및 지상요원이 각 계통의 고장을 인식 가능하도록 시현하며, 해석을 통해 적절한 조치를 취할 수 있도록 하는 일련의 과정이라고 할 수 있다. 이러한 진단계통의 완성도 향상은 항공기 사고의 위험성과 유지 및 보수로 발생하는 비용을 절감시킬 뿐만 아니라 비가동 시간을 줄임으로써 상당한 경제적 절약효과를 가져올 수 있으며, 고장으로 인한 사고를 미연에 방지함으로써 항공기의 비행안전성을 확고히 하는 역할을 한다.

앞으로 진단계통을 통해 비행안전성을 확고히 하기 위해서는 최첨단 시스템의 구축은 물론, 항공기 각 계

통의 고장을 명확히 보여주며, 각 계통간의 정보교환을 더욱 활발하게 할 수 있도록 하는 계통 간 진단 네트워크의 구성이 필요하다. 또한 산업체, 연구소, 정부 기관 등의 심층적인 연구와 투자가 병행되어야 할 것이다.

#### References

- [1] DAPA, "Act on the operation, ETC. of Military Aircraft," Jan. 2016.
- [2] DAPA, "Standard Airworthiness Certification Criteria," Nov. 2015.
- [3] DoD, "MIL-STD-1629A," Aug. 1998.
- [4] Joo-Won Choi, "A Study on the Safety Management and Risk Assessment of the Certification Flight Test," *Journal of the Society for Aerospace System Engineering*, 2011
- [5] Wan Ok Heo, Eun Shim Park, Jung Hwan Yoon, "Improvements in Design and Evaluation of Built-In-Test System," *KIMST*, Vol.15 No.2, pp 111-120, Apr. 2012.
- [6] Dale R. Cundy and Rick S. Brown, "Introduction to Avionics," Prentice-Hall, 1996.
- [7] Howard Aion, Director of Technical Operations, "Metrology Concepts: Understanding Test Uncertainty Ratio(TUR)," *Transcat Calibration&Repair service*, pp. 1-3, May. 2005.
- [8] Korea Laboratory Accreditation Scheme, "Guideline for management traceability of measurement," pp. 5-7, Feb. 2012.
- [9] DAPA, "Guideline for Acquisition of Precision Measurement Equipment," Oct. 2012.
- [10] Joo-Ho Choi, "A review on prognostics and health management and its applications," *Journal of the Society for Aerospace System Engineering*, Vol.8, pp.7-17, 2014
- [11] Bo Sunh Seo, Bum Chan Jang, Byeong Dong Yoon, "Succession case and vision of Prognostics and health management in the Engineering Systems," Feb. 2015.
- [12] DoD, "JSSG 2001-B," pp. 213-215, Oct. 2004.