

## 論文

## 개조 항공기 감항성 설계연구

고준수\*

## Airworthiness Design Study for the Modified Aircraft

Joon Soo Ko\*

## ABSTRACT

Airworthiness certification is a repeatable process implemented to verify that a specific aircraft can be safely maintained and operated within its approved flight envelope. Airworthiness certification activity for the FA-50 aircraft has been performed according to the Airworthiness Certification Criteria, issued in 2011 by DAPA. It is a right time to study the application of those existing ACC process and tools to the hypothetical modification aircraft. This paper describes airworthiness engineers view of the integrated activities required to substantiate the modified aircraft performance. The compliance methods applicable to the airworthiness certification criteria is also suggested. It will be useful for the establishment of the future Korea modified military aircraft's ACC with the risk assessment and methods of compliances tailored to the legacy aircraft.

**Key Words** : Airworthiness(감항성), Certification Criteria(인증기준), Standards(표준서), Means of Compliance(적합성검증방법),

## 1. 서 론

군용항공기에서의 감항인증이란 군용항공기가 감항성을 가지고 요구된 항공기 체계의 성능과 기능을 발휘 할 수 있음에 대한 정부의 인증이다. 감항성은 항공기설계가 감항인증기준을 충족하도록 입증된 '설계'과정, 승인된 설계에 따른 '제작'과정, 항공기 체계가 승인된 문서 및 절차에 따라 정비사 및 비행승무원에 의해 '정비, 운용'되는 과정과 항공기 체계의 안전한 운용이 비행승무원에 의해 '수락'되어야 하는 4개의 과정으로 구성되며 이들 원칙들이 적절하게 확인되어야 한다[1]. 항공기 개발 선진국 미국에서는 2000년 10월부터 정부소유 항공기에 대해 미 육군,

해군, 공군, NASA 및 FAA가 주요 감항인증 기관이 되어 항공기의 개발 및 개조시 비행안전성을 보증하기 위한 감항성 관련 업무 프로세스, 해당 규정 및 절차들을 보유하고 있고 해당 기관에서 감항성을 관리하고 있다. 미공군은 모든 미공군 군용항공기에 대한 감항인증 적용을 정책지시서[2]에 의거 의무화 하였으며 감항인증기준별로 표준지침(Standards)과 적합성 검증 방법(Means of Compliance)을 제시하였다[3].

우리나라도 최근 군용항공기의 경우 감항인증제도 활성화 연구를 통해 관련법과 제도 및 세부 절차를 보완 하고 비행안전을 고려한 감항인증 절차에 많은 노력을 경주하고 있다. 본 논문은 가상의 개조 항공기에 대해 표준 감항인증 기술 기준[4]을 근거로 감항인증기준의 적용 여부와 감항성 평가를 위해 세부 기술별로 감항성 분석을 수행하였다. 특히 비행기술분야에서는 비행안전에 영향을 미칠 수 있는 위험 항목을 분석하여 국내 개조 항공기에 대해 체계적인 감항인증 방법과 절차를 제시하였다.

2013년 09월 23일 접수 ~ 2013년 12월 18일 심사완료  
논문심사일 (2013.09.27, 1차), (2013.12.04, 2차)

\* 한국항공대학교 항공우주및 기계공학부

연락처, E-mail: jsko@kau.ac.kr

경기도 고양시 화전동 항공대학로 76



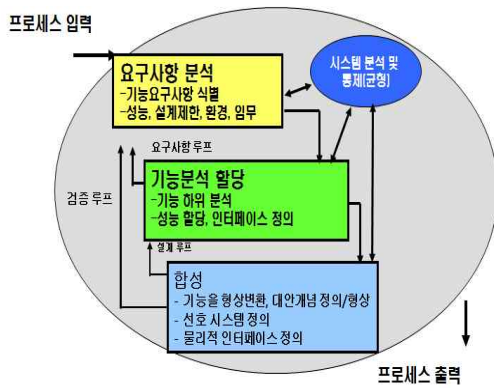


Fig. 3 시스템 엔지니어링 프로세스

Table 1. Risk Item 목록

No	Risk Item	Description
1	시스템 엔지니어링	개조항공기 전분야 영향성 있음(7개/총 7개 인증기준)
2	시스템 안전	시스템 엔지니어링과 S/W 안전기술에 영향성 있음(3개/총 3개 인증기준)
3	구조	동체 길이 증가에 따른 구조 전분야 영향성 있음. 심각한 치명도를 가짐(6개 /총 6개 인증기준)
4	비행기술	전분야 영향성 있음. 심각한 치명도를 가짐(3개/총 3개 인증기준)
5	추진체 및 추진체장착	심각한 치명도를 가짐. 모든 비행 조건 불만족(1개/총 3개 인증기준)
6	항공기 세부계통	심각한 치명도를 가짐. 모든 비행 조건 불만족(9개/총 12개 인증기준)
7	전기계통	소모 전력 증가 및 배선 재설계에 의한 영향성 있음(2개/총 2개 인증기준)

## 4. 분야별 감항인증 기준 분석

### 4.1 시스템 엔지니어링

시스템 엔지니어링에 대한 감항인증 기준은 개조 항공기의 전 감항성기준 항목에 대해 영향성이 있으며, 이는 설계기준, 도구 및 데이터 베이스, 재료선정, 제작 및 품질, 운전자 및 정비교범/기술지시서, 형상식별, 형상자료 유지분야 총 7개 항목의 인증기준 모두를 포함한다. 시스템 엔지니어링 기술분야는 일반적이고 근본적인 과정으로서 세부 기술기준별 요구사항에 대한 조정이 많지 않다. 개조 항공기에 대한 각 개발기관, 업체의 표준화된 문서체계는 개발기관의 전반적인 개발 프로세스, 공장자체 프로세스, 생산형식 프로세스 절차를 포함한다.

### 4.2 시스템 안전

시스템 안전분야에 대한 표준감항인증 기술기준은 MIL-STD-882E에 명시된 시스템 안전 프로그램[7]을 참고하였다[Fig 4]. 여기서 RHI (Risk Hazard Index) 가 1 - 5는 위험성이 매우 높으며, RHI가 6 - 9는 위험성이 심각한 상태를 나타낸다. RHI가 1 - 9로 평가될 경우 미공군은 감항성에 중요한 영향을 미치는 중대개조로서, 이때는 감항인증 당국의 개조 항공기의 ACC(Airworthiness Certification Criteria) 승인이 요구된다. RHI 가 10 - 17은 중간, RHI가 18 -20은 작은 위험성을 가지는데 이는 감항성이 요구되지 않은 개조로 ACC가 불필요하다. 개조 항공기는 항공무기체계 개발 및 운용 전 분야에 영향을 미치고 시스템 엔지니어링 기술기준과 관련성이 있다. 또한 컴퓨터 자원분야의 S/W 안전 기술기준을 포함하고 핵안전 및 방사/레이저 안전항목은 미적용된다. 시스템 안전분야의 문제에 대한 해결방안은 기존 위험도 분석 과 위험평가 결과를 최신화하고, 개조 항공기 추가 위험 식별 시 경감된 결과를 제시할 수 있는 전략을 수립하는 것이다. 도출된 위험요소의 위험도를 객관적으로 평가하고 정량화하기 위해서는 발생 빈도와 치명도를 조합한 위험평가 할당표를 체계안전성 표준 규격인 MIL-STD- 882E에 의거해 Fig 4와 같이 위험 심각도 및 발생 확률 수준으로 작성을 해야 한다.

확률수준	치명도			
	심각	중대	경미	무시
빈번 (발생률 $\geq 10^{-1}$ )	1	3	7	13
가능 ( $10^{-1} > \text{발생률} \geq 10^{-2}$ )	2	5	9	16
가끔 ( $10^{-2} > \text{발생률} \geq 10^{-3}$ )	4	6	11	18
희박 ( $10^{-3} > \text{발생률} \geq 10^{-6}$ )	8	10	14	19
불가능 ( $10^{-6} < \text{발생률}$ )	12	15	17	20
제거	제거됨			

Fig 4. 위험 치명도 및 발생 확률 수준

### 4.3 구조

개조 항공기는 동체길이가 30인치 증가함에 따라 하중, 구조 동역학, 강도, 손상허용, 질량특성, 비행허가에 요구되는 구조 영향성의 총 6개의 구조 분야 전체에 대한 감항기준 항목에 영향성이 있으며, 이에 따라 중량, 무게중심위치, 관성력 및 ballast 요구조건을 변경해야 한다. 또한 비행 기술 분야에서는 유동장 흐름 변경에 의한 공력 특성 및 지상하중 변경에 대한 영향성을 구조 기술 측면에서 분석해야 한다. 구조분야 감항인증 해결방안은 우선 감항인증 기준선 (baseline)을 정립 하여 하중, 중량, 무게중심위치, 강도 마진, 구조 동역학, 손상허용 및 피로 분석을 수행하고, 개조항공기를 기존항공기와 비교하여 각 구조 항목별 요구 마진 제한치에 대한 초과항목을 도출한다. 또한 구조분야 감항인증에서는 최초 감항인증 기준선에 대해 충분한 품질평가 및 결과분석과 품질요구조건의 수정 개발안을 도출하고 감항성 검토 결과에 대한 평가 및 추가 위험도의 수용여부를 판단해야 한다. 비행시험 수행결과 불충분한 flutter 마진이 초래할 경우 비행영역 선도(flight envelope)의 제한을 설정하는 것이 바람직하고 비행운영이 제한적인 경우에는 추가적인 분석과 지상시험, 비행시험을 통해 감항인증 여부를 결정하여 비행영역을 확장 할 수 있다.

### 4.4 비행기술

비행기술 분야에서는, 기본 항공기 안정성, 조종성 특성과 신규개발 장착된 비행조종컴퓨터 구

조, 비행조종컴퓨터의 보강된(augmented) 기능 구현 및 비행조종계통과 타 세부계통 연동영향성을 고려하여야 하며, 비행체 길이 증가에 따른 공력특성과 항공기 성능분석 및 비행교범 수정이 요구되므로, 3개 항목 인증기준에 대해 영향성이 있다. 비행기술 분야 감항인증은 감항인증기준의 기준선 (baseline)을 설정하여 개조 항공기에 대한 감항인증 기준을 개발하는 것이다. 이를 위해서는 인증기준의 영향성 식별과, 표준지침 및 적합성검증방법을 설정하여 원래 인증기준 문서가 선정된 인증기준과 부합됨을 확인해야 한다.

#### 4.4.1 비행기술 분야 영향성

개조 비행체는 동체길이의 증가로 인해 중량, C.G 관성력 변경에 따른 비행기술에 영향을 미치며, 중·횡방향축 조종력, 기본기체의 중·횡방향 안정성, 흡입구 성능, 실속 및 고받음각 비행특성, 대기자료 센서성능, 그리고 공력 성능 인증기준에 영향성이 있다. 여기에는 공력, 중량/관성력 변화에 따른 비행조종컴퓨터의 위상여유 및 이득여유와 구조 모드변화에 따른 각·가속도 장치 drift 영향성, 구동기 힌지모멘트 특성영향성이 포함된다. 개조 비행체는 야간 및 기상 악천후 비행 시 조종사의 스위치 조작에 의해 항공기의 자세를 가장 안정한 자세(1g- Level Flight)로 회복시키는 PARS(Pilot Activated Recovery System) 비행제어법칙이 추가되었다. 비행제어법칙(control law) 수정에 따른 비행조종컴퓨터 S/W 변경은 비행조종기능[Fig. 5]의 성능에 직접적인 영향을 미친다.

#### 4.4.2 비행기술 분야 해결방안

비행기술 3개 분야의 영향성을 해결하기 위해서는 중·횡방향축 조종력, 기본기체의 안정성, 대기자료 센서 성능, 높은 받음각 비행 특성, 항공기 항력계수 추출, 기체/엔진 호환성 분석풍동시험이 이루어져야 한다. 또한 조종기능이 보강된 항공기 안정성 정량화 분석과 센서특성을 고려한 비행제어법칙의 위상 여유 및 이득 여유 분석[8]이 수행되어야 한다. 기본 비행성을 유지하기 위해서는 비행 제어 법칙 변경에 대한 영향을 파악하고 실속 진입 및 회복특성과악과 항공기 이착륙성능에 대한 모의비행시험 및 비행시험이 수행되어야 한다. 비행교범에는 공력특성 변화, 신규 비행조종컴퓨터에 의한 전력소모량, 공기 배출에 따른 영향분석과 항공기 안정 및 조종

기능 보장에 따른 변화가 명시되어야 한다. 따라서 비행성 불량, 비행조종컴퓨터 안정성 미흡, 항공기 성능저하 등은 충분한 시험 및 해석자료 분석으로 위험요소를 해결 할 수 있다.

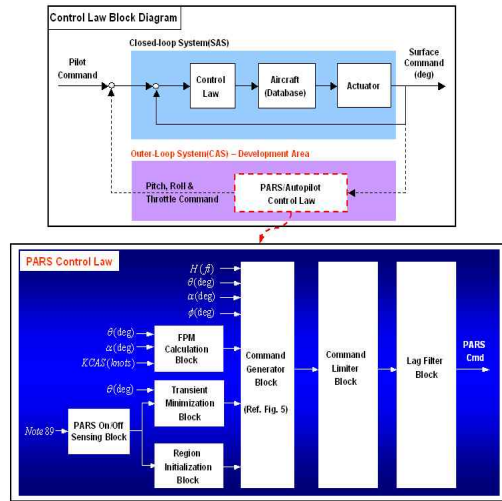


Fig. 5. PARS 제어법칙 설계개념

4.4.3 위험요소검증

본 항목에서는 3중 비행 조종컴퓨터가 신규장착된 항공기 개조에 의해 항공기의 조종 안정성, 항공기 조종기능 및 공력성능 3개 항목의 기술기준에 영향을 줄 수 있는 위험요소를 식별하여 Table 2와 같이 정리하였다.

Table 2 RHI 분석결과

Risk Item	RHI	비행기술세부분야
FLCC CPU 처리 속도	4	조종기능
1553 MUX BUS	4	조종기능
성능저하	5	조종안정성, 공력 성능
지상통합시험	6	조종안정성, 비행기술,공력성능
TAT Sensor	6	조종기능
FCP for EDFLCC	9	조종기능

4.5 추진체 및 추진체 장착

개조 항공기는 전체중량 5% 증가에 따른 thrust dwell time과 엔진 사이클 변화에 따른 엔진 내구성, 동체길이 증가에 의해 엔진 성능 및 운용성에 영향을 미쳐 추진체 안전관리 기술 기준 1항목에 영향성이 있다[9]. 개조 항공기는 신규 비행조종컴퓨터 장착으로 인해 신호, 전력 및 냉각문제가 나타나며, 이를 고려하여 엔진과 항공기 연동성을 검토해야 한다. 이를 통해 비행 제어법칙을 수정하여 흡입구 distortion level 변화에 따른 엔진 운용성 영향 검토가 이루어질 수 있다. 추진체 분야 감항인증 계획에는 엔진 및 구성품 개량에 따른 모든 시범, 검사, 해석 및 시험 통합내용이 포함되고 감항인증업무의 순차적인 스케줄링을 통한 일체형 감항인증 계획 작성이 이루어져야 한다. 여기에는 인력, 해석 Tools/모델, 시험 환경, H/W 제작 및 계측장비 구성, Bench 시험, 구성품 Rig 시험, 엔진이 장착된 항공기 전기체 시험이 해당된다.

4.6 항공기 세부 계통

동체길이 증가에 의한 세부계통 영향성과 신규 개발 비행조종컴퓨터 추가에 따른 환경제어계통의 냉각 요구도 영향성과, 유압량 요구조건 변경, 전체중량과 형상 변경을 고려하여 이·착륙 성능 분석이 이루어져야 한다. 세부계통 분야 위험도 평가에서는 초기 분석결과에 따르면 현 유압계통이 증가된 요구 유압량을 수용하지 못함으로, 대용량 pumps와 accumulator를 추가 구비하여 유압량 부족분을 해결하고 유압계통에 대한 수정 보완설계가 이루어져야 한다. 세부계통의 위험도 분석 결과에 따르면 개조 비행체는 유압계통, ECS, 연료계통, 화재 및 위험방지, 착륙장치 및 감속계통, 보조동력계통, 공중급유계통과 기계적 작동장치의 총 9개 인증 기술기준 항목에서 모든 비행조건을 불만족 시킨다. 감항인증기준의 적합성 검토결과 개조 비행체는 유압량 및 ECS 냉각 요구조건 변경으로 세부계통 해석 및 시험, 체계 통합 비행시험이 요구되며, 항공기 전체 중량 변경에 따른 착륙장치 strut, 보조구조물, 제동장치 및 꼬리 hook에 대한 해석 및 시험이 수행되어야 한다.

4.7 전기계통

개조 비행체의 전기계통 분야의 영향성 검토결과

과, 추가 내부 ECM 장착을 위한 동체길이가 30인치 연장되어 전기 배선 장착성 및 정비성에 대한 영향성 분석이 수행되고, 전력사용량 증가에 따른 체계 부하 영향분석이 수행되어야 한다. 개조 비행체는 전기계통의 발전시스템, 전기배선계통의 2개 인증 항목 기술기준에 영향성이 있다. 전기계통의 감항성 해결방안은 추가적인 전력량과 배선 요구조건을 결정하기 위해 신규 비행조종컴퓨터에 대한 전기부하 해석결과를 검토하고, 장착공간 작업 및 도면 검토를 수행하고 최초 감항인증 기준치에 사용된 품질보증 방법과 결과에 대해 충분한 평가를 하는 것이다. 감항인증 기준의 적합성 검토는 신규 전자방어책(ECM : Electronic Countermeasure) 요구조건에 따른 전기 부하 분석의 최신화와 신규장착 설계가 적절한지를 파악하고, 모든 작동 모드에서의 중복 성능을 재검증하기 위한 시험이 수행되어야 한다. 또한 항공기 EMI/EMC 분석 및 체계시험과 비행시험 보고서 검토를 통하여 운용 및 정비 기술 교범의 수정이 요구된다.

## 5. 결 론

2009년도에 군용항공기 감항인증 관련 법·시행령·시행규칙의 제정과, 군용항공기 감항인증 업무규정의 제정, 표준감항인증 기준의 고시, 감항인증 교육 등으로 현재까지 군용 항공기 비행안전과 관련하여 구체화된 감항인증 업무를 주관기관, 전문기관들이 추진하고 있다. 이는 국내 항공산업의 지속적인 발전과 국산 항공기의 해외 수출시장 확대를 위해 매우 고무적이라 할 수 있다. 다만 국외 감항인증 업무에 비교해 볼 때 국내 군용항공기 감항인증에 대한 경험미비와, 사업별, 기종별 기술기준 적용 및 해석에 있어 어려움이 존재한다. 본 논문은 방위사업청이 2011년에 제정한 군용항공기 표준감항인증 기준을 근거로 개조 항공기에 대해 감항인증 기준적용과 분석을 세부 감항인증기술 항목별로 수행하였다. 개조 항공기 감항인증에 있어서 우선적으로 고려해야 할 사항은 17개 기술분야별로 위험평가분석이 이루어지고, 이때 치명도 및 발생확률 즉 위험평가 분류 등급에 따라 감항인증 여부를 판단함이 매우 중요한 이슈이다. 본 논문에서는 총 17개 기술분야 중 비행안전에 중대한 영향을 미칠 수 있는 시스템 엔지니어링, 시스템안전, 구조, 비행기술, 추진체 및 추진체 장착, 항공기 세부계

통, 전기계통의 7개의 감항인증분야의 기술기준에 대해 영향성 검토와 위험도 평가를 수행하였고, 인증기준적용 여부 및 인증기준적합성에 대해 분석하였다. 향후 국내에서도 유사한 형태의 항공기 개조가 이루어지는 사업의 경우에 본 연구 결과를 활용하여 감항성 평가 업무를 효과적이고 신뢰성 있게 수행할 수 있다.

## 후 기

이 논문은 2013년도 한국항공대학교의 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

## 참고문헌

- [1] Department of Defense, "MIL-HDBK-514; "Operational Safety, Suitability, and Effectiveness for the Aeronautical Enterprise", 2003.3.28
- [2] U.S. Air Force, Air force Instruction 62-601, 2010.6. 11,
- [3] Department of Defense, "Airworthiness Certification Criteria Expanded Version of Mil-HDBK-516B", 2005.9.26
- [4] 방위사업청, 방위사업청 고시 2011-1호 군용항공기 표준 감항인증 기준, 2011.12.7.
- [5] Electronic Industries Alliances[EIA], ANSI/EIA-632, "Process for Engineering System, 1988
- [6] 국방과학연구소, "개조, 개량 군용항공기 감항인증 분석 보고서", 2012.5
- [7] Department of Defense, "MIL-STD-882E: Standard Practice for System Safety", 2012.5.11
- [8] Department of Defense, "MIL-HDBK-1797; "Flying Qualities of Piloted Aircraft", 1997.6.28
- [9] Department of Defense, "Joint Service Specification Guide, Engines, Aircraft, Turbine", 2004.1.29