

## Technical Review

## Part 23 급 항공기 엔진인증 비행시험 절차 조사

류승현\*, 박영훈\*, 문희장\*\*

## Research of Part 23 Level Aircraft Engine Certificate Flight Test Procedure

Seung-Hyun Ryoo\*, Young-Hoon Park\*, Hee-Jang Moon\*\*

## ABSTRACT

The engine is the most significant and essential part of the aircraft. As a result, systematic handling in the aircraft development stage is required from engine design to implementation to the full-scale airframe. This survey demonstrates the procedures demanded by the KAS 23 Civil Aircraft to acquire the engine Type Certification and the flight test procedures for ensuring the operational stability. Surveys were conducted on domestic and international aircraft engine certifications, technical regulations and documentations related to the Means of Compliance for flight test development stage. In addition, organized reference items that should be considered for the certification of engine flight test procedures were reviewed based on the KC-100.

**Key words :** Means of compliance(적합성 입증), Flight test(비행시험), Civil aviation(민간항공), Engine(동력장치), Airworthiness standard(기술기준), Certification(인증)

## 1. 서 론

오늘날, 항공기 개발 및 항공기 관련 운용분야는 전 세계적으로 급성장하고 있다. 최근 세계 항공시장은 5,207억 \$ 규모로 조선시장의 3배를 상회한다고 보고되고 있으며 이는 침체에 있는 자동차 산업보다 부가가치가 상대적으로 매우 높아 2023년까지 7,000억 \$ 규모로 성장이 전망되고 있다. 우리나라 역시 '14년 국토교통부 주관 하에 한국항공우주산업(주)이 개발한 KC-100(나라온)과 이를 비행훈련 목적에 부합되게 개조한 KT-100 항공기를 활용하여 공군 조종사 양성의 전 과정을 국산항공기로 일원화

하는데 성공하였고 활용도에 따라 수입대체 효과 창출을 기대하고 있으며 이는 향후 국산 민간 항공기 수출기반을 조성하는데 큰 영향을 끼칠 것으로 사료된다. 항공기 운용의 측면에서 가장 중요시 되는 부분은 운용 안정성으로 전 세계적으로 민간 항공기 시장에서는 이 분야의 선두주자인 유럽과 미국 수준의 운용 안정성을 요구하고 있다. 우리나라의 경우, KC-100 항공기가 국내 최초의 민간 상용항공기로 국제 항공기 안정 인증 규정(FAA FAR part 23)과 동일한 수준의 국내 항공기 기술기준(KAS part 23)에 적합하도록 개발되었다. 항공기 기술기준에 대한 적합성은 적합성 입증(Means of Compliance) 방법이 요구하는 요소들을 대부분 시험평가로 확인하게 된다. 개발 예정 항공기의 비행시험은 설계된 항공기가 시험기부터 전 기체에 이르기 까지 입증방법과 시험 스케일을 만족하는 적합성 입증시험 외에도 개발자의 성능 및 기능을 점검하는 시험이 추가된다.

Received : 02. Mar. 2017. Revised : 24. Mar. 2017.

Accepted : 30. Mar. 2017

\* 한국항공대학교 대학원

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처 E-mail : hjmoon@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대학로 76

이러한 개발 비행시험은 여러 환경적인 요소와 돌발 상황을 포함한 모든 상황으로부터 목표성능을 확보하여 형식증명을 인정받아 운용자에게 양도될 수 있는가를 판단하는 과정이므로 관련 절차를 체계적으로 다룰 필요가 있다. 한편, 엔진 분야는 매우 복잡한 항공기의 핵심적인 시스템이므로 이를 개발한 선진국에서는 엔진에 대한 인증절차와 법률에 의거하여 항공기와는 별도의 엔진인증이 수행되고 있다. 본 연구에서는 개발 예정인 항공기에 엔진을 장착할 경우 요구되는 동력장치 관련 적합성 인증에 대한 내용을 분석하였으며 비행시험장에서 수행되는 관련 비행시험절차와 항목들에 대한 정리를 하였으며 FAA의 항공기 엔진관련 기술기준 및 규정들을 충족하기 위해 FAR Part 23, FAA order 8110.4C, 국내에서는 KAS Part 23의 Subpart E(동력장치)를 분석하였다.

## II. 본 론

### 2.1 항공기 엔진인증 규정 고찰

개발 비행시험 단계에서 적합성을 입증하기 위해서는 각 시험항목들의 기술기준이 필요하므로 국내의 항공기 엔진인증 관련 문헌 조사를 통해 엔진인증 비행시험 절차를 확보하는데 참고해야 할 사항들을 조사하였다. 국내 항공기 기술기준으로는 국내 비행종합시험장에서 비행시험을 진행할 기종들의 크기에 해당하는 KAS part 23 subpart E(동력장치)와 국외 문헌으로는 FAA의 권고 회람 문서인 AC23을 분석하였다.

#### 2.1.1 KAS/FAR Part 23

항공기 기술기준 KAS part 23과 FAR part 23의 동력장치의 주요 엔진 및 시험내용은 Table 1과 같으며 기술기준에는 정리된 항목들에 대한 조항들을 제시하고 있다[1]. Table 2는 엔진부분에 대한 조항들을 일부 열거한 예시이다. 각 조항들에 대한 세부 수치나 물리량에 대한 기준은 Part 33 항공기엔진에 대한 기술기준과 Part 34 항공기엔진의 연료, 배기 가스 배출기준을 참고한다.

#### 2.1.2 Advisory Circular

Table 1. KAS & FAR part 23 subpart E: 동력장치/Powerplant[1]

엔진	엔진의 운용 특성, 엔진종류 별 필요 시험, 엔진의 형식증명 및 배치
연료계통	각 연료계통의 배치, 목표 연료유량 공급가능 확인, 연료탱크 파손 및 누출
냉각	냉각 시험, 냉각액 탱크 시험
흡기/배기	공기흡입계통, 흡기계통, 배기계통
동력장치제어	동력장치 제어 및 보기, 동력장치의 방화설비

Table 2. KAS & FAR part 23 subpart E: 동력장치/Powerplant (Engine)

형식 증명	각 엔진은 형식증명을 받아야 하며 기술기준 Part34의 해당요건을 만족해야 함.(23.903(a))
비행시험을 통한 조사	터보제트 및 터보팬 엔진의 역추력장치는 엔진작동 및 진동 수준에 영향을 받지 않음을 시험을 통해 입증해야 함.(23.934) 터빈엔진의 운용 특성의 안정성을 증명하기 위하여 비행시험으로 조사하여야 함. (23.939)

Table 3. Advisory circular about engine

AC 23-8C	Flight Test Guide for Certification of Part 23 Airplanes
AC 23-16A	Powerplant Guide for Certification of Part 23 Airplanes
AC 23-14	Conversion from Reciprocating Engine to Turbine Engine
AC 20-147A	Turbine Engine Induction System, Icing and Ice Ingestion
AC 33-2C	General Type Certification Guidelines for Turbine Engines
AC 33.87-1A	Engine overtorque Test Calibration Test, Endurance Test
AC 33.28-3	Guidance Material for 33.28Engine Control System
AC 20-143	Installation, Inspection, and Maintenance of Engine Controls

FAA의 Advisory Circular (AC)는 감항인증, 운용 표준 및 14 CFR 항공우주 분야의 규정 준수를 위해 추가적인 기술기준 지침을 명시한 권고회람서이다. 엔진에 대한 적합성 입증 지침서 항목들은 Table 3에 정리하였다.

## 2.2 적합성 입증단계에서의 엔진 인증

### 2.2.1 적합성 입증 방법

KAS part 23 N, A, C, U급 항공기의 적합성 역시, 기술기준에 대한 적합성 입증방법에 따라 대부분 시험평가로 확인하게 된다. KC-100의 적합성 입증 방법은 Table 4와 같다 [3].

Table 4. Procedures for development flight test of KC-100[3]

MOC	적합성입증방법 (KC-100)	적합성입증방법 (FAA AC-23.25)
0	정의 및 일반사항	-
1	설명자료 문서	DE
2	계산/해석	
3	신뢰성/정비성/안전성 평가	AN
4	실험실 시험	
5	지상시험	GT
6	비행시험	FT
7	항공기 검사	DE
8	시뮬레이션	-
9	구성품 검증	DE(SI*)

Table 5. FAR/KAS part 23, subpart E – Powerplant items used for MOC

일반 사항	- 23.901 Installation (장착) - 23.901 Engines. (엔진)
연료 시스템	- 23.901 Fuel system independence. (독립성)
오일 시스템	- 23.901 Oil tanks (오일탱크)
냉각	- 23.901 Cooling test. (냉각시험)
흡/배기 시스템	- 23.901 Air induction system. (공기흡입시스템) - 23.901 icing protection. (결빙)
동력장치 제어	- 23.901 Powerplant controls. (동력제어장치) - 23.901 Auxiliary power unit control. (보조동력)

KC-100의 경우 총 374개의 기술기준 항목들이며 동력장치(Subpart E)에 해당하는 항목은 87개로 사용된 조항에 대한 예시는 Table 5와 같다.

### 2.2.2 지상시험

항공기 개발 단계에서 엔진시험은 크게 MOC 5(지상시험)과 MOC 6(비행시험)으로 분류된다. 지상시험은 엔진을 직접 시제기에 장착하는 방법과 모의 지상시험장치를 이용하는 방법으로 구분한다. KC-100 항공기의 경우 적합성 입증을 위한 목적의 엔진시험으로 20개의 지상시험, 비행시험의 적합성입증 시험을 수행하였으며 각각의 시험항목에서도 세부적으로 시험을 진행하였다. Table 6은 적합성 입증 방법의 5에 해당하는 지상시험의 시험항목들을 나타낸 것이다. 지상시험은 주로 각 분야별 계통시험이 수행되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 6의 시험 항목들 중 시험 항목 3. Fuel System 과 5. Propulsion System은 주로 엔진과 관련되는

Table 6. Means of compliance 5 ground test[5]

	적합성 입증	시험항목
1		Ground Vibration Test(GVT)
2		Aircraft Load Calibration Test (ACT)
3		Fuel System
4		Flight Control System
5		Propulsion System
6		De-icing System
7		Oxygen System
8		Brake System
9		Environmental Control System
10	지상시험 (MOC5)	Avionics system
11		Autopilot System
12		Pilot-Static System
13		PVI(Pilot-Vehicle Interface) Test
14		EMC Test
15		External Lighting System
16		Internal Lighting System
17		Electrical System
18		Indirect Effect of Lightning Test
19		HIRF Test
20		Weight and Balance Test

Table 7. Means of compliance 5 ground test – Fuel system[5]

시험항목	
1	Unpumpable, Undrainable Fuel Quantity
2	Fuel Flow Test
3	Gascolator Pop-up Test
4	Boost Pump Operation Test
5	Fuel Quantity Probe Contamination Detection Test
6	Fuel Quantity Probe Calibration Test
7	Boost Pump-Engine Compatibility Test
8	Refuel Time and Fuel Quantity Probe Calibration Check
9	Fuel System Warning/Caution /Advisory Test
10	Hot Weather Operation Ground Demonstration

내용들로 구성되어있다. Fuel System은 엔진 운용 성능의 안정성에 큰 영향을 주므로 비행시험 절차 과정에서 검토가 필요하다. 연료 계통 지상 시험의 경우 10개 항목의 시험이 수행되었다. Table 7은 지상 시험 세부 계통의 예시로, Fuel System의 시험 항목들이 명시 되어있다. Propulsion System은 추진 계통의 기능 및 작동을 검증하고 적합성을 지상에서 입증하는 시험으로 기술기준에 맞게 최대한의 운용 성능을 활용하는데 지장이 없음을 확인해야한다.

### 2.2.3 비행시험

비행시험은 적합성 입증시험 항목 중 MOC6에 해당되는 시험으로 항공기의 요구된 성능을 확인하고 항공기 기술기준에 적합한지를 입증하는 과정으로 구성은 Table 8과 같다.

비행시험 항목들 중 엔진과 직접적으로 관련된 시험내용들은 9. Propulsion System과 11. Fuel System, 19. Engine Cowling Vibration 내 포함 되어있다. 이들 항목 중 9. Propulsion System의 세부 시험항목은 Table 9에 명시하였다.

### 2.2.4 엔진 설계변경 인증 사례

항공기 개발단계인 형식증명을 받는 과정에서 초기의 설계 조건과 상이한 결과가 도출되어 설계 변경이

Table 8. Means of compliance 6 flight test[5]

적합성 입증방법	시험항목	
1	Flutter	
2	Load	
3	Stability and Control	
4	Performance	
5	Air data Calibration	
6	Noise	
7	Avionics System	
8	Automatic Pilot System	
9	Propulsion System	
10	비행시험 (MOC6)	Environmental Control System
11		Fuel System
12		Oxygen System
13		De-icing System
14		Landing Gear System
15		Flight Control System
16		Electrical System
17		EMC
18		External Lighting System
19		Engine Cowling Vibration
20	Pilot Flight Evaluation	

Table 9. Means of compliance 6 flight test- Propulsion system[5]

시험항목	
1	Operating Characteristic
2	Air Start
3	Cooling
4	Negative Acceleration
5	Induction System icing Protection
6	Exhaust Gas
7	Propeller Speed
8	Drain

필요한 상황이 발생할 수 있다. 이러한 형식설계 변경은 형식증명에 관한 기술기준 FAR/KAS Part 21의 21.93항에 의해 등급과 증급으로 분류된다. 이 가운데 증급 변경은 중량, 균형, 신뢰성, 구조강도, 운용특성과 같은 제품의 감항성에 관련되어 큰 영향을 주는 경우를 의미하며 이러한 경우 실제로 하나의 부품이나 구성품, 단일계통에 대한 증급 설계변경이 이루어진다.

### III. 결 론

본 연구에서는 국내 비행시험장에서 수행되는 엔진 인증 절차과정의 사례를 소개하고 참고해야할 관련규정들과 시험항목들을 정리하였다. FAA FAR Part 23, 33, FAA Order 8110.4, FAA AC23-8C 를 중심으로 엔진인증 절차과정에 필요한 내용들을 조사하였다. 제시한 소형 항공기 엔진 인증 절차는 Part 23급 항공기에 모두 적용되는 사항들이며 본 논문에서 조사한 엔진 인증 비행시험 절차와 항목을 바탕으로 개발자가 엔진인증을 수행하는 과정에서 본 논문의 내용을 참고한 준비가 요구된다.

### 후 기

본 논문은 국토교통부의 “국가 비행종합시험 인프라 개발 구축” 과제의 일환으로 수행되었음.

### Reference

- 1) KAS (Korean Airworthiness Standards) Part 23, 2010, “Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Airplane,” MLTM Notice No. 2010-286
- 2) FAA(Federal Aviation Administration), Advisory Circular 23-8C, 2011, Flight Test Guide For Certification Of Part 23 Airplanes.
- 3) Kim, Y. T., Kim, D. H., Hwang, S. M., Kim, S. J., Yoon, H. K., 2009, “Development of Certification Plan for the Type Certification of KPP Aircraft,” SASE Vol. 3, No. 1, pp.30~35.
- 4) Kim, D. W., Kim, C. J., 2013, “A Study on the Flight Test Verification for KAS Part 23’N’ Category Airplane,” The Korean Society For Aeronautical And Space Science , pp. 1087-1091
- 5) Kim, K. H., Choi, N. S., Gho, D. W., 2012, “Introduction of Compliance Test and Evaluation for KC-100 Aircraft,” The Korean Society For Aeronautical And Space Science, pp. 1353-1359
- 6) FAA, 2004, “AC-23-16A Powerplant guide for certification of part 23 airplanes and airships”, pp. 46~100
- 7) Kim, D. Y., Kim, D. R., 2011, “Showing Compliance with KAS Part 23 for Small Airplane Fuel System Development,” The Korean Society For Aeronautical And Space Science, pp. 1598-1603
- 8) Kim, Y. T., Kim, J. D., 2012, “A Case Study on Means of Compliance according to Design Phases of KC-100 Airplane,” The Korean Society For Aeronautical And Space Science, pp. 1346-1352
- 9) Kim, Phil-Soo., 2015, “Considerations on the flight test implementation for small airplane certification program,” Korea Civil Aviation Development Association.
- 10) Jong-Yoon Kim., Won-joong Lee., Kwang-Hae Kim., 2012, “Compliance Procedure for type certification of civil aircraft under KAS 23” Korea Aerospace Research Institute, pp. 216-224
- 11) Kim, Y. T., Kim, J. D., Jung, G. C., Lee, S. G., Park, S. W., Jung, N. S., Lee, G. I., 2012, “Engine Cooling Design of KC-100 Airplane,” The Korean Society For Aeronautical And Space Science, pp. 1280-1286
- 12) KAS Part 33, 2009, “Airworthiness Standards: Aircraft Engines,” MLTM Notice No. 2009-957.