

보조동력장치 비상연료 시험

임병준* · 이동호** · 구현철*** · 류세현***

Auxiliary Power Unit Emergency Fuel Test

Byeungjun Lim* · Dongho Lee** · Hyuncheol Koo*** · Sehyun Ryu***

ABSTRACT

Aircraft Auxiliary Power Unit can start and operate using not only main fuel(JP-8) but also specified emergency fuels for emergency operation. In order to verify emergency fuel requirement, emergency fuel test using commercial diesel fuel was performed. Changes in specific fuel consumption due to use of diesel fuel are 3.5%~7.8%, which satisfied requirement. Diesel fuel showed similar starting characteristic to the JP-8. The specific fuel consumption of diesel increased by 2.0%~3.4% compared with that of JP-8.

초 록

항공기에 사용되는 보조동력장치는 주연료(JP-8) 뿐 아니라 비상시 운용을 위하여 규정된 비상연료를 사용하여 운용이 가능하여야 한다. 이러한 요구조건을 입증하기 위하여 상용 디젤유에 대하여 비상연료 시험을 수행하였다. 디젤유의 경우, 시험 전, 후 부하조건에 따른 비연료소모율의 차이는 3.5%~7.8%로 요구조건을 만족하였다. 주연료와 비교하여 디젤유 적용에 따른 시동특성은 유사하였다. 비연료소모율은 부하조건에 따라 주연료 대비 2.0%~3.4%의 차이가 발생하였다.

Key Words: Auxilar Power Unit(보조동력장치), Emergency Fuel Test(비상연료시험), Diesel(디젤), Specific Fuel Consumption(비연료소모율)

1. 서 론

항공기용 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, APU)의 연료는 주엔진과 동일한 연료를 사용하며 주로 케로신 계열의 Jet 연료를 사용한다. 군

용 항공기에 사용되는 APU의 경우, 주연료 이외에 사용자에게 의해 정의되는 비상연료에 대하여 운용이 가능함을 입증하여야 한다[1].

가스터빈엔진의 성능은 연료의 물성치와 관계가 있으며 특히 비중과 저위 발열량(LHV: Low heating value)은 가스터빈엔진의 시동성능(점화 및 가속성능) 및 운용성능(연료 소모율)에 영향을 줄 수 있다. 연료 물성치에 따른 가스터빈엔진 성능 변화는 엔진의 제어 스케줄과 연관이

* 한국항공우주연구원 터보사프트엔진팀

** 한국항공우주연구원 항공추진기관팀

*** 삼성테크윈 파워시스템연구소

† 교신저자, E-mail: bjlim@kari.re.kr

있다. 시험대상 보조동력장치의 제어 스케줄은 크게 두 단계로 구분이 되며 점화 후 50%rpm까지는 개루프(Open Loop) 제어 구간이며 50%rpm 이후는 폐루프(Closed Loop) 제어 구간이다. 개루프 구간에서는 초기 오일온도에 따른 차이를 제외하고는 대기조건 및 부하조건에 관계없이 정해진 스케줄에 따라 연료조절장치 metering valve의 개폐도가 결정되며 폐루프 구간에서는 RPM을 feedback 받아 정해진 RPM(또는 가속률)을 유지할 수 있도록 metering valve가 조절되어 연료 유량을 제어한다. 개루프 제어 구간에서는 어떤 조건에 관계없이 연료조절장치의 metering valve의 개폐도가 항상 일정하기 때문에 연료의 비중에 따라 가스터빈엔진에 공급되는 연료유량의 차이가 발생한다. 연료유량의 차이는 연료 노즐에서의 분무 특성 및 연소기 내의 FAR(Fuel to Air Ratio, 연공비)에 변화를 만들어 내며 그에 따라서 엔진 점화 및 가속 성능에 영향을 줄 수 있다. 반면, 폐루프 제어 구간은 정해진 RPM(또는 가속률)을 유지하기 위해서 연료유량이 조절되는 구간으로 연료 저위 발열량(LHV)에 따라서 엔진의 연료 소모율 성능에 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 항공기용 APU의 비상연료로 정의된 상용 디젤유(KS-M-2610)에 대하여 내구 시험 사이클에 따라 20시간을 운용하고 전, 후의 성능변화를 측정하였으며 주연료(JP-8)와 비교하였다.

2. 시험대상 및 시험설비

2.1 보조동력장치

시험대상 APU는 100kW급 항공기용 APU로 지상에서 주엔진 시동을 위한 블리드 공기와 장비 점검을 위한 전원을 공급하고 비행중 비상 동력원으로 사용된다.

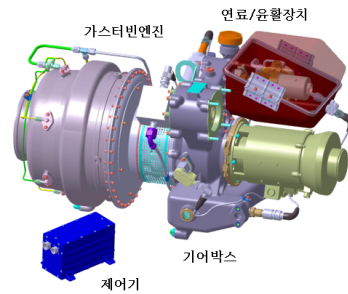


Fig. 1 Aircraft auxiliary power unit

2.2 시험대상 연료

비상시험 대상 연료는 국내 수급이 가능한 상용 디젤유(KS-M-260)이며, 비중과 저위 발열량을 측정하여 주연료(JP-8)과 비교하였다. JP-8의 비중은 15.5°C에서 약 0.77~0.84의 범위[2]를 갖는데 약 0.8로 측정되었으며, 측정된 JP-8과 디젤유의 특성은 규격을 만족하였다. 디젤유의 비중은 JP-8보다 약 3.1% 높게, 저위 발열량은 0.7% 낮게 측정되었다(Table 1).

Table 1. Measured fuel properties

Properties	JP-8	KS-M-2610
Specific Gravity(@15.5°C)	0.798	0.823
Low Heating Value MJ/kg(@15°C)	43.18	42.88

2.3 시험설비 및 시험절차

비상연료시험은 삼성테크윈의 APU 지상시운전 설비에서 수행하였다. APU의 운전조건은 축출력, 최대연속출력(MCP), 블리드 부하, 최대연속 동시출력조건(MCCP)으로 나누어진다. APU 성능 측정을 위한 축부하는 동력계로 측정하며 블리드 공기의 온도와 압력을 측정한다. 블리드 부하를 사용하는 경우 다음과 같은 환산식을 통해 등가출력을 계산하였다.

$$P_{bleed, eq} = C_p \times \dot{m}_{bleed} \times T_{bleed} \times \left(1 - \left(\frac{P_{amb}}{P_{bleed}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

여기서, C_p 와 γ 는 대기온도와 블리드 공기 온도의 평균온도 값을 사용한다.

디젤유를 대상으로 한 비상연료시험은 총 4 사이클(MCP 2 사이클, MCCP 2 사이클), 시동 횟수 196회로 구성되며 총 시험 시간은 20시간이다. 시험 전, 후의 출력 저하 10%, 비연료소모율 증가 20% 이내의 기준을 만족하여야 한다.



Fig. 2 APU test facility

3. 시험결과

3.1 시동특성

JP-8과 디젤유의 시동 특성을 비교하기 위해서 시동구간에서 회전수와 출구 가스온도(Exhaust Gas Temperature, EGT)를 Fig. 3과 같이 비교하였다. 시험결과에 따르면 시동구간에서 회전수 증가율은 두 경우 거의 유사하였으며 JP-8의 경우 디젤유에 비해 약 0.7초 빨리 점화가 되었으며 시동구간의 EGT는 약 13°C 높았다. 시험대상 APU는 50% 회전수 구간에서는 개루프 제어하기 때문에 동일한 연료밸브 개폐도를 유지한다. 따라서, 연료비중이 약 3.1% 높은 디젤의 경우 JP-8에 비해 많은 연료유량이 공급되지만 상대적으로 높은 점성 및 낮은 휘발성을 갖는 디젤의 특성이 점화에 불리하기 때문에 JP-8을 사용하는 경우에 먼저 점화가 된 것으로 판단된다. 또한, EGT의 차이는 대기온도의 차이가 반영된 것으로 판단된다. JP-8과 디젤유는 약 3.1%의 비중차이가 있으나 가속특성, 시동시간 등 시동특성은 유사하였다.

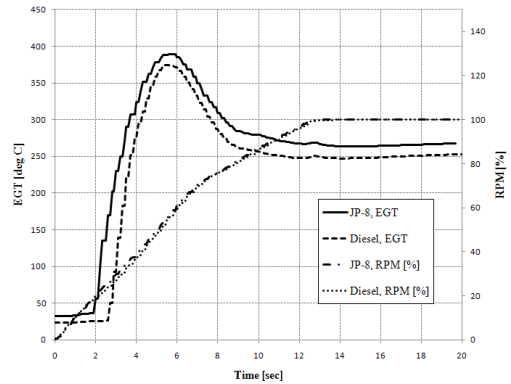


Fig. 3 Engine speed vs. EGT in start phase

3.2 비연료소모율

디젤유를 사용한 APU의 비상연료 요구조건을 입증하기 위해 시험 전, 후의 성능을 비교하였다. 각 부하 조건의 등가출력과 비연료소모율은 각각 MCCP 조건의 등가출력과 비연료소모율로 무차원화 하였다. 각 조건에서 시험 전, 후 비연료소모율의 차이(3.5%~7.8%)가 나타났으며 설계점인 MCCP 조건에서는 3.5%로 요구조건인 20%이내를 만족하였다(Fig. 4).

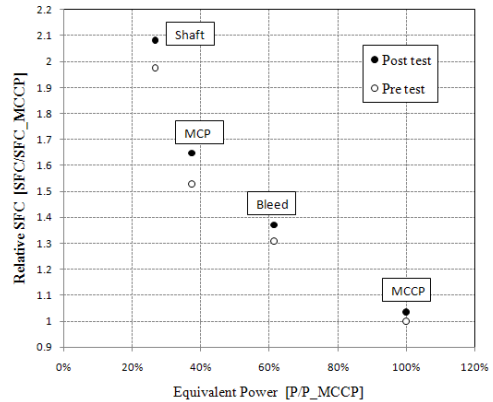


Fig. 4 Change in SFC after test (Diesel)

비상연료 시험 후, JP-8과 디젤유를 사용한 성능을 비교하였다. 각 조건에서 비연료소모율의 차이(2.0%~3.4%)가 나타났으며 설계점인 MCCP 조건에서는 3.4% 차이를 보였다(Fig. 5). 가스터빈엔진이 동일한 출력에서 운전되기 위해서는

연소기 입, 출구의 조건이 동일한 상태(연소기 입, 출구 공기유량 및 엔탈피 등)가 되어야 하고 연료가 다른 경우, 이 동일 출력을 유지하기 위해서는 LHV의 차이만큼 공급 연료 유량의 차이가 발생한다.

$$\Delta H = (\eta_B LHV) \frac{m_{fuel}}{m_{air}}$$

ΔH : enthalpy difference in combustor

η_B : combustion efficiency

시험에 사용된 디젤유의 경우, JP-8에 비해 저위발열량이 0.7% 낮게 측정되었으나 APU 단위 시험에서 비연료소모율의 차이는 2.0%~3.4%로 나타났다. 이러한 차이는 시험 대상 APU가 JP-8에 최적화 되어 있어 디젤유와의 점성, 표면장력 등의 특성 차이로 인한 연료노즐 분사 특성 변화 때문에 연소효율이 저하되어 나타난 것으로 판단된다.

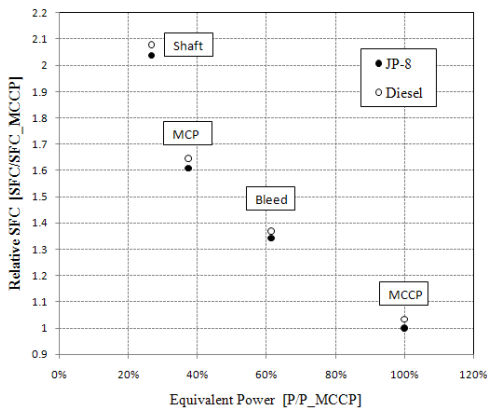


Fig. 5 Comparison of SFC between JP-8 and Diesel

4. 결 론

항공기용 APU의 비상연료로 정의된 상용 디젤유(KS-M-2610)에 대하여 내구시험 사이클에 따라 20시간을 운용하고 전, 후의 성능변화를 측정하였으며 주연료(JP-8)와 비교하였다.

시험에 사용된 JP-8과 디젤유는 약 3.3%의 비중차이가 있으나 시동특성(가속특성, 시동시간 등)은 유사하였다.

디젤유의 경우, 비상연료시험 전후 비연료소모율은 약 3.5%~7.8%가 저하되었으나 요구조건인 20%이내를 만족하였다. 디젤유는 JP-8에 비해 저위발열량이 0.7% 낮게 측정되었으나 APU 단위 시험에서 비연료소모율의 차이는 2.0%~3.4%로 나타났다. 이러한 차이는 사용 연료의 점성, 표면장력 등의 특성 차이로 인한 연료노즐 분사 특성 변화 때문에 연소효율이 저하되어 나타난 것으로 판단된다.

본 시험을 통하여 상용 디젤유(KS-M-2610)가 APU의 비상연료로 사용 가능함을 확인 하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 한국형행기 민군겸용 핵심구성품 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. ADS 17C, "Aircraft Auxiliary Power Units : Gas Turbine-Type IV", US Army Aviation System Command, 1989
2. CRC Report No. 530, "Handbook of Aviation Fuel Properties", Coordinating Research Council, Inc, 1983