

KT-1 기본 훈련기의 추진기관 비행성능 해석연구

오성환* · 장현수* · 기덕중*

A Study on Performance Simulation of Propulsion System for KT-1

Seong Hwan Oh* · Hyun Soo Chang* · Dock Jong Ki*

ABSTRACT

The exact performance simulation of propulsion system is a key element in the prediction of the aircraft performance. The specification performance analysis using the installed loss of KT-1 showed a large difference with the engine performance measured during the flight tests. This indicates that a method to estimate the more exact performance is needed. The study on the performance simulation with performance map correction along the engine operating line shows the good consistent results through all the flight conditions and engine conditions. The correction factors of the map were resulted from the comparative analysis between the flight test and the simulation of installed engine performance.

초 록

항공기의 비행성능은 추진기관의 비행성능과 직접 연관이 있으므로, 추진기관의 정확한 비행성능 예측은 항공기의 성능해석에 있어서 필수적인 요소이다. KT-1 기본 훈련기에 장착된 터보프롭 엔진의 규격 장착성능 해석결과는 실제 비행시험 결과와 차이를 보여 추진기관의 정확한 비행성능 예측 방법이 요구되었다. 이를 위해 비행시험 자료를 분석하고, 엔진 구성품의 성능도 보정방법을 사용한 비행성능 해석기법을 연구하였다. 추진기관의 비행성능 해석과 비행시험 결과를 비교 검토한 결과, 다양한 비행조건 및 엔진 작동조건하에서 추진기관 비행성능을 정확히 예측하는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : Performance Simulation(성능모사), Propulsion System(추진기관), KT-1(기본 훈련기)

1. 서 론

항공기의 비행성능은 추진기관의 비행성능과 직접 연관이 있으므로, 추진기관의 정확한 비행성능 예측은 항공기의 성능해석에

있어서 필수적인 요소이다. KT-1은 Pratt & Whitney Canada사의 PT6A-62 터보프롭 엔진이

장착된 견인식 군용 기본 훈련기이다. 추진기관의 비행성능에 영향을 주는 요소는 프로펠러, 관성분리장치가 내장된 공기흡입구, 배기덕트, 엔진 블리드 공기 및 출력인출 등이 있다. KT-1 개발기간동안 추진기관의 비행성능을 정확히 예측하기 위하여 비행시험으로 확인된 장착손실 인자를 적용하여 비행성능을 예측하였지

* 국방과학연구소(Agency for Defence Development)

만, 실제 비행시험 결과와 상당한 차이를 보여, 추진기관의 비행성능을 정확히 예측할 수 있는 방법이 요구되었다[1].

추진기관의 비행성능 예측에 대한 국내 연구는 해석기법에 대한 것이 주로 수행되었으며[2-3], 실제 비행성능의 모사에 대한 연구는 국내의 항공기 개발경험이 부족하여 많이 수행되지 못했다.

본 연구에서는 추진기관의 실제 비행성능을 정확히 예측할 수 있도록 비행성능 시험자료를 이용한 엔진 구성품 성능도 보정기법을 사용하였다. 먼저 비행시험으로 측정된 성능자료를 표준조건으로 변환하여 적합성을 판단하고 성능인자를 보정하였다. 이렇게 보정된 시험자료를 이용하여 표준조건인 엔진 작동선을 따라 엔진 구성품 성능도의 탈 설계점 보정계수를 도출하였으며, 이를 사용하여 모든 비행 운용조건 및 엔진 작동조건에 적용하여 추진기관의 비행성능을 해석하였다.

2. 엔진 비행성능 모사기법

2.1 엔진 성능모사 기법

추진기관의 성능모사에 사용된 프로그램은 CIAM에서 개발된 터보프롭 엔진용 프로그램[4]을 기본으로 하여, KT-1에 장착된 PT6A-62 엔진에 적합하도록 수정하였다. 본 프로그램은 설계점 해석을 통해서 탈 설계점 해석에 사용되는 구성품의 대표적인 성능도를 도출할 수 있으며, 제어모듈을 내장하고 있어서 제어변수, 제어특성 및 운용한계를 엔진의 특성에 맞게 수정하여 사용할 수 있다.

비행중 엔진을 작동하는 것과 유사하게 엔진 출력을 제어할 수 있는 천이 성능해석 프로그램으로 정상상태 해석은 시간에 따라 수렴하여 얻을 수 있다.

엔진의 구성품 모델링은 압축기, 압축기터빈 및 동력터빈은 성능도로 모사하고, 축류압축기와 원심압축기는 구분하여 모델링하였으며, 연소기

는 성능도를 사용치 않았다.

2.2 비행성능 해석을 위한 장착 손실계수

항공기 추진기관의 비행성능에 영향을 주는 요소는 프로펠러에 의한 압력상승, 공기흡입구 전 압력회복율, 흡입공기 온도상승, 엔진 블리드 공기량 및 출력인출이 있으며, 각 인자별 비행시험으로 획득된 손실계수는 Table 1.과 같다.[5]

Table 1. Installed Loss Factors

구 분	대표 값	해석 적용값
흡입구 전압력 회복율	0.65-0.9	0.67-0.8
흡입공기 온도상승(℃)	5-12	4-11
엔진 블리드 공기(%)	5.25 Max	ON(5.25)/Off
출력 인출(마력)	8-11	5

3. 비행시험 자료 분석 및 보정

KT-1 추진기관의 비행성능 모사를 위해 사용한 비행시험 조건은 비행고도 5, 10, 15, 20, 25 Kft, 엔진출력은 최대와 부분출력이며, 엔진 블리드 공기의 ON/OFF이다. 각각의 시험조건에서 엔진 회전속도(Ng), 터빈간 온도(ITT), 연료유량(Wf) 자료 등을 측정하였다[4]. 획득된 비행시험 자료는 자료의 적합성을 점검하기 위해서 표준대기조건으로 변환하여 엔진 회전수에 따른 분포로 표시하였으며, Fig. 1~3과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 엔진 출력이 증가됨에 따라 각 성능인자가 증가되는 경향을 나타내고 있으나, 각 비행조건에서 상당한 편차를 보여주고 있다.

동일한 엔진출력(SHP)에서 ITT는 약 35℃의 편차를 보여주고 있으며, Wf는 약 25pph의 편차를 보이고 있으며, 엔진 블리드 공기를 인출하는 경우(ECS ON)에도 편차는 유사한 경향을 보여주고 있다. ECS ON인 경우에는 OFF에 비해서 엔진 성능이 약 15%정도 감소되어 블리드 공기

의 영향이 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다. 상기 비행시험 자료는 그림에서 실선으로 표시된 평균값에 근접하도록 보정하였으며, 보정된 값은 엔진 구성품 성능도 보정계수 도출 및 해석결과와의 비교평가에 이용하였다.

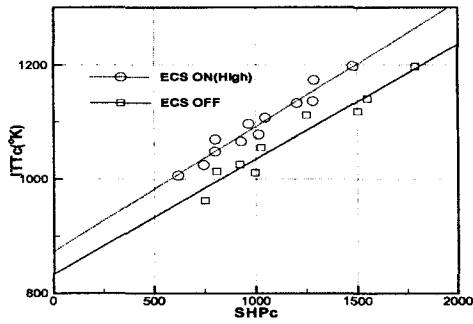


Fig. 1. Engine Power vs Temperature

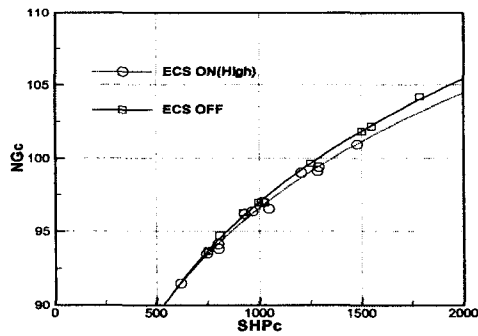


Fig. 2. Engine Power vs Ng Speed(%)

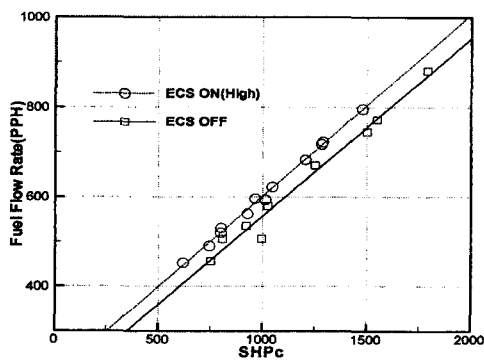


Fig. 3. Engine Power vs Fuel Flow

4. 탈 설계점 비행성능 예측

4.1 엔진 구성품 성능도 보정

엔진 구성품의 정확한 성능도는 엔진 제작사만 보유하고 있으나 공개되지 않기 때문에, 공개된 유사급 엔진의 성능도를 설계점에서 보정하여 성능모사에 이용하는 것이 일반적인 방법이다. 이 경우 탈 설계점에서는 구성품 성능특성이 상이하게 되어 해석오차가 발생하게 되며, 이를 해결하기 위해서 표준조건에서 엔진 작동선을 따라 비행성능과 해석결과를 비교하여 주요 구성품의 성능도를 보정하는 방법을 적용하였다.

본 연구에서는 압축기 및 연소기의 성능도를 보정하여 추진기관 비행성능을 정확히 모사할 수 있었으며, 터빈(압축기/동력 터빈)의 성능도 보정은 필요치 않았다. Fig. 4와 5는 엔진 회전속도의 증가에 따른 압축기 및 연소기의 보정계수 변화를 보여준다.

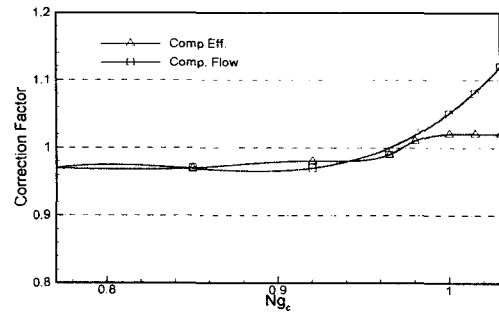


Fig. 4. Compressor Map Correction Factor

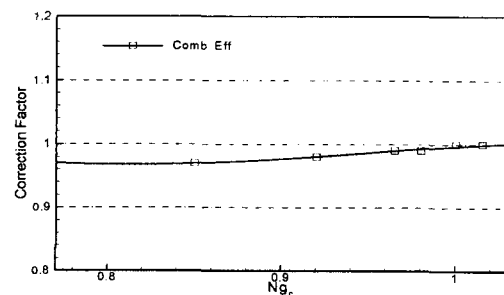


Fig. 5. Combustor Efficiency Correction Factor

4.2 추진기관 비행성능 해석결과(ECS OFF)

상기 구성품 보정계수를 사용하여 추진기관의 비행성능을 비행시험이 실시된 모든 조건에서 해석결과와 비교하였다. 매 5Kft 고도마다 실시된 다양한 출력조건에서 성능해석이 수행되었다. 해석에 사용된 환경조건과 장착손실은 비행시험에서 실측된 값을 적용하였으며[4] 동일한 출력일 경우 각 성능인자를 시험자료와 비교하였다. 먼저 엔진 블리드 공기 인출이 없는 조건(ECS OFF)에서 해석하였으며, Fig. 6과 같다. 각 비행조건에서 엔진 터빈간 온도(ITT), 엔진 회전수(Ng) 및 연료유량(Wf)의 해석결과가 비행시험 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.

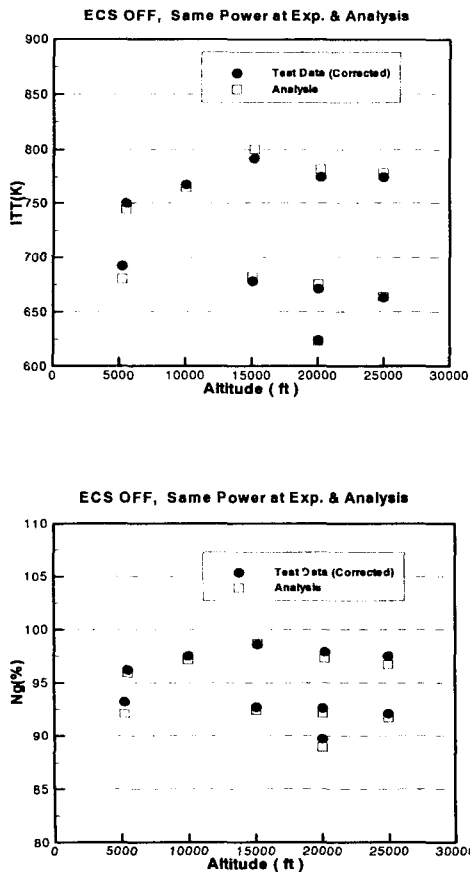


Fig. 6. Installed Performance Analysis(ECS OFF)

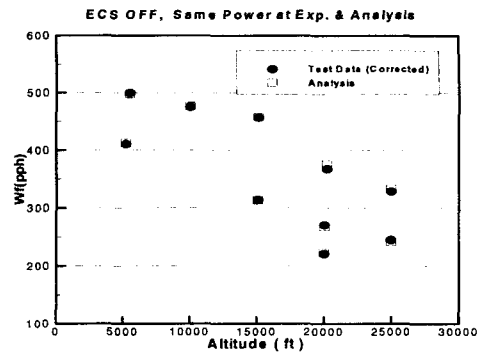


Fig. 6. Installed Performance Analysis(Cont.)

4.3 추진기관 비행성능 해석결과(ECS ON)

또한 동일한 구성품 성능도 보정계수를 사용하여 엔진 블리드 공기를 사용할 경우(ECS ON) 해석결과를 비행시험 자료와 비교하였다. 해석방법은 ECS OFF 조건과 동일한 방법으로 수행하였으며, 해석결과는 Fig. 7과 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 동일한 출력에서 ITT, Ng 및 Wf가 비행시험결과와 거의 일치하고 있다. 시험결과와 해석결과의 차이는 비행시험의 측정자료 정확성이 영향을 주는 것으로 판단된다.

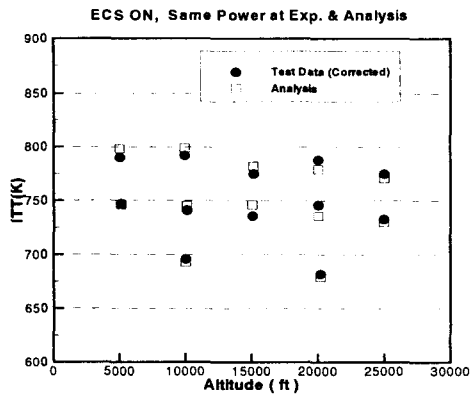


Fig. 7. Installed Performance Analysis(ECS ON)

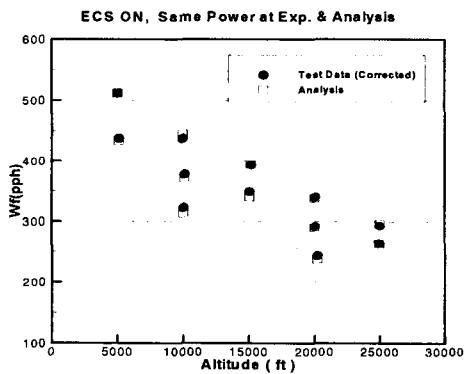
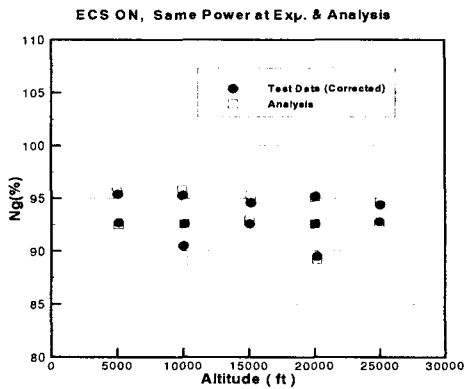


Fig. 7. Installed Performance Analysis(Cont.)

5. 결 론

KT-1 기본 훈련기의 추진기관 비행성능 분석결과 도출된 엔진의 규격성능과 실제 비행성능의 차이를 해결하고 다양한 비행조건에서 정확한 추진기관 비행성능을 예측할 수 있는 해석기법을 연구하여, 비행시험 자료와 비교 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 항공기 비행시험시 획득된 자료는 비행조건 의 가변성 및 측정방법의 한계로 인해서 측정자료의 편차가 있으며, 시험자료를 표준조건으로 변환하여 보정할 경우 매우 유용한 시험자료를

얻을 수 있었다.

2) 유사급 엔진의 성능도를 사용하여 설계점에서 보정할 경우, 탈 설계점에서 오차가 크게 발생할 수 있으나, 작동선을 따라 설정된 보정계수를 사용할 경우, 모든 비행 환경조건 및 엔진 작동상태에서도 매우 정확한 비행성능 해석이 가능함을 확인하였으며, 항공기 비행성능 예측에 매우 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김원철, 장현수, 오세윤, “기본 훈련기 추진계통 비행시험 평가에 관한 연구,” 한국항공우주학회지 제26권 제8호, 1998년 12월, pp.150-159
2. Changduk Kong, Jayoung Ki, “Performance Simulation of Turboprop Engine for Basic Trainer,” ASME paper 2001-GT-391, 2001
3. 공창덕, 기자영, “터보프롭 엔진(PT6A-62)의 정·동적 성능모사에 관한 연구,” 한국추진공학회지, 제4권 2호, 2000년 6월
4. “Description of Mathematical Models and Software for Turboprop Performances and Universal Control System,” CIAM Report, 2000
5. “KTX-1-04 추진계통 비행시험 평가,” ASDC-301-980505, 국방과학연구소, 1998