

습도 영향을 고려한 초소형 터보제트 엔진 성능시험 소개

이보화* · 이경재** · 양수석*** · 김유일****

The introduction of Engine Performance Test for Miniature Turbojet Engine considering humidity effects

BoHwa Lee* · KyungJae Lee** · SooSeok Yang*** · Yuil Kim****

ABSTRACT

The moisture in the atmosphere exerts a lot of influence upon Gas turbine engine performances. There is a noticeable influence of wet air at the summer sea level, high flight mach number and low engine rpm increasingly. An altitude Engine Test Facility is used to accomplish the engine performance tests at dry air condition and wet air condition, through which engine performance results is revealed. In the result, net thrust and specific fuel consumption measured -2.826% and 1.325%, respectively at wet air condition compared to dry air condition.

초 록

대기 중의 수증기는 가스터빈엔진의 주요성능에 많은 영향을 끼친다. 습공기의 영향은 기온 및 기압이 높은 여름철 해면 고도, 높은 비행 마하수 그리고 낮은 엔진 회전수에서 그 영향이 더욱 두드러진다. 이러한 습공기 유입에 따른 가스터빈 엔진의 성능변화의 정도를 살펴보고자 200lbf 급 초소형 터보제트 엔진의 고공환경 성능시험을 통해 습도가 엔진성능에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 고공환경 엔진시험을 통해, 건공기 유입에 비해 습공기 유입 시 순추력에서 2.826% 낮게, 비연료소모율에서 1.325% 높게 측정되었다.

Key Words: Altitude Engine Test Facility(엔진 고공환경시험 설비), Engine Performance(엔진성능), Humidity Effect(습도영향), Gasturbine Simulation Program(가스터빈 시뮬레이션 프로그램)

1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 1999년 3,000lbf급 엔진 고공환경시험 설비(AETF)를 설치한 이래로 가스터빈 엔진의 고공환경 성능시험 수행을 위해 이를 활용해오고 있다. AETF는 시험부(test cell)의 공간 내에 실제 엔진이 운용되는 고도 및 비행속도 그리고 대기환경조건(hot/cold/STD day condition)에 해당하는 환경조건을 만들어 주어

* 한국항공우주연구원 추진기관팀
** 한국항공우주연구원 추진기관팀
*** 한국항공우주연구원 추진기관팀
**** 국방과학연구소
연락처, E-mail: bhlee@kari.re.kr

엔진의 실운용특성을 파악하기 위한 것으로서 엔진개발에 필수적으로 필요한 설비이다.

가스터빈 엔진은 대용량의 공기를 흡입하여 작동유체로 삼기 때문에 작동유체인 공기의 물성변화에 민감하게 반응한다. 공기의 물성 변화는 대표적으로 수증기 형태로 대기에 포함되어 있는 수분의 존재를 들 수 있는데, 수증기를 함유한 습공기는 수증기 함유량에 따라 건공기와는 다른 화학적 조성을 가지며 건공기에 대한 습공기의 물성 변화 정도는 단위 체적 내 포함되어 있는 수증기와 건공기의 질량비로 정의하는 절대 습도에 의하여 결정된다. 작동유체의 열역학적 물성치 중 가스터빈 엔진의 공력 성능과 직접적인 관련이 있는 것은 기체상수(R), 비열비(γ)이며 Fig. 1과 같이 기체상수는 습도에 따라 그 값의 변화량이 비열비보다 훨씬 크다. 비열비는 유동장의 상사에 관련된 무차원수이므로 기체상수와 비열비의 변화는 곧 엔진 내 국부 마하수와 등엔트로피 지수값의 변화를 의미하므로 공기의 물성변화에 따라 엔진 성능변화가 나타나게 되는 것이다.

본 논문에서는 가스터빈엔진 시뮬레이션 프로그램(GSP)과 초소형 터보제트 엔진의 고공환경 성능시험을 통한 실험값을 근거로 습도가 엔진 성능에 미치는 영향에 대하여 알아보하고자 한다.

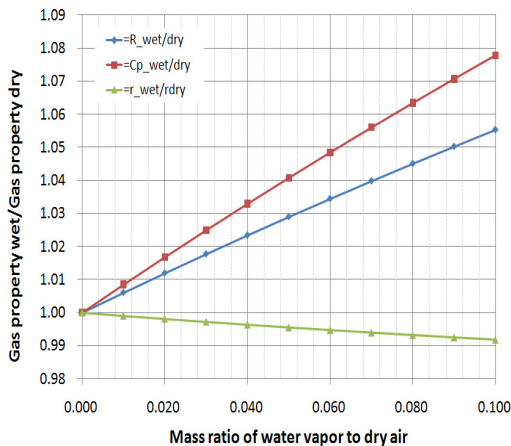


Fig.1 Gas property variation according to mass ratio of water vapor to dry air

2. 고공환경 시험설비

고공환경 시험설비를 사용하여 터보제트 엔진의 성능에 영향을 미치는 습도의 정도를 정량적으로 고찰하기 위해 습공기 및 건공기를 엔진 입구로 유입시켜 그때의 성능의 변화정도를 살펴보았다. 이를 위해 건공기의 경우 고공환경 시험설비를 사용하여 모사하기 위해 공기제습기(Dryer)를 사용하였다. 제습과정 동안 제습제가 흡수한 습기는 재생사이클 동안 제습기에 315℃까지 가열된 공기를 공급함으로써 제거된다. 재생사이클은 AETF의 별도 배관으로 이루어지며, 이때 공기 가열에 필요한 에너지는 천연가스용 히터(natural gas fired heater)로부터 제공되고, 또한 재생 사이클 동안 제습기 내부의 공기 순환을 위하여 송풍기(blower)가 사용된다. AETF의 주요시험설비 Layout 및 습도측정위치는 Fig. 2와 같으며 외부의 습공기가 유입되는 경로와 유입된 외부 습공기가 Dryer를 거쳐 건공기로

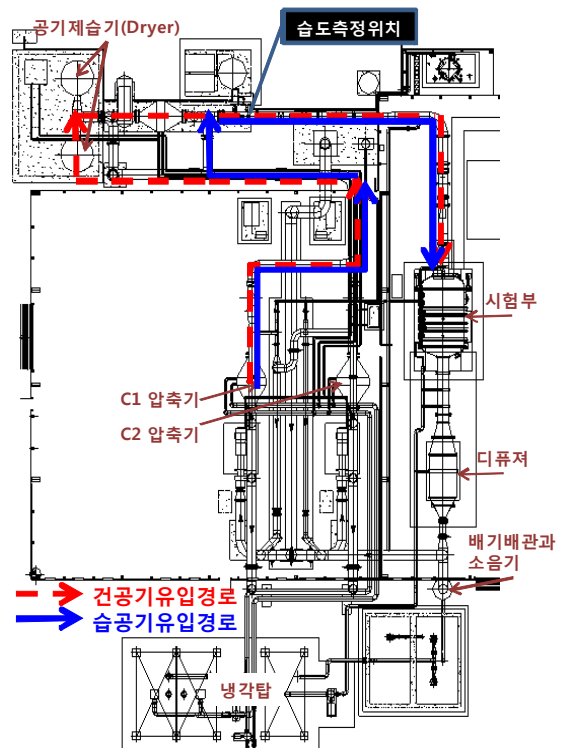


Fig. 2 AETF Layout

공급되는 유로를 나타내었다. 절대습도 및 이슬점온도를 측정하기 위해 사용된 센서는 VAISALA HMT334모델로 영하 40도씨에서 100도씨까지의 측정레인지로 가진다.

이러한 방법을 통해 습도가 엔진 성능에 미치는 영향을 고공환경 시험설비를 사용하여 수행할 수 있고, 그 영향의 정도를 정량적으로 파악할 수 있을 것이다. 고도에 따른 온도 분포와 상대습도 100%에서 고도에 따른 절대 습도의 영향을 살펴보면 가스터빈 엔진 성능에 습도의 영향이 가장 두드러지게 나타날 조건은 기온 및 기압이 높은 여름철 해면 고도이고 높은 비행 마하수, 낮은 엔진 회전수에서도 그 영향이 더욱 두드러진다[1]. 이와 같이 습도가 엔진 성능에 미치는 영향을 알아보고자 고공환경 성능시험을 수행할 엔진은 200 lbf급 Single Spool 터보제트 엔진으로 사류형 압축기, 슬링거형 연소기, 축류형 터빈, 수축형 배기노즐, PWM 연료공급시스템, 연료에 의한 베어링 윤활, 영구 자석형 고속 발전기 및 PCU, 디지털 전자식 엔진제어기로 구성되어 있다.

본 3,000lbf급 고공환경 엔진시험설비를 사용하여 200lbf 급 미만의 초소형 터보제트 엔진의 고공시험을 수행하기 위해서는 엔진 성능을 결정하는 주요인자의 측정 가능 여부 판단 및 설비의 수정, 보완이 필요하다는 판단으로 초소형 터보제트 엔진의 고공시험을 수행하기 위해 공기유량측정, 연료유량 측정, 추력측정시스템 부분에서 필요한 시험 설비의 수정, 보완 방법을 수행하였다[2].

3. 엔진성능시험 결과 검토

3.1 엔진성능시험 결과

고공환경시험설비를 이용하여 습도에 의한 엔진 성능의 변화를 알아보고자 상대습도가 각각 0.53%, 58.2%에서 엔진성능시험을 실시하였다. 실시한 시험조건은 마하수 0.7, Sea Level, PLA 0V(엔진회전수 80%)로 공기유량이 작아 엔진입구온도를 설정하는데 많은 시간이 걸려 Hot day(347K)에 미치지 못한 입구온도 326K에서 수

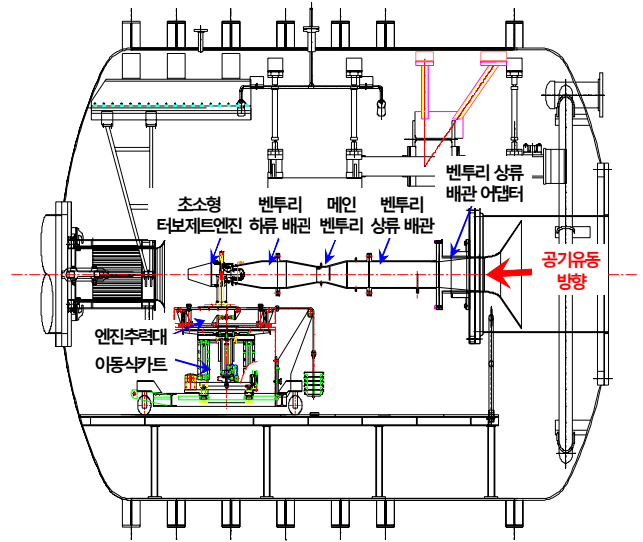


Fig 3 Miniature turbojet Engine installation

행하였다. 시험조건이 설정되어 정상상태가 된 후 공기유량(W_a), 연료유량(W_f), 추력(F_n), 비연료소모율(SFC)에 대하여 5초간 10Hz로 저장하여 평균한 값을 corrected parameter를 사용하여 표 1과 같이 비교하였다. ISO 17025에 따라 공기유량, 연료유량, 추력, 비연료소모율에 대한 측정불확도를 추정해 본 결과는 표 2와 같다. 특히 연료유량과 순추력에서 상대습도 0.53%일 경우와 58.2%일 경우의 불확도가 서로 차이가 나는 이유는 50회 반복측정에 의한 평균의 표준편차가 서로 다르기 때문이다.

3.2 습도보정 기법을 통한 보정결과

표 1의 상대습도 58.2%에서의 corrected된 시험결과를 습공기가 함유된 결과로 보고 AGARD와 이시우 등에 의해 제시된 구성품 수준의 습도보정기법[3]을 적용한 결과를 표 3을 통해 나타내었다. 공기유량과 연료유량, 순추력에 대해 습도보정기법을 적용한 결과와 표 1의 상대습도 0.53%에서의 시험결과를 비교해보면 특히 순추력의 경우 시험결과와 큰 차이를 보임을 알 수 있는데 정확한 경향 파악을 위해서는 다른 급의 엔진에 대하여 추가적인 시험이 필요할 것으로 보인다.

Table 1. Data comparison at wet/dry condition

Condition	0.53 % RH		58.2 % RH	
	Exp	GSP	Exp	GSP
Wac [kg/s]	1.05	1.05	1.04	1.04
Wfc [kg/h]	42.41	42.96	41.63	41.86
Fnc [N]	285.89	285.62	277.81	276.32
SFCc [kg/h/N]	0.151	0.153	0.153	0.154

Table 2. Uncertainty of experiment data

Condition	0.53 % RH	58.2 % RH
Wa [kg/s]	± 0.0024	± 0.0024
Wf [kg/h]	± 0.172	± 0.169
Fn [N]	± 2.705	± 2.513
SFC [kg/h/N]	± 0.0072	± 0.0071

Table 3. Humidity correction results

Condition	AGARD	Lee D-H & Lee S-W
Wac_dry [kg/s]	1.050	1.049
Wfc_dry [kg/h]	42.04	41.75
Fnc_dry [N]	279.49	278.63

4. 결 론

습도가 초소형 터보제트 엔진성능에 미치는 영향에 대해 알아보고자 고공시험설비를 사용한

엔진시험에서 건공기 및 습공기 유입을 모사하였다. 추력 200lbf급 초소형 터보제트 엔진시험 데이터와 습도 효과를 고려하여 예측된 GSP 성능해석 결과를 비교함으로써 습도가 가스터빈 엔진의 성능에 미치는 영향을 상대습도가 각각 0.53%, 58.2%인 경우에 대해 수행하였다. 습도에 의한 영향은 높은 마하수, 낮은 엔진회전수, 낮은 해면고도 및 고온에서 그 영향이 두드러지므로 시험조건은 마하수 0.7, SL, PLA 0V, 입구온도 326K 에서 시험하였다. 그 결과 추력에서는 2.826% 감소와 비연료소모율에서는 1.325% 증가하였고 이를 통해 습도가 엔진성능을 저하시키는 것을 알 수 있었다. 따라서 측정된 엔진의 주요 성능 인자(연료유량, 엔진회전수, 공기유량, 추력, 비연료소모율)를 건공기 조건으로 제조정하는 것이 필요하다.

습공기 유입에 따른 엔진성능의 변화를 습도 보정계수를 사용하여 확인한 결과 순추력에서 시험데이터와 차이가 남을 알 수 있었는데 이는 다른 급의 엔진에 대한 추가적인 시험을 통해 원인을 알아보고자 한다.

참 고 문 헌

1. 한국항공우주연구원, “비행체 추진기관 고공 성능시험의 신뢰도 향상과 비정상상태 시험 기술에 관한 연구,” 과학기술부, 2004.
2. 이보화, 이경재, 오중환, 양수석, 김유일, “초소형 터보제트엔진 고공환경 성능시험 소개,” 한국항공우주학회 추계학술대회, 2009, pp.573-576
3. 이시우, 정명균, “가스 터빈 엔진 성능에 대한 구성품 차원의 습도보정,” 한국추진공학회지, 제8권 2호, 2008, pp.32-38