

가스터빈 연소기 고공환경 모사 시험을 위한 상압/저온 환경에서의 점화 특성 실험

김기우* · 김태완* · 김보연* · 이양석* · 고영성** · 전용민***

A Ignition Test of Gas Turbine Combustor For High Altitude simulation at Low Temperature Condition

Kiwoo Kim* · Taewoan Kim* · Boyeon Kim* · yangsuk Lee*
Youngsung Ko** · Yongmin Jun***

ABSTRACT

In this study, ignition tests of a gas turbine combustor were performed to evaluate an ignition loop at low temperature condition. An experimental setup was constructed to simulate low temperature condition with a heat exchanger using dry ice as a coolant. Various low temperature conditions could be created by controlling the amount of air through the heat exchanger. The results showed that ignition limit decreased with air temperature.

초 록

항공기 부품은 다양한 고도의 운용조건을 만족해야 하므로 고고도 성능평가는 필수적이다. 본 연구에서는 가스터빈 엔진의 고공 점화특성을 확인하기 위하여 실물형 보조동력장치를 바탕으로 축소형 모델 연소기를 설계, 제작하여 22,000ft에 해당하는 대기온도 조건을 모사, 점화실험을 수행하였다. 저온 환경 모사를 위해 공기 공급배관에 열교환기를 설치하였고 냉각제로는 드라이아이스를 사용하였다. 실험결과 연소기로 공급되는 공기의 온도가 낮아질수록 점화가 가능한 공기과잉 구간은 감소하였음을 확인하였다.

Key Words: APU(보조동력장치), High-Altitude Condition(고고도 환경), Heat Exchanger(열교환기), Ignition(점화), Gas-turbine Combustor(가스터빈 연소기)

1. 서 론

보조동력장치(APU, Auxiliary Power Unit)는 주 엔진의 시동, 환경제어시스템(ECS ; Environmental Control System)용 고압공기 공급, 발전기 구동, 유압펌프 구동 등의 용도와 기타 항공기 탑재장비를 운용, 또는 그 역할의 일부를 담당하는 가스터빈 엔진이다[1]. 항공기에

* 충남대학교 대학원

** 충남대학교 항공우주공학과

*** 한국항공우주연구원 KHP 엔진팀

연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

사용되는 APU는 고도에 따라 운용 조건(온도 및 압력)이 달라지고 특히 공기와 연료의 온도는 미립화와 점화 시 필요한 에너지 등과 밀접한 관계를 갖기 때문에 점화 성능에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 실제 비행 시험에 앞서 항공기 운용의 신뢰성을 확인하기 위해서, 각 고도별 온도/압력에 따른 점화/재점화 특성을 고려한 전체적인 성능평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 소형 가스터빈의 고공비행에서의 점화 성능에 대한 기초자료 확보를 목적으로 축소형 모델 연소기에 다양한 온도의 공기를 공급하여 이때의 점화 특성을 확인하였고, 추후 저압환경과 연료의 온도가 점화에 미치는 영향을 종합적으로 연구할 계획이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 축소형 모델 연소기

현재까지 국내에서 개발된 실물형 보조동력장치는 엔진회전축의 진동문제와 효율적인 공간 활용을 위하여 환형-역류형 구조를 채용하였고, 6개의 연료분사 노즐을 사용하였다[2]. 본 연구에서는 다양한 운영 조건하에서의 연소기만의 점화 특성을 파악하기 위하여, 상대적으로 간단한 유동을 형성할 수 있는 축류 연료 분사형 연소기를 선택하였다. 또한 실물형 APU의 유동현상을 조금 더 근사적으로 모사하기 위하여 역류형 유동구조를 도입하였다.

축소형 모델 연소기는 Fig. 1과 같이 캔형-역류형으로 설계하였고, 연료와 공기의 혼합성능을 향상시키기 위하여 스윌러를 장착 하였다. Fig. 2와 같이 연소실로 공기가 공급되기 전인 스윌러 입구 부분에 온도센서를 장착하여 연소실로 유입되는 공기의 온도를 기준으로 저온 환경을 모사하였으며, 연소실 내부의 온도를 확인하여 점화 여부를 판단하였다. 점화장치는 실물형 APU에 사용되는 스파크 플러그와 익사이터를 이용하였고, 점화 실패 시 누적되는 연료는 연소실 하단에 위치한 드레인 장치를 이용하여 제거

하였다.

2.2 저온공기 공급설비

저온공기 공급 시 배관에서 발생하는 유동저항이나 연소압에 의한 영향을 방지하고 공급유량 조작의 간편함을 위하여 2.74mm의 오리피스에 초킹 조건을 유도하였고, 오리피스 전단 압력을 조절하여 공기의 공급유량을 제어하였다.

고압탱크로부터 공급된 공기는 오리피스를 지나 Fig. 3과 같이 저온열교환기와 열교환기 전단에 분기된 상온공기 유로를 통과한다. 이후 열교환기 후단에서 서로 합쳐져 연소기로 공급되는데 원하는 유량에 다양한 온도의 공기를 생성하기 위하여, 각각의 유로에 니들밸브를 설치하여 상온공기와 저온공기의 혼합비를 조절하였다. 또한 공기 중에 포함된 수분이 열교환기를 지나 수축부를 만날 때 얼음을 형성하여 배관이 막히는 문제를 미연에 방지하기 위하여 열교환기 전단에 니들밸브를 위치시켰다. 공기의 온도는 22,000ft에 해당하는 -30°C 까지 냉각이 가능하도록 구성하였고, Fig. 4와 같이 열교환기의 냉각제는 드라이아이스를 사용하였다. 열교환기 이후 배관은 대기와의 열 교환을 방지하기 위하여 대기에 노출된 부분을 단열처리 하였다.

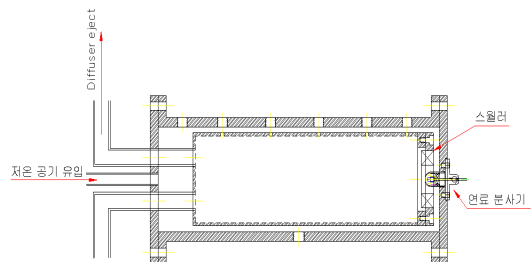


Fig. 1. Schematic of combustor

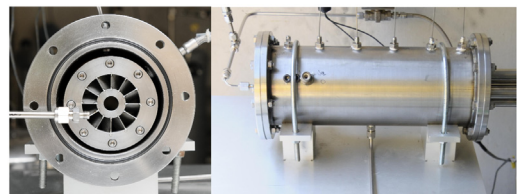


Fig. 2 Swirler and combustor

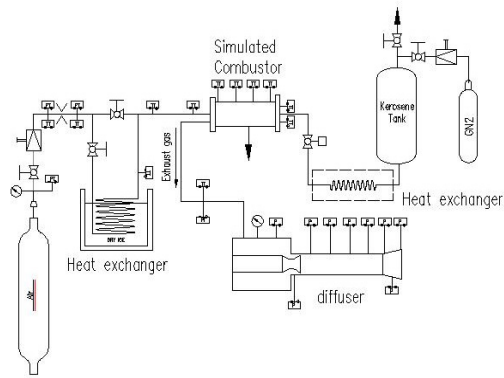


Fig. 3. Schematic of ignition test facility

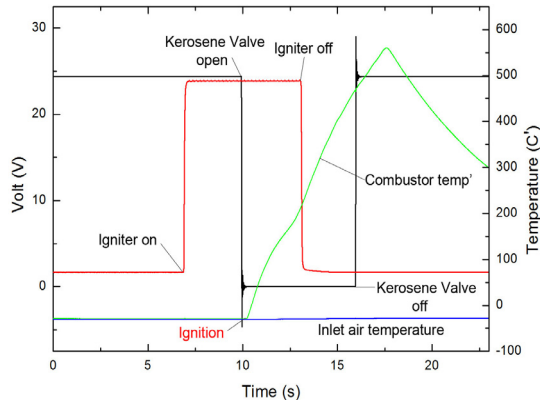


Fig. 5. Sequence of ignition test



Fig. 4. Heat exchanger for low temperature air

2.3 연료 공급설비

소형 가스터빈의 경우 연료의 공급 유량이 매우 작기 때문에, 정밀한 점화루프 데이터를 확보를 위해 연료 유량의 미세한 조절이 필수적이다[2]. 본 연구에 사용된 연료 노즐은 실물형 APU에 사용되는 노즐과 같은 모델로 Fig. 3과 같이 기체질소를 사용한 가압방식으로 연료를 공급한다. 연료로는 케로신을 사용하였고 자동밸브를 통해 최종적으로 연소기에 공급된다.

2.4 점화 시퀀스

점화실험은 Fig. 5와 같은 순서로 진행된다. 데이터 저장을 시작한 후 원하는 공급공기 유량을 수동밸브를 이용해 공급하며, 스윌러 입구에 설치된 공기 온도가 목표 온도에 도달한 후 점화실험을 수행한다. 이후 실험은 자동 시퀀스에 의하여 진행되는데, 스파크 플러그 작동 3초 후 연료 공급이 시작되고 연료공급은 총 6초간 진행된다.

3. 실험 결과

3.1 저온공기 및 연료 공급

본 연구에서는 2g/s 이하로 연료를 공급하고 정밀한 점화 Loop 확보하기 위해 미세조절이 가능한 가압 레귤레이터를 이용하여 연료탱크를 가압하였다. Fig. 6은 이론 연료유량과 실제 측정 유량과의 관계를 통해 계산된 유량계수를 나타내었고, 이 Cd값을 이용하여 연료의 공급량을 예측하였다. Fig. 7은 공기공급 오리피스 전단 압력과 공기유량을 나타내었다. 초킹의 유무는 오리피스 전·후단에 설치한 압력 센서의 압력차를 통해 확인이 가능하고 오리피스 전단 압력을 조절함으로써 공기의 유량을 제어하였다.

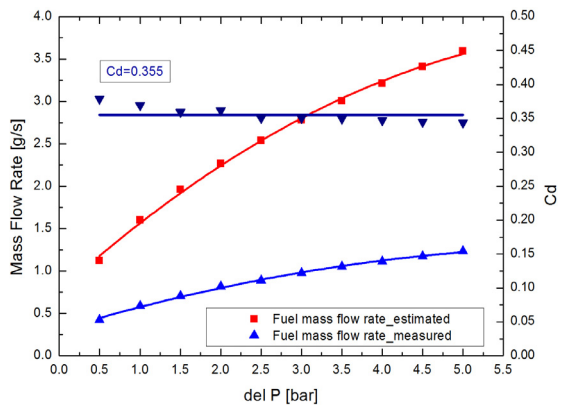


Fig. 6. Fuel mass flow rate

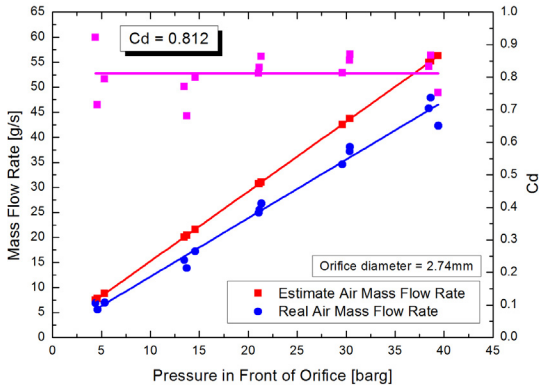


Fig. 7. Air mass flow rate

3.2 점화실험

입구 공기의 온도에 따른 점화특성을 확인하기 위하여 연료노즐 직전의 온도를 20℃, 0℃, -30℃의 조건으로 설정 후 점화실험을 수행하였고, 이때 연소기의 압력은 모두 상압조건을 만족하였다. Fig. 8은 실물형 APU의 점화시 공급 가능한 공기 유량 범위에서, 공기 입구 온도 변화에 따른 점화 가능 한계점을 찾아 점화 loop 곡선을 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 공급 공기의 온도가 낮아질수록, 전체적인 점화가능 영역이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 공기의 공급량이 커질수록 입구 공기 온도가 낮아짐에 따라, 점화 한계 공기과잉률의 차이가 증가하는 현상을 확인하였다.

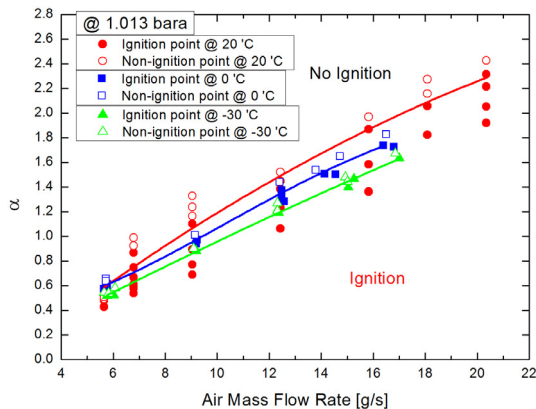


Fig. 8. Ignition test at cold air

4. 결 론

본 연구에서는 가스터빈 연소기의 고공 점화 성능에 대한 기초 연구를 목적으로 고도 22,000ft에 해당하는 대기의 온도인 -30℃의 환경 모사를 위하여 드라이아이스를 냉각제로 사용하는 열교환기를 사용하였다. 열교환기를 통과한 저온 공기와 상온 공기의 혼합비를 조절하여, 원하는 온도 조건을 모사하였다. 저온/상압 조건에서 점화 loop를 확인한 결과 공급 공기온도가 낮을수록 전체적으로 낮은 점화한계점을 갖는 경향을 알 수 있었다. 이는 저온 공기 환경이 연료의 기화에 불리하고 점화 시 더 큰 에너지를 필요로 하기 때문에 나타난 현상으로 파악된다. 이전 연구에서 수행한 상온/저압 실험의 데이터와 비교 결과 고고도 환경의 점화성능에 있어 저압의 영향보다 저온공기가 점화성능에 더 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 추후 연료공급 배관에 저온 열교환기를 설치하여 고고도 환경에서의 점화특성을 종합적으로 관찰할 계획이다[3].

5. 후 기

본 연구는 지식경제부 한국형 헬기 민군겸용 구성품 개발사업(KARI주관) 위탁연구결과 중 일부임.

참 고 문 헌

1. 이강이, 이시우, 김승우, 1996, "APU 개발동향 및 개념설계 절차," 한국항공우주학회지, 24권 제5호, pp. 173-180
2. 고영성, 한영민, 이강엽, 양수석, 이대성 "보조동력장치용 환경 역류형 연소기(TS2) 성능 시험," 대한기계학회논문집 B권, 제 26권 제6호, pp.805-810, 2002
3. 김태완, 이양석, 고영성, 임병준 "가스터빈 연소기 고공환경 모사 실험을 위한 상온/저압 환경에서의 점화 특성 예비 실험," 헬리콥터 심포지움, 2009