

전투기 외장 포드용 ACM의 성능 시험평가

백승윤* · 서자원* · 송덕희* · 김경수* · 홍재표** · 박성순***

Performance Test and Evaluation of ACM for Fighter's External POD

Seungyun Paek* · Jawon Seo* · Deokhee Song* · Kyeongsu Kim* · Jaepyo Hong** · Sungsoon Park***

ABSTRACT

A performance test of an air cycle machine with an air to air heat exchanger was performed. The air cycle machine designed for avionics cooling in a fighter's external pod is a small turbo machine operated on the reverse Brayton air cycle driven by captured ram air which is the source of driving energy and it can be used as cooling fluid going through electronics in the pod during the flight. The air to air heat exchanger was also used to avoid moisture for avionics. The performance test have verified that the developed ACM and heat exchanger meet the design requirements.

초 록

전투기에 장착되는 정보수집용 포드의 냉각 장치인 ACM에 대한 성능 시험평가를 수행하였다. 시험평가 대상인 ACM은 역 브레이튼 공기 사이클로 작동되는 터보기기로서, 항공기의 비행속도에 의한 램 공기를 에너지원으로 사용하여 추가적인 에너지의 공급 없이 냉각 기체를 발생시킨다. 또한 습기에 민감한 전자장비의 냉각에 이용하기 위하여 열교환기를 함께 구성하였다. 성능시험을 통하여 개발 대상 ACM 및 열교환기는 요구 성능을 만족함을 확인하였다.

Key Words: POD(포드), Air Cycle Machine(공기 사이클 기계), Avionics Cooling(항공 전자기기 냉각), Ram Air(램 공기), Performance Test and Evaluation(성능 시험 평가)

1. 서 론

전투기는 보조 연료탱크 대신에 Fig. 1과 같이 정보수집장치용 포드(POD)를 장착하여 영상정보 또는 신호정보의 수집 및 발생을 통해 다양한 전자전에 대비할 수 있다. 이러한 포드는 전투기의 다양한 고도 및 속도 조건에서도 임무 수행이 가능해야 하므로 이를 위해서는 자체 발열을

* (주)뉴로스

** 삼성탈레스(주)

*** 국방과학연구소

† 연락처자, E-mail: sypaek@neuros.co.kr

냉각시킬 수 있는 냉각 장치가 필요하다.

공기 사이클(Air Cycle) 냉각 장치는 항공기의 비행속도에 의해서 자연적으로 발생하는 램 공기(Ram Air)를 에너지원으로 사용하여 역 브레이튼 공기 사이클(Reverse Brayton Air Cycle)로 구동되는데, 추가적인 에너지가 필요 없고 구조가 간단하여 신뢰도가 높은 장점을 가지고 있으며 냉매에 의한 환경오염 문제도 없으므로 친환경적이라 할 수 있다. 그러나 램 공기를 흡입하기 위한 흡입구 형상으로 인해 항공기의 항력이 추가적으로 발생할 수 있고 전자 장비를 냉각하기 위한 요구 성능을 만족하도록 최적 설계가 이루어져야 한다. 또한 공기 사이클 냉각기는 작동 공기를 이용하여 직접 전자 장비를 냉각할 수도 있지만 습기에 민감한 전자 장비에는 열교환기(Heat Exchanger)를 함께 사용할 수도 있다.

공기 사이클 냉각기에 관한 선행 연구는 Grabow와 kazan 등[1],[2]이 군용 항공기에 장착되는 공기 사이클 냉각기의 성능을 다양한 작동 조건에서 해석 및 실험적으로 비교하였으며 공기 사이클 냉각기의 설계 및 시험평가에 대한 연구를 수행하였다.

현재 국내에서는 램 공기로 구동되는 냉동용량 2 kW 급의 포드 냉각 장치가 개발되었는데 개발 요구조건을 만족하도록 설계되어[3] 구성품에 대한 품질 및 환경시험을 실시하였고, 이에 대한 요구 규격을 만족하는 것을 확인하였다.[4]

본 논문에서는 포드 냉각 장치의 핵심 구성품인 ACM에 대한 설계 점 성능시험 평가 내용을 정리하였다.



Fig. 1 Fuel Tank POD on a Fighter

2. 시험평가 대상 및 장치 구성

2.1 시험평가 대상 및 개발 사양

개발 대상인 포드 냉각 장치는 Fig. 2와 같이 핵심 구성품인 ACM과 열교환기 이외에도 열교환기 고온부 공기 순환 팬 및 과냉각 방지를 위한 밸브 류 등으로 이루어져 있으며, 시험평가 대상인 ACM과 열교환기는 설계 점인 지상고도, 마하수 0.8의 비행조건에서 2 kW의 냉각용량을 만족해야 한다[3]. ACM은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 원심 압축기와 구심 터빈이 Back-to-Back으로 연결되는 형식이고 공기베어링을 사용하였으며 열교환기의 형상은 Fig. 4에 나타내었다.

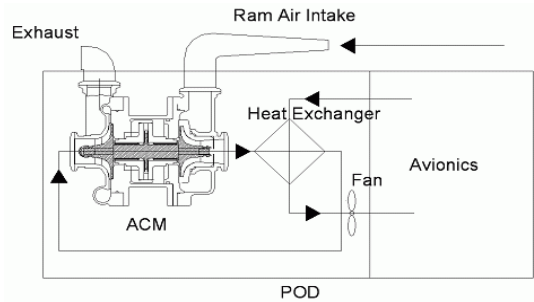


Fig. 2 Schematic diagram of cooling system



Fig. 3 ACM and Rotor assembly

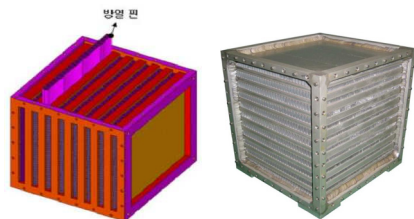


Fig. 4 Heat Exchanger

2.2 성능시험 설비 구성

ACM과 열교환기의 성능시험을 실시하기 위하여 Fig. 5와 같은 시험 설비를 제작하였으며 ISO와 ASME 등에서 제시한 터보기계의 시험평가 측정부에 대한 권고 사항 등을 따랐다. 비행시의 램 에어 모사를 위한 공기 공급 장치인 Supply 1에서 공급되는 공기는 유량계에서 ACM의 요구 유량을 측정하고 ACM의 터빈 입구로 공급되는데, 공기 공급 장치의 Bypass Valve를 조절하여 ACM의 회전속도를 결정하는 터빈 입구 압력과 유량을 조절하게 된다. 터빈을 지난 공기는 열교환기(HX)의 저온부를 거쳐서 압축기로 공급된 후 배기된다. 포트 전자 장비의 열 부하는 Supply 2를 이용하여 모사하며 열교환기의 고온부를 지나면서 열 부하가 처리된다.

Figure 6은 성능시험 설비에 장착된 ACM의 모습을 나타낸다.

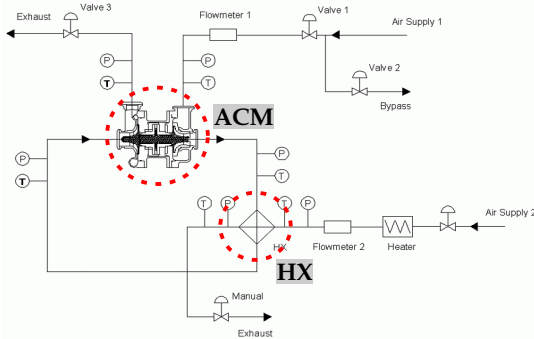


Fig. 5 Schematic of Performance Test for ACM



Fig. 6 Performance Test Setup of ACM

2.3 시험 데이터 수집

성능시험 시 측정된 모든 물리량은 Fig. 7에 나타낸 데이터 수집 시스템(DAS)에 의해 데이터 수집 컴퓨터로 보내지며 Fig. 8과 같이 PC 기반의 Labview를 이용한 GUI 환경으로 구성되어 시험 데이터의 실시간 모니터링 및 저장이 가능하다. 또한 측정 센서 장착이 완료된 시험 장치는 Fig. 9와 같이 전체 설비를 단열하여 외부 조건과의 열전달을 최소화 하였다.

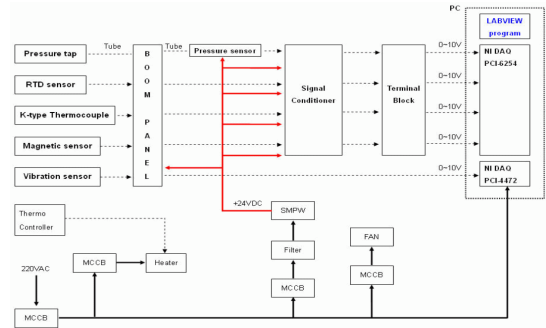


Fig. 7 Data Acquisition System

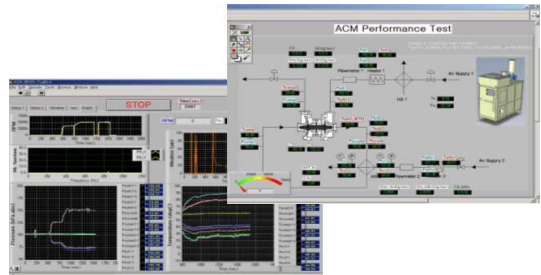


Fig. 8 Monitoring Screen DAS (Labview)



Fig. 9 Performance Test Setup with Insulation

3. 성능시험 결과

3.1 냉각 사이클

ACM의 역 브레이튼 공기 사이클을 T-S 선도로 나타내면 Fig. 10과 같다. 램 에어에 의해 가압된 공기는 터빈에서 팽창되어(1→2) 2(3)에 해당하는 온도로 냉각되고 열교환기 고온부의 열 부하를 흡수하여(3→4) 4(5)에 해당하는 만큼 온도가 상승하게 된다. ACM 내부의 낮은 압력을 압축기를 통해 가압된 후 배기된다(5→6).

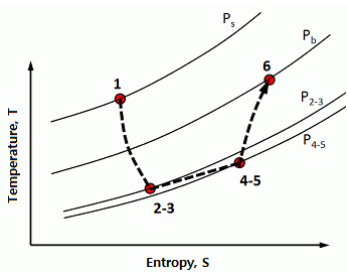


Fig. 10 T-S plot of Cooling System

3.2 설계 점 성능시험 결과

설계 점 성능은 MIL-STD-210A의 Hot Day 대기조건을 바탕으로 지상고도, 비행 마하수 0.8일 때의 온도와 압력을 ACM에 공급하여 확인하였다. 공급 공기의 압력과 온도는 각각 151.8 kPa, 79.2 degC에 해당한다.

전자 장비의 냉각 측면에서, 냉각 용량은 열교환기 고온부의 입, 출구 상태를 확인하면 식 (1)로부터 산정할 수 있다. 고온부의 유량은 0.1 kg/s이며 시험 결과로부터 냉각 용량은 약 2.05 kW를 나타내어 요구 성능을 만족하였다.

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

열교환기의 Effectiveness는 수식 (2)로부터 산정할 수 있으며 T_{L1} 과 T_{L2} 는 각각 고온부 입, 출구 온도를 나타내고 T_2 는 냉각 온도를 나타낸다.

$$\epsilon = \frac{T_{L1} - T_{L2}}{T_{L1} - T_2} \quad (2)$$

열교환 효율을 나타내는 Effectiveness는 비행 마하수에 따른 열교환기 저온부 유량에 따라 흡열량의 차이를 보이게 되며, 설계점에서 약 0.8 정도를 나타내었다.

4. 결 론

램 에어를 이용하여 역 브레이튼 사이클로 구동되는 포드용 공기 사이클 냉각 장치에 대하여 설계 점 성능시험을 수행하였으며 개발된 ACM과 열교환기가 요구 성능을 만족함을 확인하였다. 향후 전투기의 임무수행을 위한 다양한 작동 조건에서도 해석 및 실험적으로 접근이 가능하며 계측 포드를 이용한 실제 비행에서의 시험평가를 통하여 설계 타당성이 검증될 수 있다.

본 ACM 개발 과정에서 확보된 기술은 항공기 환경제어장치(Environmental Control System, ECS)의 국산화 개발에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. R.M. Grabow and Todd W. Kreter, "A Ram Air Driven Air Cycle Cooling System for Avionics Pods," SAE Paper No. 860912, 1986.
2. R.M. Grabow and T.J. Kazan, "Design of a ram driven air cycle cooling system for fighter aircraft pods," AIAA-96-1907, 1996.
3. 김경수, 서자원, 백승윤, 홍재표, 박성순, "전투기 외장용 포드의 냉각기용 ACM 개발," 한국항공우주학회 2009년도 춘계학술대회, 2009, pp.525-528
4. 김경수, 백승윤, 이시우, 김승우, 홍재표, 최두석, 박성순, 구분중, 서송호, "전투기 외장용 포드용 ACM의 개발 시험평가," 한국군사과학기술학회 2009년 종합학술대회, 2009, pp.1635-1638