

Bleed Air 냉각용 열교환기 개발

유경원* · 백낙곤* · 박봉교** · 김준태**

Development of Heat Exchanger for Cooling Bleed Air

Kyoung-Won Yu* · Nak-Gon Baek* · Bong-kyo Park** · Joon-Tae Kim***

ABSTRACT

This study considered the heat exchanger of bleed air from engine. The computational fluid analysis was performed considering the external flow and internal flow on heat exchanger. Using the CFD results, the external configuration and internal flow path of heat exchanger were designed. And also the performance test is conducted and the results of tests were compared with the analysis results.

초 록

본 연구에서는 엔진으로부터 나오는 고온 여압 공기를 냉각시키기 위한 열교환기 개발을 수행하였다. 장착 환경을 고려한 외부 유동 흐름 및 열교환기 내부의 유동과 열전달 특성에 대한 전산해석을 통해 열교환기의 형상 및 유로 설계를 수행하였으며 이를 검증하기 위해 사용 환경 모사 시험을 수행하여, 그 결과를 비교하였다.

Key Words: Heat Exchanger(열교환기), Heat Transfer(열전달)

1. 서 론

공기 흡입식 액체 추진기관을 적용하는 시스템은 보통 다수의 연료 탱크를 보유하고 있으며, 이 연료 탱크들은 배관 등을 통해 연결되어 있다. 각 연료 탱크의 연료들은 미리 정해진 순서에 따라 연료를 사용하게 되며, 각 탱크 사이의 연료 이송은 시스템의 특성에 따라 여러 방법을 적용하게 된다.

연료 이송은 보통 가압 기체를 이용하게 되며,

이 가압 기체를 이용하는 방식은 크게 시스템 내부의 자체 고압 용기에 저장된 질소 가스등을 이용하는 방법과 엔진에서 발생하는 여압의 공기를 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 엔진에서 발생하는 여압의 공기를 이용할 경우에는 여압 공기의 온도에 따라, 여압 공기를 냉각할 필요가 발생하게 되며, 이를 위한 별도의 장치가 필요하게 된다. 냉각을 위한 장치로는 보통 ECS 계통의 열교환기가 적용된다. 항공시스템에 적용되는 구성품은 동일한 성능을 발휘할 경우에는 단순한 구조, 가벼운 중량의 구성품이 효과적이다. 따라서 항공시스템에 적용되는 열교환기의 경우 별도의 냉매를 사용하지 않고 차가운 외부 공기나 유압 시스템의 유압유나 연료 시스템의

* 국방과학연구소 1-5부

** (주)한화 항공우주/기계연구소

연락처, E-mail: abcd@hanmail.net

연료를 이용한 냉각 방식을 많이 적용하고 있다.

본 논문에서는 엔진으로부터 나오는 고온의 여압 공기를 항공기 기체 외부의 공기를 이용하여 냉각하는 열교환기에 대한 설계를 실시하여, 이에 대한 전산해석을 수행하고 그 결과를 환경 모사 시험 결과와의 비교를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 설계 요구조건

본 논문에서 설계한 열교환기의 설계 요구 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Design Requirements

구분		수치
냉각 조건	온도	40 °C
	외부 공기 속도	000 m/sec
입구 조건	압력	17 bar 이하
	온도	458 °C
	유량	30 ~ 90 LPM
출구 조건	온도	150 °C 이하

2.2 1차원 열전달 해석

3차원 전산해석을 수행하기 전에 Fig. 1과 같은 열회로를 이용하여 1차원 해석을 수행하였다. 출구 목표 온도는 설계 요구 조건 보다 낮은 130°C로 하였다. 여기에서 $T_{b,a}$ 는 여압 공기의 온도, $T_{si, b}$ 는 열교환기 내부 유로면의 표면 온도, $T_{so, b}$ 는 열교환기 외부면의 표면 온도, 그리고 $T_{c,a}$ 는 외부 유동의 공기 온도를 의미한다. 에너지 평형에 의해 내부에서의 에너지 전달량은 외부에서의 에너지 전달량과 동일해야 하며, 이는 열교환기에서의 열저항을 무시할 경우 $T_{b,a}$ 와 $T_{si, b}$, 그리고 $T_{so, b}$ 와 $T_{c,a}$ 는 동일한 열전달량을 갖기 위한 열전달 면적을 구하는 냉각 문제로 단순화할 수 있다.

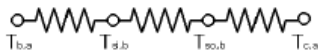


Fig. 1 Thermal Circuit

열회로를 통한 1차원 해석 결과를 통해 전체 목표 냉각량은 약 1400 W인 것을 확인 하였다. 이 열전달량은 외부 표면에서 냉각 공기에 의해 소산해야 하는 양으로, 이는 외부 표면 온도, 속도에 의한 대류 열전달 계수, 열전달 면적에 의해 결정된다. 대류 열전달 계수와 열전달 면적은 설계 요구 조건에 따라 이미 결정된 값이므로, 외부 표면 온도에 따라 전체 외부 표면에 의한 열전달량이 결정된다.

열교환기 내부 유로 직경 3, 4, 5, 6 mm로 변화에 따른 열전달량 변화를 검토 하였고, 검토 결과 내경 6.0mm, 길이 1.15m 일 경우 필요한 양의 열전달이 이루어질 수 있을 것으로 예측되었다.

2.3 형상 설계

본 논문을 통해 개발한 열교환기는 항공기 기체 외부 중에서도 곡면의 형상을 가지는 곳에 장착된다. 따라서 열교환기 자체도 굴곡진 형상이다. 또 열교환기는 고온의 여압 공기가 들어가는 1개의 입구단과 냉각된 여압 공기가 나오는 1개의 출구단으로 구성되어 있다. 열교환기의 외부 형상은 Fig. 2와 같다.

열교환기 내부의 유로는 직경 6 mm이고 Fig. 3과 같이 20 turn을 갖는 폐쇄형 유로이다.

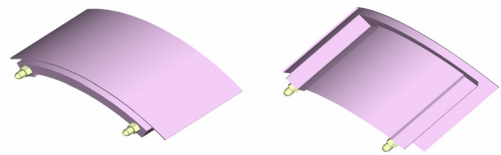


Fig. 2 3D Modeling of Heat Exchanger

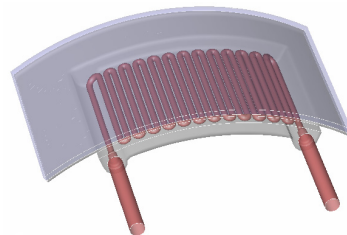


Fig. 3 Internal Flow Path of Heat Exchanger

2.4 3차원 전산해석

3차원 전산해석의 목적은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫째, 환경 모사 시험이 가능한 외부 유동 속도 30, 60 m/sec의 해석 결과를 확보하여 시험 결과와 비교하기 위한 데이터를 얻기 위한 것이다. 둘째, 전산 해석 결과의 신뢰성을 확인하여 환경 모사 시험이 불가능한 속도 구간에서의 열교환기 성능 결과를 전산해석을 통해 예측하기 위함이다.

3차원 전산해석은 상용 프로그램인 Fluent를 사용하여 수행하였으며, 해석 모델 및 경계조건은 Fig. 4와 같다[1].

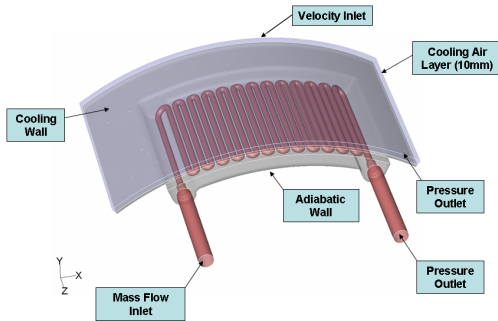


Fig. 4 Analysis Model and Boundary Conditions

환경 모사 시험과의 비교를 위한 전산 해석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Analysis Conditions and Results

해석 조건	주입공기압력(psia)	80	76
	주입 공기량(SLPM)	50	60
	주입 공기 온도(°C)	300	400
	외부 공기 속도(m/sec)	40	60
	외부 공기 온도(°C)	40	60
출구 온도(°C)		69	67

2.5 환경 모사 시험

3차원 전산해석 결과와의 비교를 위하여 외부 유동을 이용한 열교환기 환경 모사 시험을 실시하였다.

외부 유동 모사를 위해서 Fig. 6의 풍동을 사용하였다. 그리고 성능 시험용 열교환기, 풍동과

의 연결을 위한 시험 치구 및 데이터 획득을 위한 각종 센서 등을 이용하여 Fig 7.과 같은 시험 환경을 구축하였다.

환경 모사 시험은 입구 온도 300 °C와 400 °C에서 외부 유동 속도 각각 20, 40, 60 m/sec에 대해서 실시하였다. 시험 시 외부 유동의 속도는 0.5m/sec 이내로 유지 되었다.



Fig. 5 Wind Tunnel



Fig. 6 Performance Test of Heat Exchanger

2.6 전산해석과 환경 모사 시험결과 비교

Fluent를 이용한 전산해석 결과와 환경 모사 시험 결과를 Table 3과 Table 4에 비교하였다. 비교 결과 해석과 시험은 6% 오차 내에서 일치하는 것을 확인 하였고, 이를 통해 고속 환경에서의 전산해석 결과도 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison Result of Analysis and Test at 40m/sec

구분	CFD	Exp.
주입공기압력(psia)	80	
주입 공기량(SLPM)	50	
주입 공기 온도(°C)	300	
출구 온도(°C)	69	51

Table 4. Comparison Result of Analysis and Test at 60m/sec

구분	CFD	Exp.
주입공기압력(psia)	76	
주입 공기량(SLPM)	60	
주입 공기 온도(°C)	400	
출구 온도(°C)	67	55

3. 결 론

본 논문에서는 고온의 엔진 여압 공기를 냉각하기 위한 열교환기에 대한 전산해석과 환경 모사 시험을 수행하였다.

1차원 열전달 해석을 통하여 필요한 열전달량을 도출하고, 이 결과를 형상 설계에 반영하여 열교환기의 내부 유로를 설계 하였다. 또 확정된

형상에 대해서 3차원 전산해석을 통하여 환경 시험 모사 결과와 비교를 위한 데이터를 획득하였다.

그리고 환경 모사 시험을 통하여 시험 결과를 획득하고, 이 결과를 전산해석 결과와 비교하여 전산 해석 결과의 신뢰성을 확인 하여, 고속 환경에서의 열교환기 성능해석도 전산해석을 통해 수행 가능할 것으로 판단되었다.

향후에는 고속 환경에서의 열교환기의 냉각 성능에 대한 전산 해석을 수행하고 이를 실제 비행 시험결과와 비교하고자 한다.

참 고 문 헌

1. FLUENT 6.1 User's Guide, Fluent Inc., 2003.