

초소형 엔진의 윈드밀링 시동 성능 해석

김완조* · 박휘섭* · 노태성**

A study on Windmilling Start Performance of Micro Turbo-jet Engine

Wanjo Kim* · Hwiseob Park* · Tae-Seong Roh**

ABSTRACT

A numerical method for prediction of the Windmilling start performance of micro-turbojet engine has been developed. The method incorporates the available loss correlations and analyses for the estimation of the performance of the major engine components. It has been applied to the micro turbojet engine with the mixed type compressor. The starting performance characteristics on the on/off-design regions have been analysed. Additionally, the sensitivity of each design parameter which has an effect on Windmilling start performance has been analysed.

초 록

본 연구에서는 초소형 엔진의 윈드밀 시동시의 성능을 예측하기 위해 엔진의 주요 구성 부품의 성능의 손실해석을 통한 수치 방법을 개발하였다. 사류형 압축기를 가진 초소형 터보제트 엔진에 이 수치 기법을 적용하여 탈설계점 및 설계점 영역에서 시동 특성을 해석하였다. 또한 각 설계 변수들의 윈드 밀 시동 성능에 영향을 주는 민감도를 분석하였다.

Key Words: Windmilling(윈드밀링), Micro Turbo-jet Engine(초소형터보제트엔진), 사류형, 원심형, Starting Performance(시동성능), Loss analysis(손실해석)

1. 서 론

초소형 터보제트 엔진은 소형, 저가이면서 중량이 작은 구조를 가지면서 고고도까지 넓은 운용범위에서 운용 가능해야 하며 공중 시동이 가

능해야 한다. 이를 위해 강제 시동장치를 사용하지 않고 Windmilling으로 시동하는 방법이 선호된다. 초소형 터보제트 엔진에서는 작은 크기를 구현하기 위해서 사류형 압축기가 사용된다.

사류형 압축기는 원심형 압축기의 장점 및 축류형 압축기의 장점을 동시에 가짐으로서 초소형화에 따른 성능 저하를 보상하는 효과를 낼 수 있다. 그리고 그 해석은 원심형 엔진과 유사할 것으로 예상하고 본 연구를 진행 하였다.

* 인하대학교 대학원 항공공학과

** 인하대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: kimwanjo@hotmail.com

본 연구의 목적은 초소형 제트 엔진의 윈드밀 성능을 예측하기 위한 모델 개발이다. 엔진의 성능을 예측하기 위한 방법으로는 각 구성부품의 성능도를 이용하여 성능을 예측하는 방법과 엔진 내부에서 발생하는 전압력 손실을 예측함으로써 성능을 예측하는 방법이 있다. 그런데 윈드밀 시 엔진을 통과하는 질유량의 범위는 일반적으로 설계점 질유량의 0~17% 범위이다.[1] 그러나 대부분의 압축기 성능 맵에는 이와 같은 작동 영역에 대한 성능이 제시되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 엔진 내부에서 발생하는 전압력 손실을 예측함으로써 성능을 예측하는 방법을 사용하였다. 또한 윈드밀 성능에 영향을 주는 인자들을 분석하고 각 설계 Parameter들의 민감도를 분석하였다.

2. 연구 내용

기본적인 해석 방법으로 엔진 유입 공기와 Nozzle의 질유량은 서로 동일하여야 하며 압축기와 이를 돌리는 터빈의 회전수도 일치하여야 한다. 또한, 터빈 출력, 압축기 입력 및 가용 동력간의 상호 관계가 다음의 해석방법에 만족되어야 한다.

2.1 원심 압축기 해석 방법

임펠러 내의 흐름은 3차원, 비정상, 점성 흐름으로서 매우 복잡하기 때문에 단순 예측 방법으로는 이 흐름을 해석할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 각 손실이 서로 영향을 주지 않는다고 가정하여 각 손실들을 독립적으로 예측한 손실 모델들을 사용하여 성능을 예측하였다.[2]

2.2 연소기 해석 방법

윈드밀 상태에서 연소기의 전압력 손실을 주로 표면 마찰과 난류에 의한 손실이다. 본 연구에서는 전압력 손실량은 7%로 일정하게 가정하고 연소기 출구 압력을 구하였다.

2.3 축류 터빈 해석 방법

축류 터빈에서의 손실 예측은 캐스케이드 실

험 결과로부터 유추·예측된 실험식을 이용하여 예측된다.[3] 축류 터빈의 탈설계 성능 예측 방법에서는 아음속 흐름에서 뒷전 바로 상류의 흐름각은 블레이드 출구각과 같다고 가정하였다. 따라서 이런 흐름각의 성질을 이용하면 유량값에서 계산해 낼 수 있는 축방향 속도 등과 함께 속도선도를 결정할 수 있다. 또, 속도선도를 알면 터빈 동익(rotor)에서의 전엔탈피 저하량(전온도 저하량)을 계산할 수 있다.

2.4 질유량 및 Torque

비행속도, 대기조건이 주어지는 임의의 작동조건에 따른 엔진 내 관통 공기의 유량을 예측하는 것은 실제 엔진이 만들어져 시험을 거치는 단계 이전인 설계단계에서는 간단한 문제가 아니다. 유량을 예측하기 위한 비교적 간단한 방법으로 Mattingly-Oates 방법이 있으나 이 방법은 설계점 근처에서는 적용가능하나 엔진 시동과 같이 설계점에서 멀리 떨어진 영역에서는 적용하기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 노즐의 유량 계산식과 반복 계산을 통해, 회전 부품들의 공기 역학적인 특성과 회전수가 고려될 수 있는 방법으로 엔진 내부를 관통하는 공기유량을 예측하였다.

엔진의 회전 부품에 걸리는 Torque는 단축 엔진의 경우 동력의 균형이 이루어져야 한다. 식 (1)은 윈드밀에 의한 엔진 가속시의 동력 균형을 나타낸다.

$$\dot{W}_{tur} h_{tur} = \dot{W}_{com} h_{com} + (HP)_{ext} + \left(\frac{2\pi}{60}\right)^2 \cdot I_p \cdot N \cdot \frac{dN}{dt} \quad (1)$$

초기 상태에서는 터빈에서 얻는 일이 압축기가 필요로 하는 일보다 크기 때문에 dN/dt 은 0보다 크다. 이로 인해 회전수는 증가하게 되므로, 새로운 작동 상태가 만들어진다. 새로운 작동 상태가 만들어지면 앞서의 유량 계산을 반복함으로써 이 작동상태에 대한 질유량을 재계산 한다.

2.5 민감도 해석

엔진의 Windmilling 특성에 영향을 주는 설계 인자들이 무엇인지 또한 그 영향은 어느 정도인

지를 알아보기 위해 민감도 해석을 병행하였다. 본 연구에서는 운용 조건을 달리하였을 때의 성능, 대기 온도별 성능 그리고 엔진 형상별 성능을 해석하였다.

3. 해석 결과

3.1 운용 조건별 Windmilling 성능 해석

Figure 1, 2는 각각 비행 마하수에 따른 정상상태 도달 시간과 정상상태 회전수를 나타내었다. 엔진 회전수가 정상상태에 도달하는 시간은 마하수가 증가하고 고도가 낮아질수록 줄어드는 것을 알 수 있는데 마하수에 따라 최대 약 300초, 고도에 따라 최대 약 600초의 차이를 보인다. 이는 높은 마하수에서 그에 따른 Ram 압력의 증가로 인해 정상상태 도달 시간이 단축되는

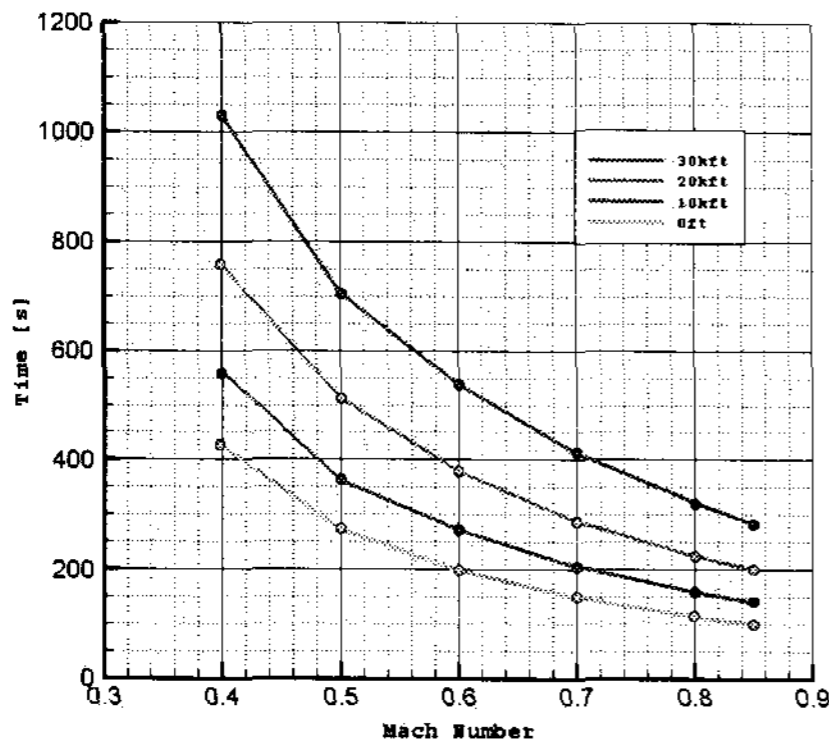


Fig. 1 비행 마하수에 따른 정상상태 도달시간

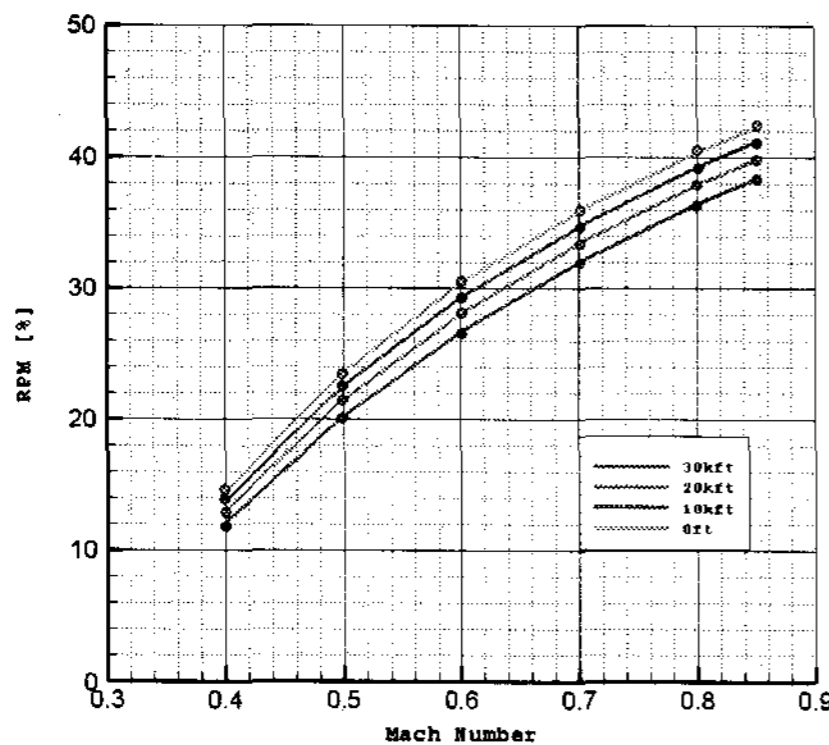


Fig. 2 비행 마하수에 따른 정상상태 RPM

것을 말한다. 반면에 고도가 높아지면 유입 공기의 양이 줄어들어 RPM 증가에 불이익을 가져오게 된다. 비행 마하수가 증가할수록 회전수도 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있고 높은 고도에서는 질유량의 감소로 인해 정상상태 RPM이 줄어든다. 또한 고도가 일정할 때 마하수에 따라 RPM은 약 26% 차이를 보이고 고도에 따라 최대 4% 정도의 차이가 난다.

3.2 대기 온도별 Windmilling 성능 해석

Figure 3, 4는 각각 대기온도 변화에 따른 정상상태 도달 시간과 정상상태 회전수를 나타내었다. 대기온도 변화에 따른 정상상태 도달 시간에 있어서 대기온도가 -40에서 54도 까지 변할

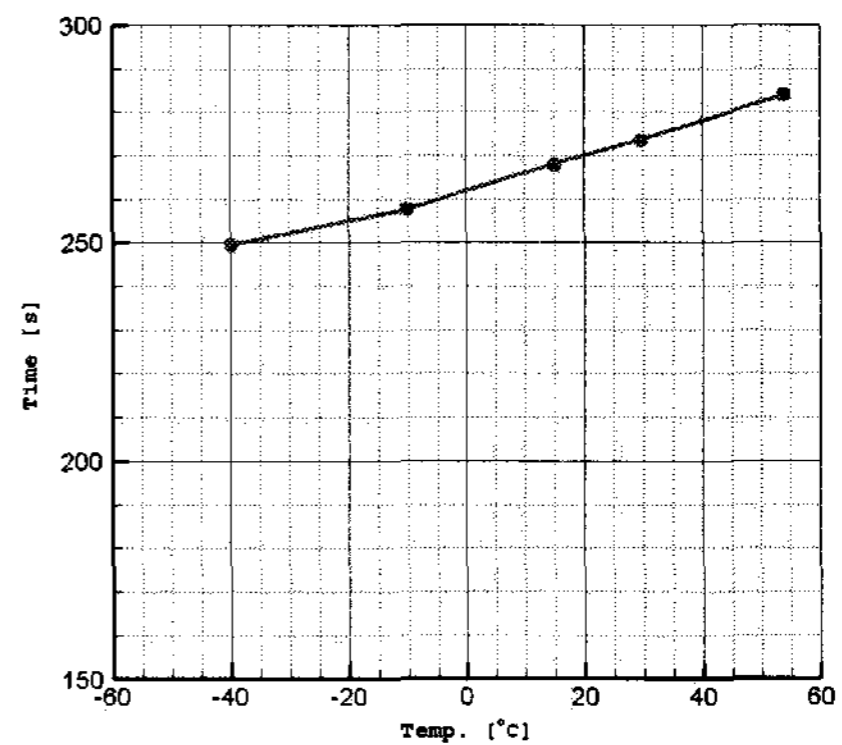


Fig. 3 대기온도 변화에 따른 정상상태 도달 시간(@ S-L, 마하수 0.5)

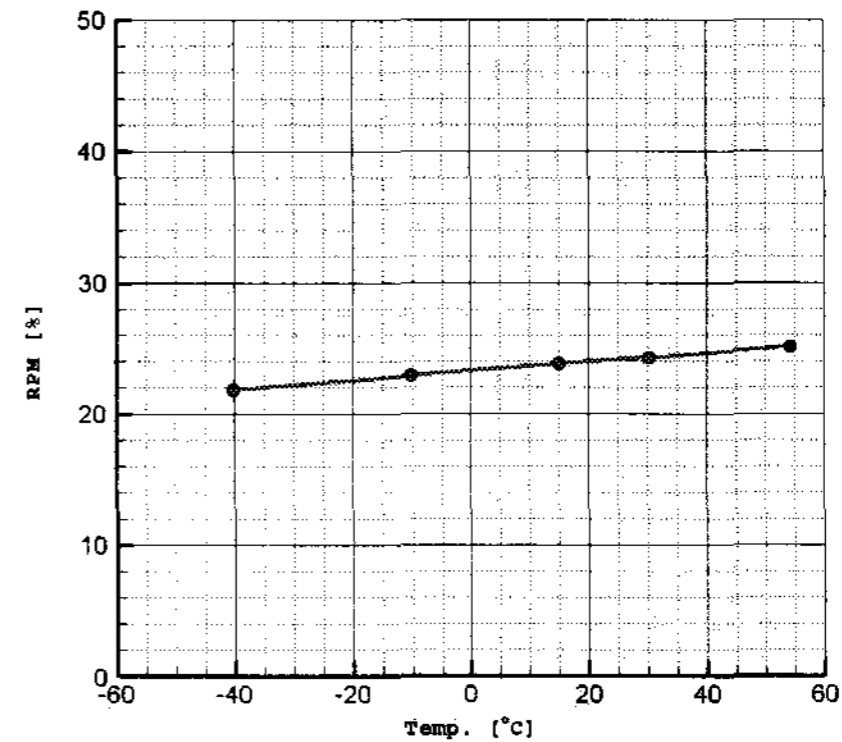


Fig. 4 대기온도 변화에 따른 정상상태 RPM (@ S-L, 마하수 0.5)

때 그 차이는 약 34초 정도였고 대기 온도가 높을수록 정상상태에 도달하는 시간이 오래 걸린다. 이를 통해 윈드밀 시동을 위해서는 보다 낮은 대기 온도가 필요함을 알 수 있다.

3.3 설계 Parameter별 Windmilling 성능 해석

본 해석에서는 각 설계 Parameter들을 몇 가지의 경우로 변화시켜 윈드밀 시동특성에 영향을 미치는 정도를 살펴보았다. 해석 대상으로 임펠러, 디퓨저, 연소실 압력손실, IP(관성모멘트), 배기노즐 등을 변화시켜가며 해석하였고 그 분석 결과는 다음과 같다.

Table 1. Parameter Sensitivity Results

설계 Parameter	+5%	-5%
임펠러 출구 반경	좋아짐	나빠짐
임펠러 블레이드 높이	나빠짐	좋아짐
베인리스 디퓨저 출구 블레이드 각	좋아짐	나빠짐
베인리스 디퓨저 출구 반경	차이 없음	차이 없음
디퓨저 출구 면적	차이 없음	차이 없음
배기노즐 면적	좋아짐	나빠짐
관성모멘트	차이 없음	차이 없음

설계 Parameter	4%	10%
연소기 압력손실	좋아짐	나빠짐

설계 Parameter	-9%	-6%	-3%	+3%	+6%	+9%
디퓨저 입구 베인각	차이 없음					

윈드밀 시동 성능 향상을 위해서는 임펠러 출구 반경, 베인리스 디퓨저 출구 블레이드 각 그리고 배기 노즐 면적이 커지고 임펠러 블레이드 높이, 연소기 압력 손실이 작아져야 함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서 엔진의 주요 구성 부품의 성능의 손실해석을 통한 수치 방법을 개발하여 사류형 압축기를 가진 초소형 터보제트 엔진의 탈설계점 및 설계점 영역에서 시동 특성을 해석하였다. 엔진의 주요 입력 변수에 따른 윈드밀 시동 특성을 예측하였고 민감도 분석을 통하여 형상 변수 및 성능 변수 등의 Parameter들이 윈드밀 시동 특성에 미치는 영향에 대해서도 해석을 하였다.

참 고 문 헌

1. 최민수, 임진식, 홍용식, "A practical method for predicting the windmilling characteristics of simple turbo jet engines," ASME Turbo Asia Conference, November 5-7, Jakarta, Indonesia
2. 유일수, "원심형 제트엔진의 윈드밀 특성", 인하대학교 항공공학과 석사학위논문, 2000
3. 안종철, 홍용식, "축류압축기의 탈설계 성능 예측", 한국항공우주학회, Vol. 12, No3, 1994
4. Cohen, Henry, "Gas Turbine Theory", Longman Scientific & Technical, pp. 111-112