

## 소형가스터빈엔진 시동시간 예측모델 개발

전용민\* · 최종수\*\*

### Development of a Starting Time Prediction Model for a Small Gas Turbine Engine

Yongmin Jun\* · Jongsoo Choi\*\*

#### ABSTRACT

This paper includes a development of a starting time prediction model for a derivative engine. For this derivative engine design, a new map expansion method, Modified Pump Scaling Law(MPS), has been applied and expand the maps to sub-idle range. From loss characteristics of the reference engine, loss models for the derivative engine have been developed considering different pressure, temperature, and engine configurations. Starting time predictions of the derivative engine shows preferable results comparing test results.

#### 초 록

본 논문은 파생형엔진의 설계를 위해 시동시간 예측모델을 개발하는 경우를 다루었다. 파생형엔진 설계를 위해 압축기/터빈의 특성맵을 새로 제안한 Modified Pump Scaling Law(MPS)방법을 사용하여 시동모델링에 필요한 아이들 이하 회전수(sub idle rpm) 영역으로 확장시켰고, 기준엔진의 손실특성에서 압력/온도와 엔진별 특성차이를 고려한 파생형엔진의 손실모델을 도출하였다. 이러한 특성을 반영한 파생형엔진의 시동시간 예측모델은 시험결과와 비교하여 비교적 양호한 결과를 나타내었다.

Key Words: Gas Turbine Engine(가스터빈엔진), Starting Time(시동시간), Characteristic Map Expansion(특성맵 확장), Engine Loss Model(엔진손실모델)

#### 1. 서 론

시동능력을 알 수 있는 시동시간 예측모델은 다양한 방식으로 연구되어 왔으나, 결국 탈설계 영역 예측에 필요한 압축기/터빈 특성맵 확장과

엔진 시스템의 손실모델링에 대한 연구로 요약할 수 있다[1, 2]. 이러한 시동시간 예측모델은 엔진자체의 시동능력을 예측하거나 체계 개발단계에서 2차 계통을 포함한 시동시스템 설계에 중요한 틀로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 파생형엔진의 시동시간 예측모델을 개발하기 위해 파생형엔진의 압축기/터빈맵을 새로 제안한 맵 확장기법으로 확장하였다[3]. 또한 기준엔진의

\* 한국항공우주연구원 터보샤프트엔진팀

\*\* 충남대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: ymjun@kari.re.kr

시동관련 손실특성으로부터 파생형엔진의 손실 모델을 구하고 이를 적용한 시동시간 예측결과를 시험결과와 비교하였다.

## 2. 시동시간 예측모델 개발

### 2.1 특성맵 확장

압축기/터빈의 특성맵을 아이들 이하 영역까지 확장하기 위해 본 저자가 제안한 Modified Pump Scaling Law(MPS)를 Eq. 1과 같이 적용하여 Fig. 1, 2와 같은 결과를 얻었다.

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \mathcal{F} = \text{fn} \left( \frac{Mn_{\text{tangential}_2}}{Mn_{\text{tangential}_1}} \right)$$

$$\Psi/\Psi_{\text{ref}} = \sum_{i=0}^j a_i (\phi/\phi_{\text{ref}})^i \quad (1)$$

$$\eta/\eta_{\text{ref}} = \sum_{i=0}^j b_i (\phi/\phi_{\text{ref}})^i$$

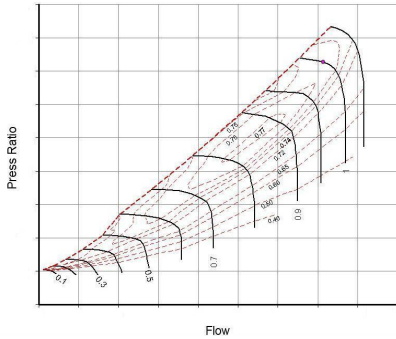


Fig. 1 Compressor Characteristic Map

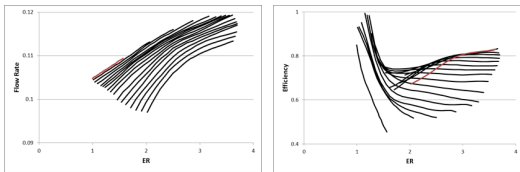


Fig. 2 Turbine Characteristic Maps

### 2.2 손실모델링

본 연구는 Eq. 2와 같은 토크 균형식을 사용하여 엔진의 동역학 모델을 개발하였으며 손실

에 해당하는 항은 기준엔진의 손실특성을 활용하여 개발하였다.

$$I \frac{d\omega}{dt} = Tq_T + Tq_C + Tq_{\text{para, Loss}} + Tq_{PE} + Tq_S \quad (2)$$

기준엔진의 손실항은 엔진 정지시험을 통해 Eq. 3과 같이 도출하였으며, 기준엔진과 파생형엔진의 물리적/운용상의 차이를 반영하여 파생형엔진의 손실을 도출하였다.

$$I \frac{d\omega}{dt} = Tq_{\text{ENG, Drag}} \quad (3)$$

$$= Tq_{\text{aero, Drag}} + Tq_{\text{para, Loss}} + Tq_{PE}$$

압력은 운용고도에 따라 차이가 발생하게 되며 물리적으로는 작동유체의 밀도에 영향을 준다. Eq. 3에서 밀도의 영향을 받는 공력항과 parasitic항은 각각 보정과 압력차이의 1차원 관계식으로 설명된다.

온도는 Eq. 3의 모든 항에 영향을 미치나 축 출력과 관계되는 마찰손실은 절대값이 작고 온도에 따른 마찰변화가 전체 시스템 손실량에 비해 상대적으로 미미하기 때문에 무시할 수 있다. 공력항은 보정으로 그 변화를 반영할 수 있다. 다만 parasitic 손실의 주요 인자인 윤활손실은 저온상태에서 점성이 급격히 증가하는 특성 때문에 50% rpm을 기준으로 Eq. 4, 5와 같은 관계식을 제안하였다.

$$\left( \frac{Tq_{\text{ENG, Drag}_2}}{Tq_{\text{ENG, Drag}_1}} \right)_i = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)_i \quad (N < 50\% \text{ rpm}) \quad (4)$$

$$\left( \frac{Tq_{\text{ENG, Drag}_2}}{Tq_{\text{ENG, Drag}_1}} \right)_i = a \left( \frac{T_2}{T_1} \right)_i + b \left( \frac{\log_{10} \nu_2}{\log_{10} \nu_1} \right)_i \quad (N \geq 50\% \text{ rpm}) \quad (5)$$

이 밖에도 엔진 손실모델에 영향을 줄 수 있는 인자는 터보기계류의 동역학 특성, 시스템 증량 및 윤활시스템 특성이 있으나 파생형엔진은 기준엔진에 비해 상기 항목이 크게 변화하지 않는 특징이 있기 때문에 정성적인 해석결과, 극관성모멘트를 제외한 상기 특성의 영향성을 무시할 수 있다고 판단하였다.

### 2.3 시동시간 예측결과와 시험결과 비교

Figure 1, 2의 확장된 압축기/터빈 특성맵과 Eq. 3으로 도출한 손실모델을 사용하여 파생형 엔진의 시동시간을 예측한 결과와 동일 엔진의 시동시험결과를 Table 1, 2에서 나타내고 있다.

Table 1. Engine Shutdown Results

	Test[sec]	Prediction[sec]
Case 1	16.7	13.2
Case 2	22.6	13.6

Table 2. Engine Startup Results

	Test[sec]	Prediction[sec]
Case 1	13.8	12.2
Case 2	14.1	13.7

### 3. 결 론

정지시간 예측과 시동시간 예측결과를 분석한 결과, 다음과 같은 2가지 오차의 원인을 추정할 수 있었다.

- (1) 손실모델링 과정에서 parasitic 손실이 과다 산정되어 실제보다 더 빨리 정지하는 것으로 예측하게 됨
- (2) 시동모델에 열전달이 모델링되지 않아 초기 시동에너지의 일부가 구조물 가열로 소모되는 것을 고려하지 못하여 실제보다

더 빠른 시동시간을 예측하게 됨

향후 이상의 두 가지 오차 원인을 개선하여 보다 정확한 시동시간 예측모델로 발전시킬 계획이다.

### 후 기

본 연구는 2011년도 한국항공우주연구원 항공우주기술시드사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Agrawal, R.K. and Yunis, M., "A Generalized Mathematical Model to Estimate Gas Turbine Starting Characteristics", Journal of Engineering for Power, Vol. 104, 1982, pp.194-201
2. Claus Riegler, Michael Bauer, Joachim Kurzke, "Some Aspects of Modelling Compressor Behavior in Gas Turbine Performance Calculations", Proceedings of ASME Turbo EXPO 2000, 2000-GT-574
3. 전용민, 최종수, "저속영역으로의 압축기 특성맵 확장기법연구" 한국추진공학회지, 제15권, 제5호, 2011, pp.54-59