

## 항공기 소형 엔진 시험 장치의 구조 설계 및 해석 연구

백경미<sup>1</sup> · 박현범<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>(주)EGT

<sup>2</sup>호원대학교 국방과학기술학부 항공시스템공학 전공

### A Study on Structural Design and Analysis of Small Engine Test Equipment for Use in Aircraft

Kyeongmi Back<sup>1</sup>, Hyunbum Park<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>EGT Co., Ltd.

<sup>2</sup>Dept. of Defense Science & Technology-Aeronautics, Howon University

#### Abstract

The subject of this study dealt with the structural safety analysis regarding the measured thrust test equipment as noted on a small engine. In this work, the structural design and analysis of steel and aluminum alloy structure for a small engine test of equipment were performed. Firstly, the structural design requirements of the engine test equipment were identified and investigated. After the structural design was reviewed, next the structural analysis of the engine test equipment was performed by the utilization of the finite element analysis method. The study was performed to determine that the stress and displacement analysis was appropriately managed regarding the applied load condition. As a result, it was determined that through the structural analysis, this study has confirmed that the designed engine test equipment is approved for safety, and meets its design purpose at this time.

#### 초 록

본 연구는 소형 엔진 추력 시험 장비에 대한 구조의 안전성 해석에 관한 연구이다. 본 연구에서 소형 엔진 시험 장치를 위한 철강 및 알루미늄 합금 적용 구조의 설계 및 해석을 수행하였다. 1차적으로 엔진 시험 장치의 구조 설계 요구 조건이 분석되었다. 구조 설계 이후 유한 요소 해석 기법을 활용하여 엔진 시험 장치의 구조 해석이 수행되었다. 적용 하중 조건에서 응력 및 변위 해석이 수행되었다. 최종 구조 해석을 통해 설계된 엔진 시험 장치 구조는 안전한 것으로 확인되었다.

**Key Words :** Engine Test Equipment(엔진 시험 장치), Structural Design(구조 설계), Finite Element Method(유한요소법), Structural Analysis(구조 해석)

### 1. 서 론

항공 기술이 발전해 가면서 안전성 문제가 중요시 되고 있다. 최근 조종사의 안전성 등을 고려하고, 정찰 용 등으로도 활용이 가능한 무인 항공기 연구가 활발 해지고 있다[1]. 또한 드론 연구도 다양하게 연구되고

있기 때문에 소형 항공기 등에 적용이 용이한 소형 엔진 연구도 활발하게 연구되고 있다.

본 연구를 위하여 무인 항공기 및 소형 항공기용 엔진에 관한 선행 연구 결과를 분석하였다. 국외에서는 고정 날개가 장착된 UAV의 프로펠러 엔진 성능에 대한 연구가 수행된 바 있다[2]. 2016년에 에너지 해석 기법을 활용한 소형 가스 터빈 엔진의 성능에 대한 열역학적 해석 연구가 수행되었다[3].

국내에서는 2009년에 소형 가스터빈 엔진 실험 데

Received: Sep. 19, 2017 Revised: Nov. 12, 2017 Accepted: Nov. 15, 2017

† Corresponding Author

Tel: +82-63-450-7727, E-mail: swordhip@daum.net

© The Society for Aerospace System Engineering

이터를 이용한 역모델링 연구를 수행한 바 있다[4]. 2013년에 고고도 장시간 체공 무인기에 적용될 터보팬 엔진에 대하여 고장 진단 연구가 수행되었다[5]. 공창덕 등은 SIMULINK와 LabVIEW를 이용한 소형 터보제트 엔진의 실용 통합 상태 진단 시스템 개발 연구를 수행하였다[6]. 2017년에 비선형 특성을 갖는 무인기용 소형 터보 제트 엔진의 운행 중 발생하는 결함을 효과적으로 탐지하는 방안에 대한 연구가 수행되었다[7]. 또한 소형 무인기의 기체 구조 연구는 다양히 수행되었다[8-9]. 선행 연구 분석 결과 엔진 자체에 대한 연구는 다양하게 수행되었으나 소형 엔진의 추력 측정 등을 위한 전문적인 엔진 시험 장치에 대한 연구는 미흡한 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 i-Complete사의 i-Jet 130 소형 터보제트 엔진 시험을 위한 엔진 고정 장치의 구조 설계 및 해석 연구를 수행하였다. 엔진 장착을 위한 설계 요구 조건을 분석한 후 유한 요소 해석을 통해 구조 안전성을 평가하였다.

## 2. 구조 설계 요구 조건

본 연구에서 소형 가스터빈 엔진을 사용하여 추력 측정 장치를 구성하기 위한 엔진 시험 장치에 대한 구조 설계 및 해석을 수행하였다.

본 시험 장치에 적용된 엔진은 소형 터보제트 엔진으로 주로 Radio Control 소형 항공기의 추진 장치로 사용되고 있다. 엔진 내부는 1단 원심 압축기, 연소실, 1단 축류 터빈으로 구성되어 있다.

엔진 시험 장치는 추력대를 지지하고, 엔진 시험 과정에서 발생하는 위험을 방지하기 위한 안전 보호 케이스 역할을 한다. 또한 고온의 배기가스를 안전하게 배출하는 역할을 한다. Fig. 1에 엔진 시험 장치의 구조를 명시하였다.

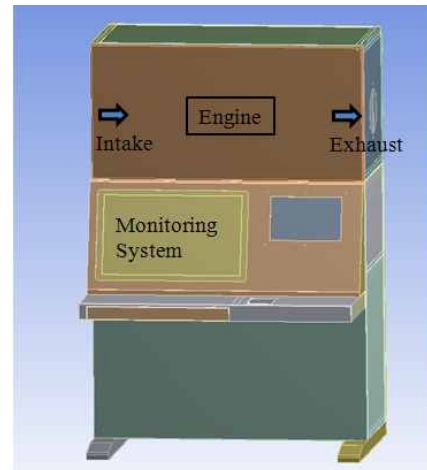


Fig. 1 Structural configuration of engine test fixture

본 연구에서 스틸과 알루미늄 재질이 적용된 소형 엔진 시험 장치의 구조 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다. 구조 해석은 상용 유한 요소 해석 소프트웨어를 활용하여 구조 해석을 수행하였다. 구조 설계는 2가지 경우로 설계되었다. 두께 1.6mm의 스틸이 절곡 및 용접된 경우, 알루미늄 합금이 골격을 구성하고 두께 1.2mm 스틸이 조립된 경우로 설계 되었다. 구조 설계를 위해 적용된 금속재 재질은 상용화된 제품의 일반 물성치를 적용하였다. Table 1에 적용된 재료의 기계적 물성치를 명시하였다. 구조 설계 이후 각각의 경우에 응력 해석 및 변형 해석 총 2가지의 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다.

구조 설계 요구 조건을 분석한 결과 시험 장치 하부 바퀴를 고정하고 바닥과 볼트로 체결하여 시험 중 고정 지지가 되는 경계 조건이다. 적용 하중을 분석한 결과 시험 엔진의 추력은 132N, 220N, 352N의 총 세 가지 하중이 적용되는 구조이다.

Table 1 Mechanical properties of applied materials

Material	Steel	Al Alloy 2024
Elasticity of Modulus	200 GPa	71 GPa
Tensile Strength	460 MPa	310 MPa

## 3. 구조 해석

본 연구에서 시험 장치의 구조 안전성 평가를 위하여 유한 요소 해석 모델을 생성한 결과를 Fig. 2에 명시하였다. 구조 해석을 위한 유한 요소 모델의 격자는 1,592,737개가 적용되었다. 구조 해석에 적용된 하중은 구조물의 자중이 고려되고, 엔진 추력 중에서 최대인 352N의 하중에 안전율 1.5가 적용되었다. Table 2에 적용 하중을 명시하였다. 구조 해석은 2가지 설계 결과를 반영하여 2가지 경우로서 두께 1.6mm의 스틸이 절곡 및 용접된 경우, 알루미늄 합금이 골격을 구성하고 두께 1.2mm 스틸이 조립된 경우이다. 각각의 경우에 응력 해석 및 변형 해석 총 2가지의 해석을 수행하였다.

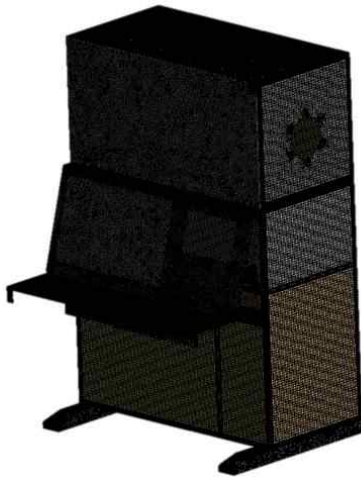
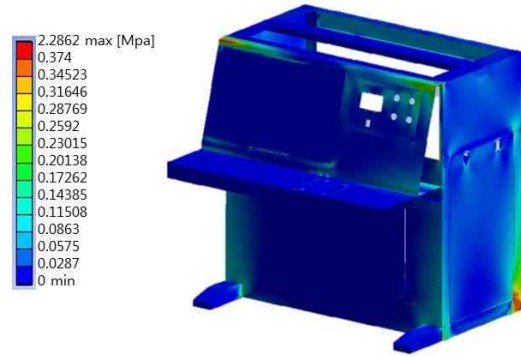


Fig. 2 FEM modeling results

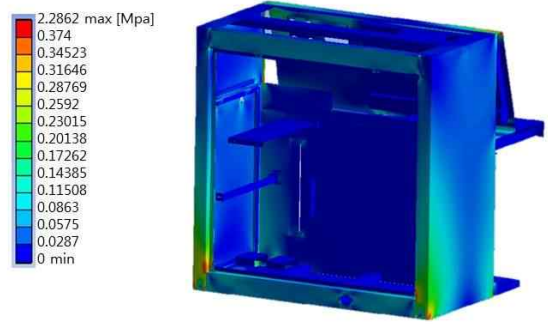
Table 2 Load cases

Load Case 1	1.6mm steel
Load Case 2	Al alloy profile (20mm × 20mm), 1.2mm steel
Applied Load	80lbf × 1.5(Safety Factor)

엔진 시험 장치의 구조 설계 조건 1에서 전체 하중이 적용되는 경우의 구조해석 결과 최대 응력은 2.28 MPa로서 충분히 안전한 것으로 검토되었다. 변형 해석 결과는 엔진 장착 부위에서 9.69 $\mu$ m로 검토되어 엔진 시험 장치와 결합되었을 때 변형도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. Fig. 3~4는 구조 해석을 통한 응력, 변형 해석 결과를 보여주고 있다.



(a) Stress contour of front part



(b) Stress contour of rear part

Fig. 3 Stress contour of load case 1

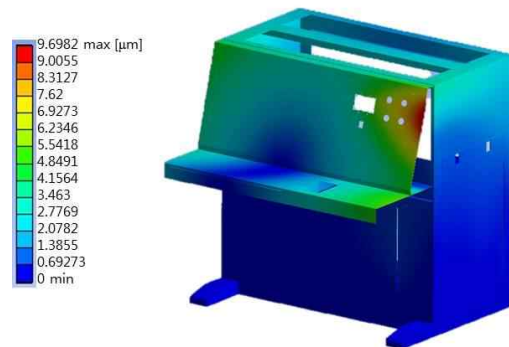
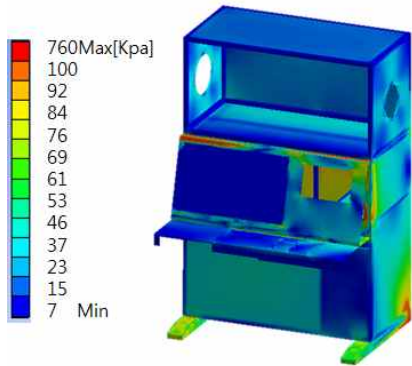


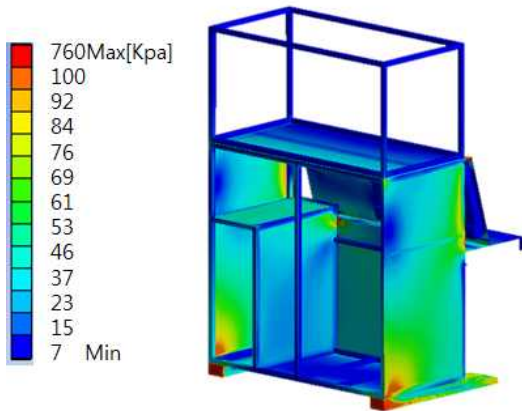
Fig. 4 Displacement of load case 1

엔진 시험 장치의 구조 설계 조건 2에서 전체 하중이 적용되는 경우의 구조해석 결과 최대 응력은 0.76 MPa로서 충분히 안전한 것으로 검토되었다. 변형 해석 결과는 엔진 장착 부위에서 4.04 $\mu$ m로 검토되어 엔진 시험 장치와 결합되었을 때 변형도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. Fig. 5~6은 구조 해석을 통한 응

력, 변형 해석 결과를 보여주고 있다.



(a) Stress contour of front part



(b) Stress contour of rear part

Fig. 5 Stress contour of load case 2

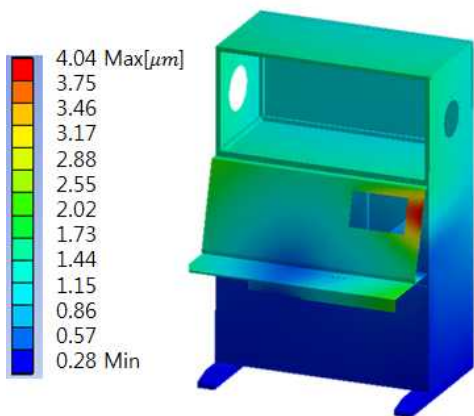


Fig. 6 Displacement of load case 2

본 연구에서 스틸 구조와 알루미늄 합금이 적용된 엔진 시험 장치의 구조 해석을 수행하여 구조 안전성을 검토하였다. 구조 해석은 유한 요소 기법을 활용하

여 구조 해석을 수행하였다. 구조 해석은 2가지 경우로서 두께가 다른 형상에 최대 엔진 추력 하중이 적용되었다. 각각의 경우에 응력 해석, 변형 해석 총 2가지의 해석을 수행하였다.

본 연구에서 구조 설계 기준은 적용된 재료의 항복 강도 내에서의 응력과 항복 강도 내에서 변형률 범위가 충분히 안전율을 확보하고 있는지 검토하였다. 구조 해석 결과 최대 응력 및 변형이 발생하는 부위는 모니터링 시스템이 장착되는 부위의 우측 상단 부분이다. 이 부분은 얇은 박막 구조로 최대 응력이 발생하였다. 구조적으로 엔진 장착이 직접 연결되는 연결부위가 아니며, 재료의 항복 강도 이내에서 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 따라서 최대 하중에서 구조 해석 결과 전체 하중이 적용하는 경우 응력 및 변형 해석 결과 안전한 구조인 것으로 검토되었다.

구조 설계 조건 1의 경우는 스틸 구조 판넬 부분이 하중을 받아주어 응력 및 변위가 구조 설계 조건 2 보다 다소 높게 나온 것으로 확인되었다. 알루미늄 프로파일이 적용된 경우는 프레임 부분이 보강되는 구조가 되어 응력 및 변위가 낮게 나온 것으로 확인되었다. 따라서 본 구조물은 경량화 및 두께 절감을 위해서 구조 설계 조건 2의 경우로 설계해도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. Table 3에 구조 해석 결과를 비교하여 제시하였다.

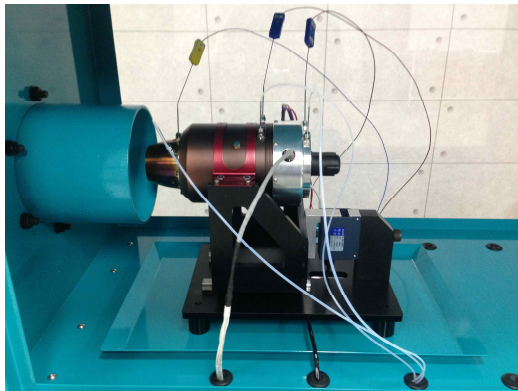
Table 3 Structural analysis results

Load Cases	Stress	Displacement
Load Case 1	2.28 MPa	9.69 μm
Load Case 2	0.76 MPa	4.04 μm

### 3. 제작 및 시험

본 연구를 통한 구조 해석 결과를 반영하여 엔진 시험 장치를 제작한 후 엔진 시험을 수행하였다. 엔진 시험 장치에는 상태 진단 시스템이 탑재되어 있다. 소형 터보 제트 엔진 시험 장치와 NI(National Instruments)사의 LabVIEW를 이용한 상태 모니터링

프로그램이 적용되었다. 시험 장치에서 모니터링 및 수집 되는 데이터는 압축기 입구 온도와 압력, 압축기 출구 온도와 압력, 터빈 출구 온도와 압력, 공기 속도, 연료 유량, 추력 이다. 여기에서, 계측된 공기 속도는 흡입 공기 유량 계산에 적용된다. Fig. 7은 제작된 시험 장치를 활용하여 엔진 추력 측정을 수행하고 있는 장면이다. 최대 추력 하중에서 다양한 엔진 시험 결과 구조적 안전성을 충분히 확보한 시험 장치인 것으로 검토되었다.



**Fig. 7** Thrust test after manufacturing of engine test fixture

#### 4. 결 론

본 연구에서 소형 엔진 시험 장치로 적용된 엔진 고정 장치의 구조 설계 및 해석 연구를 수행하였다. 엔진 고정 장치는 엔진의 추력과 적재물의 하중을 받는 구조이다. 최대 적재 하중과 최대 엔진 추력을 분석하여 안전율 1.5를 적용하고 구조 설계 및 해석을 수행하였다. 구조 해석은 유한 요소 해석 기법을 활용하여 응력 및 변형 해석을 수행하였다. 스틸 구조물과 알루미늄 및 스틸 혼용 구조의 구조 설계 결과에 대한 구조 해석을 수행하였다. 2가지 설계 결과의 응력 및 변형 해석 결과 안전한 구조인 것으로 검토되었다. 최종 시험 장치 제작 후 엔진 추력 시험을 통해 엔진 지지 구조가 안전한지 확인하였다.

#### References

[1] Yi-Rui Tang, Xiao Xiao, Yangmin Li, "Nonlinear

dynamic modeling and hybrid control design with dynamic compensator for a small-scale UAV quadrotor," *Measurement*, vol. 109, pp. 51-64, 2017.

- [2] Umair Ahsun, Tabish Badar, Shiraz Tahir, Saeed Aldosari, "Real-time identification of propeller-engine parameters for fixed wing UAVs," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, pp. 1082-1087, 2015.
- [3] Cem Tahsin Yucer, "Thermodynamic analysis of the part load performance for a small scale gas turbine jet engine by using exergy analysis method," *Energy*, vol. 111, pp. 251-259, 2016.
- [4] C. Kong, S. Lim, "A study of inverse modeling from micro gas turbine experimental test data," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, vol. 13, no. 6, pp. 1-7, Dec. 2009.
- [5] C. Kong, M. Kang, G. Park, "Study on fault diagnostics considering sensor noise and bias of mixed flow type 2-spool turbofan engine using non-linear gas path analysis method and genetic algorithms," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 8-18, Mar. 2013.
- [6] C. Kong, S. Kho, K. Park, G. Park "Development of practical integral condition monitoring system for a small turbojet engine using SIMULINK and LabVIEW," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, vol. 17, no. 1, pp. 80-88, Feb. 2013.
- [7] D. Han, "Fault detection of small turbojet engine for UAV using unscented Kalman Filter and sequential probability ratio test," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 22-29, Aug. 2017.
- [8] Y. Park, J. Im, J. Park, "Damage Tolerant Design for the Tilt Rotor UAV," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 27-36, Sep. 2007.
- [9] H. Hwang, S. Heo, J. K, J Bae, "Aircraft design and manufacturing for UAV," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 38-43, Dec. 2008.