

항공기 엔진 구성품 내부 구조 설계에 대한 구조 안전성 평가

박현범^{1,†}¹군산대학교 기계공학부

Evaluation of Structural Integrity about Structural Design for Internal Components of Aircraft Engine

Hyunbum Park^{1,†}¹School of Mechanical Engineering, Kunsan National University

Abstract

In this work, the structural integrity was investigated of the structural design results of internal components for the aircraft engine. The radiator and intercooler were combined with the internal components of the engine. Therefore, the safety of the radiator and intercooler was investigated during flight conditions. The structural integrity was evaluated through structural analysis, using the finite element analysis method. The acceleration load for structural design and analysis was considered. The structural safety evaluation found the structural design results to be valid.

초 록

본 연구에서 항공기 엔진 내부 구성품의 구조 설계 결과에 대한 구조 안전성 평가 연구를 수행하였다. 엔진 내부 구성품에 라디에이터와 인터쿨러가 장착된다. 따라서 비행중에 라디에이터와 인터쿨러의 안전성을 검토하였다. 구조 해석을 통해 구조 안전성을 평가하였다. 구조 해석 기법은 유한 요소 해석 기법을 활용하였다. 구조 설계 및 해석을 위하여 가속도 하중을 고려하였다. 구조 안전성 평가 결과 구조 설계 결과는 타당한 것으로 확인되었다.

Key Words : Structural Design(구조 설계), Structural Analysis(구조 해석), Structural Integrity(구조 안전성), Engine Component(엔진 구성품)

1. 서 론

항공기 엔진의 추진계통은 추력을 발생시키는 주요 엔진이 장착되며 외부에는 엔진으로 유입되는 공기 흡입구가 장착된다. 프로펠러 형태의 추진기관은 외부에 프로펠러가 추가로 장착된다. 또한 내부 구성품을 살펴보면 열교환기 덕트와 함께 인터쿨러 및 라디에이터

가 함께 결합되는 구조가 된다. 엔진 공기 흡입구의 경우에는 엔진이 요구하는 성능을 충분히 만족시켜야 하며 운용 조건하에서 요구되는 공기를 흡입하여 공급시켜야 한다. 항공기가 가속도 조건으로 극한 상황에서 비행하게 되면 내부에 장착되어 있는 라디에이터나 인터쿨러 등의 구조물이 파손되지 않고 비행 가능한지 검토해야 한다. 따라서 본 연구에서는 대상 항공기 내부에 장착되는 구조 형상을 분석하여 구조 안전성 평가를 수행하였다. 본 연구에 앞서 항공기 엔진 구조 안전성에 관한 선행 연구에서 외부 장착 구조물의 구조 안전성 평가를 수행하였다[1]. 본 연구에서는 선행

Received: Apr. 01, 2023 Revised: Apr. 27, 2023 Accepted: May 01, 2023

† Corresponding Author

Tel: +82-63-469-4729, E-mail: swordship@kunsan.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

연구에서 분석한 비행 하중 조건을 적용하여 항공기 내부 장착 구조물이 해당 조건에서 안전한지 유한 요소 해석 기법을 활용하여 구조 해석을 통해 분석하였다.

본 연구를 위해 선행 연구를 분석 하였다. 국외의 엔진 흡입구 연구 동향을 살펴본 결과 항공기 흡입구에 고도가 변함에 따라 결빙이 되었을 때 이러한 부분을 해결하기 위한 해석 모델에 대한 연구가 수행된 바 있다[2]. 대부분 수치 해석에 대한 연구가 많이 수행되었는데, 공기 흡입구의 다양한 파라미터에 대해 분석하여 수치 해석을 수행한 논문이 제시되었다[3]. 또한 항공기의 공기 흡입구 개념 설계에 대한 연구도 수행된 바 있다[4]. 많은 논문들이 외부 형상에 대한 연구로 본 연구에서는 차별화하여 내부 구성품의 안전성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 하중 분석

본 연구에서 설계 결과에 대한 구조 해석을 위해 설계에 적용된 비행 하중을 분석하였다. 비행 하중은 극한 상황을 고려하여 x축, y축, z축 세 축에 대해 가속도 하중 레벨을 결정하였다. 전방 +x방향으로 20G, 우측 방향 +y 방향으로 20G, 아래 방향 -z 방향으로 6G, 아래 방향 +z 방향으로 3G, 우측 방향 +y 방향으로 2G의 하중 조건을 적용하였다. Fig. 1은 비행체의 가속도 방향 성분을 표시한 그림이다. Table 1에 가속도 하중 조건을 각 축방향으로 제시하였다. 총 6개의 하중 조건으로 분석되었다. 각 하중에는 최종 안전율 1.5가 추가되었다.

Table 1 Acceleration Load Cases

Load cases	Acceleration
Load case 1	z axis -6G
Load case 2	z axis +3G
Load case 3	y axis +2G
Load case 4	x axis +20G
Load case 5	y axis +20G
Load case 6	z axis +20G

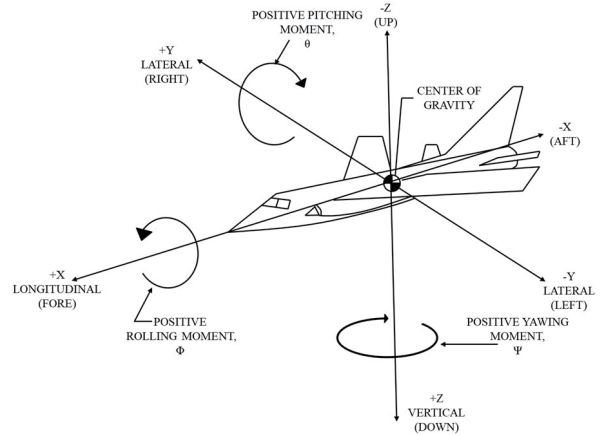


Fig. 1 Typical Direction of Vehicle Acceleration

3. 구조 해석

엔진 내부 구성품은 인터쿨러와 라디에이터로 두 구조물이 비행 하중 하에서 안전한지 검토하였다. 본 구조 해석 대상인 라디에이터의 구조 형상을 분석하여 유한 요소 해석을 위한 모델링을 수행하였다. 구조 해석을 위하여 생성된 총 요소수는 52,932개로 생성되었다. 적용된 요소는 소프트웨어 매뉴얼을 참조하여 3절점 요소와 4절점 요소를 적용하였다[5]. 경계조건은 연결부위를 고정으로 경계 조건을 적용하였다. 하중 분석을 통한 가속도 하중 조건을 적용하였으며, 각각의 하중에 안전율 1.5를 적용하여 구조 해석을 수행하였다. Fig. 2는 구조 해석을 위한 유한 요소 모델링 수행 결과이다. 적용된 재료는 AL 7075-T651 재료이다. Table 2에 적용 재료의 기계적 물성치를 제시하였다. 라디에이터의 구조 해석은 열응력을 고려하여 해석을 수행해야 하지만 본 연구에서는 열응력 영향이 작아서 이에 대한 부분은 고려하지 않았다.

구성품의 z 방향으로 -6G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 8.399MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 3.3E-2mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. z 방향으로 +3G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 5.776MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 2.3E-2mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. y

방향으로 +2G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 4.581MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 4.3E-1mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. x 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 17.358MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 1.6E-2mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. y 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 22.978MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 9.3E-3mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. z 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 89.413MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 6.0E-2mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. Fig. 3에 최대 응력인 하중 케이스 +20G 가속도 경우의 응력 해석 결과와 변위 해석 결과를 제시하였다. Fig. 4는 최대 응력 해석 결과에 따른 변위 해석 결과이다.

Table 2 Mechanical Properties of Structure

Young's modulus	7.1E+ 10 Pa
Poisson's ratio	0.3
Tensile yield strength	2.8E+ 08 Pa
Tensile ultimate strength	7.1E+ 08 Pa

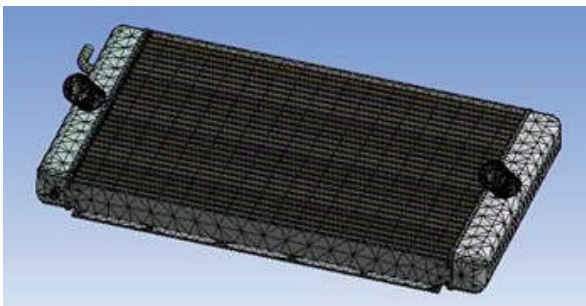


Fig. 2 Finite Element Modeling of Radiator

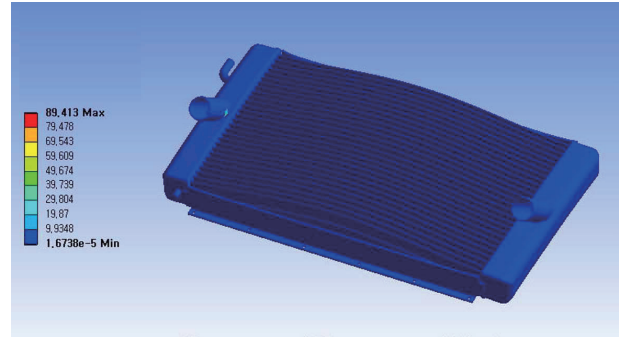


Fig. 3 Stress Analysis Results of Radiator

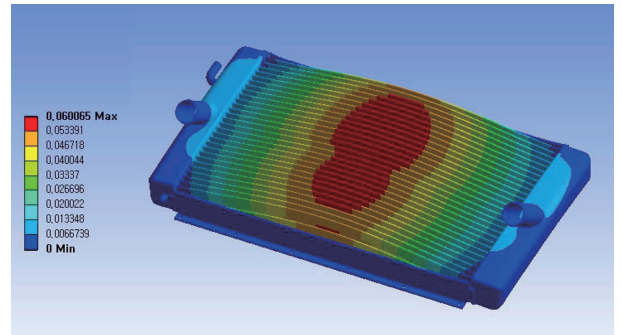


Fig. 4 Displacement Analysis Results of Radiator

엔진 내부 구성품 중에서 먼저 라디에이터 구조물의 구조 안전성을 평가한 후 인터쿨러에 대한 구조 해석을 수행하였다. 구조 해석을 수행하기 위해 구조 형상을 분석하여 유한 요소 해석 모델을 생성하였다. Fig. 5에 유한 요소 모델을 제시하였다. 구조 해석을 위해 생성된 총 요소수는 52,046개가 적용되었다. 경계조건은 구조물 연결 부위를 고정하였다. 적용 하중은 자중과 가속도 조건을 적용하였다. Table 1과 동일한 가속도 하중 조건을 각 축방향으로 적용하였다.

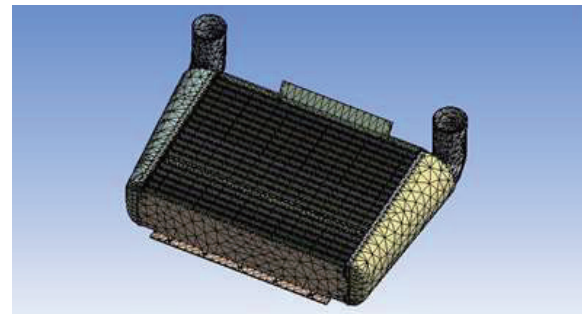


Fig. 5 Finite Element Modeling of Intercooler

구조물의 z 방향으로 -6G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 5.438MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 0.01mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. z 방향으로 +3G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 2.719MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 0.005mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. y 방향으로 +2G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 측면 부위에서 9.629MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 0.063mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. x 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 34.096MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 0.0016mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. y 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 22.146MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 끝단에서 0.0016mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. z 방향으로 +20G 가속도의 경우로 구조 해석 결과 최대 응력은 하단 부위에서 4.103MPa로 검토되어 충분히 안전한 것으로 확인되었다. 변위 해석 결과는 하단에서 0.0009mm로 검토되어 변위도 충분히 안전한 것으로 확인되었다. Fig. 6에 최대 응력인 하중 케이스 +20G 가속도 경우의 응력 해석 결과와 변위 해석 결과를 제시하였다. Fig. 7은 최대 응력 해석 결과에 따른 변위 해석 결과이다.

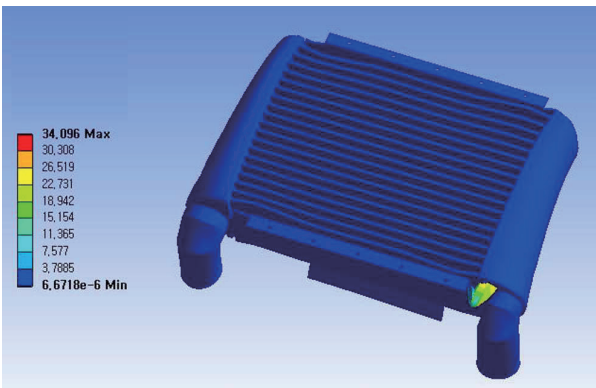


Fig. 6 Stress Analysis Results of Intercooler

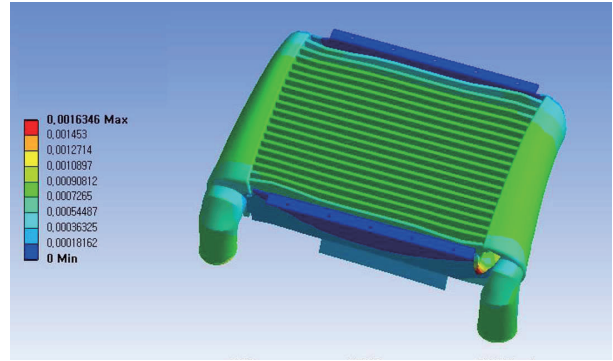


Fig. 7 Displacement Analysis Results of Intercooler

본 연구에서 알루미늄 합금 적용 항공기 구조물의 구성품 구조 해석을 수행하였다. 구조 안전성 검토를 위해 구조 해석을 수행하였으며, 하중은 자중과 가속도 조건을 적용한 후 안전율 1.5를 적용하였다. 두 가지 대상 구조물에 대해 구조 해석 결과 충분히 안전한 것으로 검토되었으며, 허용 응력을 기반으로 안전율을 검토하였다.

4. 결 론

항공기 구성품 설계 과정에서 가속도 하중에 대한 안전성을 검토해야한다. 본 연구에서 항공기 엔진 흡입구 내부 구성품에 대한 구조 안전성을 평가하였다. 엔진 내부 구성품은 인터쿨러와 라디에이터로 두 구조물이 비행 하중 하에서 안전한지 검토하였다. 구조 안전성 평가 기법은 유한 요소 구조 해석을 통해 수행되었다. 해석을 위한 상용 유한 요소 해석 프로그램은 ANSYS를 활용하였다. 구조 해석을 위한 하중은 가속도 하중과 자중에 대한 조건이 적용되었다. x축, y축, z축 세 축에 대해 가속도 하중 레벨이 결정되었다. 각 하중에는 안전율 1.5가 추가되었다. 구조 해석 결과는 응력과 변형이 검토되었다. 구조 해석 결과 구조 설계 결과는 충분히 안전하여 설계 결과는 타당한 것으로 확인되었다.

후 기

본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받

아 수행된 연구임.(2023R1A6C101B042)

References

- [1] H. Choi and H. Park, “A study on the structural design and analysis of air intake of unmanned aerial vehicles applied to composite materials,” *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 81-85, Feb. 2022.
- [2] Vittorio Vercillo, Norbert Karpen, Alexandre Laroche, Javier A. M. Guillén, Simone Tonnichia, Raphael de Andrade Jorge, Elmar Bonaccorso, “Analysis and modelling of icing of air intake protection grids of aircraft engines,” *Cold Regions Science and Technology*, vol. 160, pp. 265-272, 2019.
- [3] Mohammad R Soltani, Javad Sepahi Younsi, Mohammad Farahani, Afshin Masoud, “Numerical simulation and parametric study of a supersonic intake,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, vol. 227, pp. 106490, 2013.
- [4] Pedro David Bravo-Mosquera, Alvaro Martins Abdalla, Hernán Darío Cerón-Muñoz, Fernando Martini Catalano., “Integration assessment of conceptual design and intake aerodynamics of a non-conventional air-to-ground fighter aircraft,” *Aerospace Science and Technology*, vol. 86, pp. 497-519, 2019.
- [5] Xiaolin Chen, Yijun Liu, Finite element modeling and simulation with ANSYS Workbench, 2nd Ed., CRC Press, USA, 2018.