



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2022년 2월
석사학위논문

친환경 자동차용 에어컨
컴프레셔 모듈 설계 안정성
연구

조선대학교 산업기술창업대학원

융합자동차공학과

김 규 훈

친환경 자동차용 에어컨
컴프레셔 모듈 설계 안정성
연구

A Study on the Design Stability Evaluation of Air
Conditioner Compressor Module for Eco-Friendly Vehicles

2022년 2월 25일

조선대학교 산업기술창업대학원

융합자동차공학과

김 규 훈

친환경 자동차용 에어컨
컴프레셔 모듈 설계 안정성
연구

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2021년 10월

조선대학교 산업기술창업대학원

융합자동차공학과

김 규 훈

김규훈의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 지 훈 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 경 석 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 재 열 (인)

2021년 11월

조선대학교 산업기술창업대학원

목 차

LIST OF FIGURES	iii
ABSTRACT	v
제 1 장 서론	1
제 1 절 연구 배경 및 목적	1
제 2 절 연구 범위	2
제 2 장 이론배경	3
제 1 절 유한요소해석	3
제 2 절 FSI해석	4
제 3 절 Modal해석	5
제 3 장 컴프레셔모듈 설계 안정성검증	6
제 1 절 컴프레셔모듈 구조해석	6
1. 해석조건	6
2. 해석결과 및 고찰	8
제 2 절 컴프레셔모듈 FSI해석	14
1. 해석조건	14
2. 해석결과 및 고찰	15
제 3 절 컴프레셔모듈 Modal해석	21

1. 해석조건	21
2. 해석결과 및 고찰	23
제 4 장 결 론	27
참고문헌	28

LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Internal Combustion Engine Car Cooling System	2
Fig. 2-1 Steady-state Analysis and Transient Analysis	4
Fig. 2-2 Natural Frequency Ratio and Structure Response Graph	5
Fig. 3-1 Compressor Module Mesh Generation	6
Fig. 3-2 Compressor Module Boundary Condition	7
Fig. 3-3 Steel Compressor Module Equivalent Strain	8
Fig. 3-4 Steel Compressor Module Equivalent Strain Inside	9
Fig. 3-5 Steel Compressor Module Equivalent Stress	9
Fig. 3-6 Steel Compressor Module Equivalent Stress Inside	10
Fig. 3-7 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain	11
Fig. 3-8 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain Inside	12
Fig. 3-9 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress	12
Fig. 3-10 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress Inside	13
Fig. 3-11 Analysis Flow Chart	14
Fig. 3-12 Steel Compressor Module Equivalent Strain(FSI Analysis)	15
Fig. 3-13 Steel Compressor Module Equivalent Strain Inside (FSI Analysis)	16
Fig. 3-14 Steel Compressor Module Equivalent Stress(FSI Analysis)	16
Fig. 3-15 Steel Compressor Module Equivalent Stress Inside (FSI Analysis)	17
Fig. 3-16 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain (FSI Analysis)	18
Fig. 3-17 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain Inside (FSI Analysis)	19

Fig. 3-18 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress (FSI Analysis)	19
Fig. 3-19 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress Inside (FSI Analysis)	20
Fig. 3-20 Compressor Module Mesh Generation(Modal Analysis)	22
Fig. 3-21 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 1) ...	23
Fig. 3-22 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 2) ...	24
Fig. 3-23 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 3) ...	24
Fig. 3-24 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result (Mode. 1)	25
Fig. 3-25 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result (Mode. 2)	25
Fig. 3-26 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result (Mode. 3)	26
Fig. 3-27 Natural Frequency Comparison Graph	26

ABSTRACT

A Study on the Design Stability Evaluation of Air Conditioner Compressor Module for Eco-Friendly Vehicles

Kyu Hoon-Kim

Advisor : Prof. Kim Jae-Yeol Ph. D.

Department of Convergence

Automotive Engineering

Graduate School of Chosun University

In recent years, the automobile industry has been demanding measures to reduce fossil fuel consumption and greenhouse gas emissions from the government due to environmental problems related to fossil fuel consumption and greenhouse gas emissions. With stricter regulations on fuel efficiency and automobile fuel efficiency, it is necessary to double the fuel efficiency by 2025. In order to improve the fuel efficiency of automobiles, aluminum is emerging as a lightweight material for automobile electronic parts worldwide. The specific gravity of aluminum is 2.7 kg/m^3 , which is only about 35% of that of steel materials, so it is predicted that it will be possible to reduce weight by up to 40% if it is replaced with the existing materials for automotive electronic parts. However, the disadvantage of aluminum material is that it has a tensile strength of about 57% of that of steel material and is vulnerable to severe

deformation and high temperature after welding, making it difficult to form and process.

In order to replace the air conditioner compressor, which is an automotive electronic component, with an aluminum material, it is necessary to analyze the design stability. The commercialized finite element analysis is to be applied to design analysis. The air conditioner compressor is connected to the crank pulley of the engine by a belt, and the clutch is attached to and detached from the compressor's pulley and driven to convert low-temperature and low-pressure gas refrigerant into high-temperature and high-pressure gas.

In this study, the existing material of the air conditioner compressor and Al6061 material were applied through structural analysis and fluid-structure coupling analysis using ANSYS, a finite element analysis program, to simulate the actual operating environment of the air conditioner compressor module to confirm the stability of the compressor.

In order to check the structural stability when In addition, we intend to study the stability of the air conditioner compressor module by evaluating the vibration durability in the vehicle environment through vibration analysis.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경 및 목적

최근 수년간 자동차산업은 화석연료 소비 및 온실가스 배출에 대한 환경문제로 정부에서 화석연료 소비와 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 방안을 요구 하고 있으며, 각 국가의 온실가스 배출 억제를 위한 자동차 분야의 규제 강화와 자동차 연비에 대한 규제가 강화되면서 2025년까지 2배의 연비 향상이 필요하다. 자동차의 연비를 향상시키기 위해 현재 세계적으로 자동차 전장부품의 경량소재로 알루미늄이 뜨고 있다. 알루미늄의 비중은 2.7kg/m^3 으로 철강소재의 약 35% 수준에 불과하여 기존에 사용 되고 있는 자동차 전장부품 소재로 대체할 경우 최대 40% 경량화가 가능할 것으로 예측하고 있다. 그러나 알루미늄 소재의 단점인 인장강도가 철강소재의 약 57% 수준과 용접 후 심한 변형과 고온에 취약하여 성형 및 가공이 어렵다는 점이 있다.

자동차 전장부품인 에어컨 컴프레서를 알루미늄 소재로 대체하기 위해서는 설계 안정성에 대한 분석이 필요하다. 설계분석에 상용화 되고 있는 유한요소해석을 적용하고자 하며, 에어컨 컴프레서는 엔진의 크랭크 폴리와 벨트로 연결되어 있으며, 컴프레서의 폴리에 클러치가 탈부착하며 구동되어 저온 저압의 가스냉매를 고온 고압의 가스로 만들어 낸다.

본 연구에서는 컴프레서의 안정성을 확인하고 실제 에어컨 컴프레서 모듈의 작동 환경을 모사하기 위해 유한요소해석프로그램인 ANSYS를 이용하여 구조해석과 유체-구조 연성해석을 통해 에어컨 컴프레서의 기존 재질과 Al6061 재질을 적용하였을 때의 구조안정성을 확인하고자 하며, 기존 구조해석과의 차이를 확인하고자 한다. 또한, 진동해석을 통해 자동차 사용환경에서 진동내구성에 대한 평가를 하여 에어컨 컴프레서 모듈의 안정성에 대한 연구를 하고자 한다.

제 2 절 연구 범위

자동차용 컴프레서는 작동에 의해 냉매는 응축과 증발과정을 반복하면서 장치 내 열을 차가운 곳에서 따뜻한 곳으로 운반하여 순환 시킨다. Fig. 1-1에서 콘덴서는 압축기로부터 유입되는 고온고압의 냉매가스를 냉각용 팬을 통해 강제 냉각시켜 냉매를 액화시키며 리시버 드라이어로 냉매를 보내며, 리시버 드라이어에서 입구측으로 유입된 액화 된 냉매를 이물질 및 수분을 제거하고 팽창밸브로 배출시킨다. 이 팽창과정을 거쳐 증발기(evaporator)로 보내며, 저온 저압의 냉매를 차 실내외의 공기와 열교환 시켜 과열증기로 변환시키며 기화 되면서 저온 저습상태의 공기가 생성되어 송풍기를 통해 차량의 실내로 토출 되어 자동차 내부에 차가운 공기가 유입된다. 이러한 냉각 시스템을 순환 반복하여 차량 내부에 냉방이 가능하다.

본 논문에서는 냉각 시스템의 심장인 컴프레서의 이전에 사용 되는 철강소재 대신 알루미늄 소재를 적용하였을 때, 고온 고압의 환경에서 컴프레서의 안정성을 유한요소 해석소프트웨어인 ANSYS로 구조 및 유체 연성해석을 통해 보다 더 정확한 분석을 통해 검증하고자 한다.

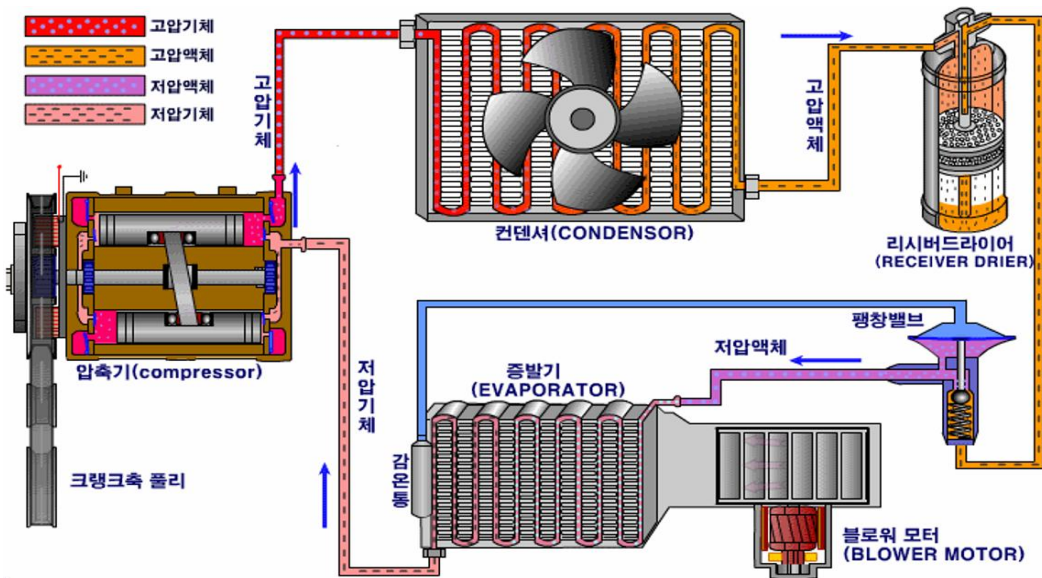


Fig. 1-1 Internal Combustion Engine Car Cooling System

제 2 장 이론배경

제 1 절 유한요소 해석

유한요소해석(Finite Element Analysis)을 알기에 앞서 유한요소법(Finite Element Method)에 대한 설명이 필요하다. 유한요소법은 수학용어로 편미분 방정식과 적분 등의 근사값을 구하는 한 방법이다. 예를들어 물체의 역학적 변형, 열의 전도, 유체의 흐름 등 다양한 물리적인 현상은 편미분방정식과 경계조건으로 표현이 가능하다.^{(1),(2),(3)}

유한요소해석은 해석 대상체의 구조나 성능 관련 문제를 확인하고 해석하기 위해 가상의 공간에서 모델링하는 작업으로 유한요소해석모델에는 설계의 형태를 구현하는 Node라고 정의되는 점들의 계로 구성되어 있다. 이러한 Node들에 연결된 것은 유한요소이며, 유한요소 해석격자를 형성하고 모델의 재료 및 구조 속성을 입력함으로써, 특정 조건에 발생하는 물리현상을 예측할 수 있다. 해석격자의 밀도는 특정 조건에 따라 달라질 수 있다. 응력이 높은 변화 일수록 보다 더 높은 해석격자의 밀도가 필요하다.

유한요소법 프로세스로 첫 번째 모델링으로 해석하고자 하는 대상체의 지오메트리를 생성해야 하며, 지오메트리 생성후 해석격자를 생성해야 하며, 해석의 정확성은 해석격자 품질과 대상체의 물성에 따라 해석의 신뢰성이 좌우된다. 두 번째로 물리적인 현상을 예측하기 위한 하중 및 구속조건을 설정하여 해석을 수행하며, 잘못된 경계조건으로 에러가 발생하여 중단 될 수 있다. 마지막 세 번째로 해석이 성공적으로 수행되면 시뮬레이션 결과의 시각화 단계를 거쳐 부품 및 대상체의 물리적 현상을 확인 할 수 있다.^{(4),(5),(6)}

유한요소해석의 장점으로는 새 제품 설계에 사용되거나 기존제품을 개선할 때 수행되며, 제품의 성능 및 신뢰성예측, 시제품 제작 비용 감소, 다른 설계안 및 재료평가, 설계 최적화 및 재료사용 감소 등 장점이 있다.

제 2 절 FSI 해석

유체의 움직임 분석하는 유동해석과 제품의 변형, 강도, 온도분포, 소음, 고유진동수 등의 물리적 현상을 수학적으로 모형화시켜 외부 힘에 대한 구조물의 변화를 계산하는 구조해석을 순차적으로 진행 하는 계산하는 방법을 구조-유동 연성해석 (Fluid-Structure Interaction)이라고 한다.^{(7),(8),(9),(10),(11)}

FSI해석은 유체의 거동에 의해 발생하는 하중 또한 힘에 의해 발생하는 구조물에 응력을 확인하는 것으로 고온 고압의 냉매가스로 발생하는 에어컨 컴프레셔의 열 변형과 구조안정성을 확인 할 수 있다.

유체-구조 연성해석은 크게 단방향 해석과 양방향 해석으로 나뉘어진다. 단방향 해석의 경우 유동의 압력 또는 온도에 의해 변형된 구조물의 변형이 다시 유동에 영향을 주지 않을 정도의 열변형이 작을 때 이용되는 해석이다. 양방향 해석은 유동에 의한 구조물의 변형이 유체의 흐름에 변화를 주는 경우로 구조물의 변형이 클 때 이용되는 해석이다.

또한 유동해석에서는 아래 Fig. 2-1와 같이 정상상태 유동해석과 과도상태의 유동해석이 있다. 정상상태의 유동해석은 유동을 계산하여 나온 결과를 하중으로 적용하여 정적 구조해석으로 적용 할 수 있으며, 과도상태 유동해석으로 나온 결과를 각 변동 되는 해석결과에 따른 동적 구조해석을 적용할 수 있다.^{(12),(13),(14),(15)}

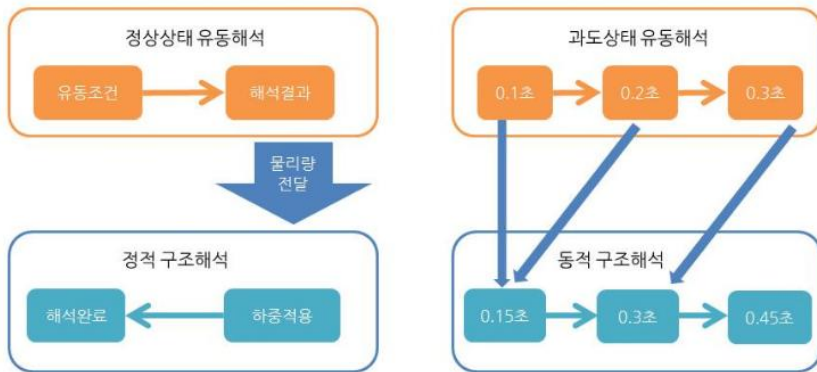


Fig. 2-1 Steady-state Analysis and Transient Analysis

제 3 절 Modal해석

고유진동수는 단위시간당 진동하는 횟수를 의미하며, 구조체의 동적 특성을 확인하는 가장 대표적인 특성이다. 일반적으로 Hz단위를 사용하여 초당 진동횟수로 나타낸다. 구조체의 고유진동수는 구조물의 강성에 비례하고, 질량에 반비례하는 특성을 가지고 있다.^{(16),(17)}

Fig. 2-2을 확인하면 입력주파수와 고유진동수 비율에 따른 구조물의 응답의 관계를 나타내는 그래프로 감쇠가 없을 경우에 고유진동수와 입력 주파수가 근접할수록 응답이 무한대로 증폭되는 공진현상의 원인이 되는 것을 확인 할 수 있다.

진동해석은 구조체가 가지고 있는 고유진동수와 각 고유진동수에 대해서 변형형을 파악하여 구조체의 공진여부 및 해당 고유진동수에 의해 변형된 형상을 예측하는 해석으로 모든 동적해석의 기본이 되는 해석이다.^{(18),(19),(20)}

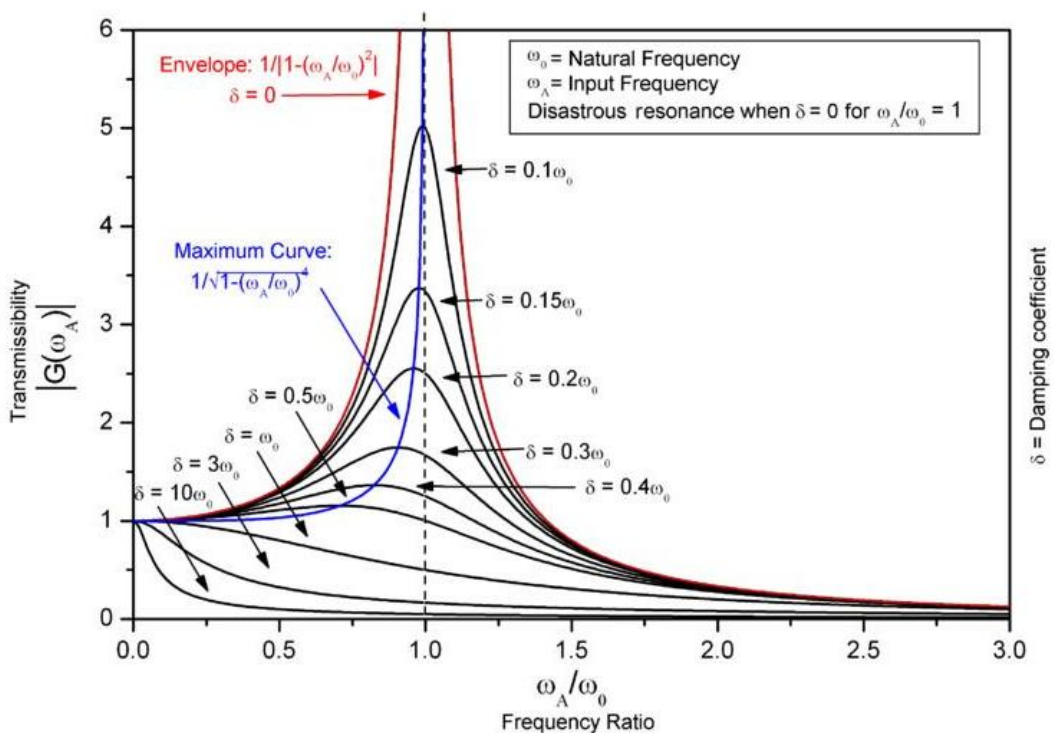


Fig. 2-2 Natural Frequency Ratio and Structure Response Graph

제 3 장 컴프레셔모듈 설계 안정성검증

제 1 절 컴프레셔모듈 구조해석

1. 해석조건

컴프레셔 모듈의 재질별 안정성을 검증하기 위해 구조해석을 진행하였다. Fig. 3-1은 컴프레셔 모듈의 해석격자를 생성한 모습이다. 해석격자의 특성으로 Nodes 363,737개, Elements 195,676개가 생성되었다. Fig. 3-2는 구조해석 조건으로 샤프트에 평면으로 보았을 때, 반시계방향으로 3,000RPM의 회전조건을 입력한 그림으로 기존 사용 환경보다 1.5배 높은 조건을 사용하였다. 해당조건에서 발생하는 기존재질과 경량화 시킨 재질의 탄성 등가 응력과 탄성 등가 변형률을 비교하고자 한다.

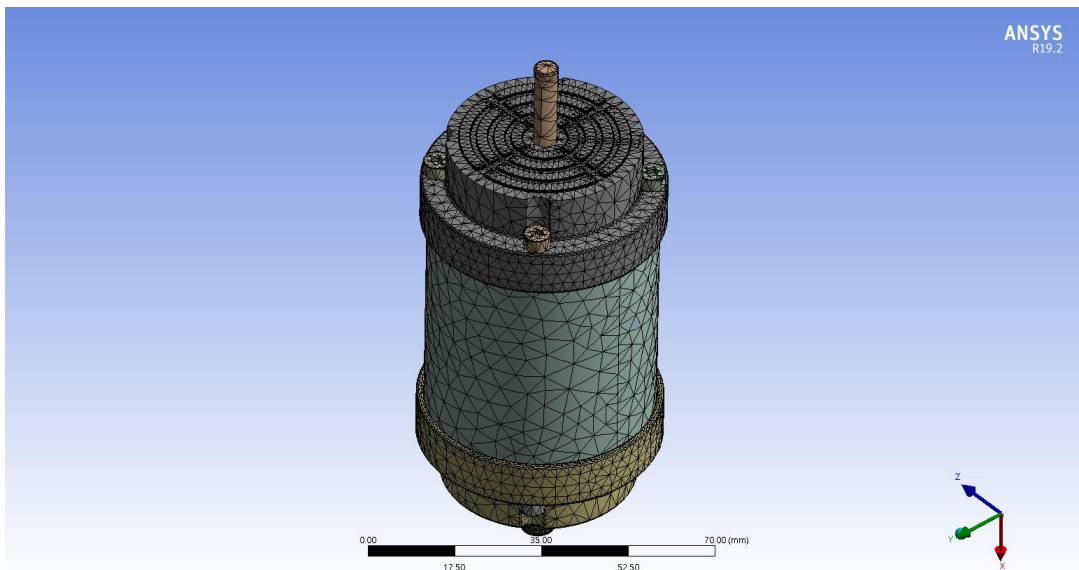


Fig. 3-1 Compressor Module Mesh Generation

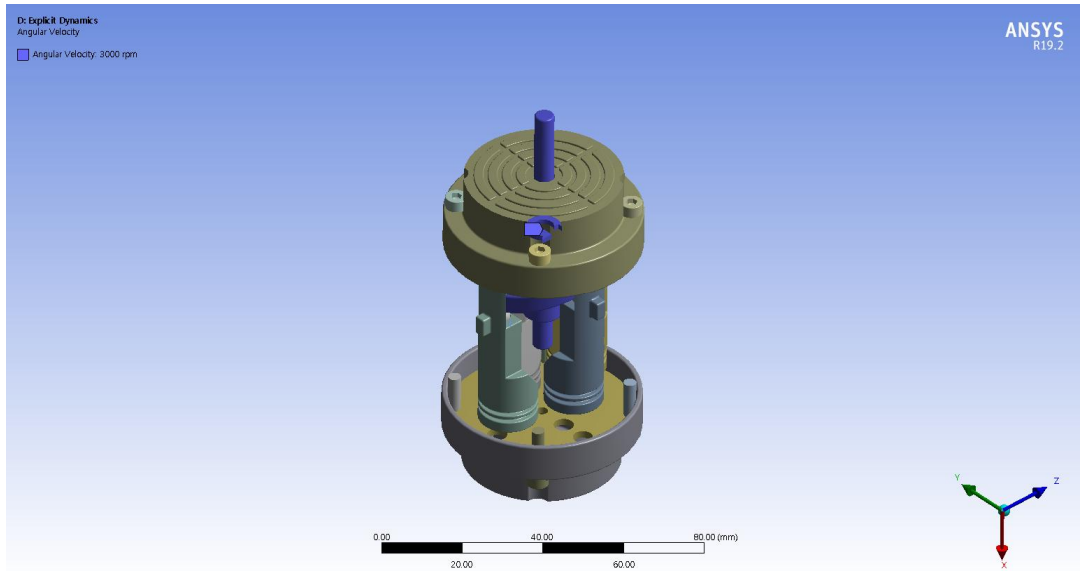


Fig. 3-2 Compressor Module Boundary Condition

2. 해석결과 및 고찰

Fig. 3-3 은 기존 재질의 에어컨 컴프레셔 모듈의 구조해석 결과 중 탄성등가변형률을 나타내는 결과이다. 외부표면에서는 아무런 변화를 확인 할 수 없었다. Fig. 3-4 는 에어컨 컴프레셔 모듈의 내부를 확인 한 결과 피스톤 부분에 변형률이 집중되어 있는 것을 확인 하였고, 볼베어링 부분에 최대 등가변형률 0.000932mm/mm 로 확인 되었으며, 거의 변형 되지 않음을 확인 하였다. Fig. 3-5 는 에어컨 컴프레셔 모듈의 구조해석 결과 중 탄성등가응력을 나타낸다. 변형률을 확인 하였을 때와 마찬가지로 외부에 큰 변화가 , Fig. 3-6 은 에어컨 컴프레셔 모듈의 내부를 확인 한 결과로 피스톤 부분에 등가응력이 집중되어 있는 것을 확인 하였고, 최대 240.13MPa의 응력이 발생 하였다.

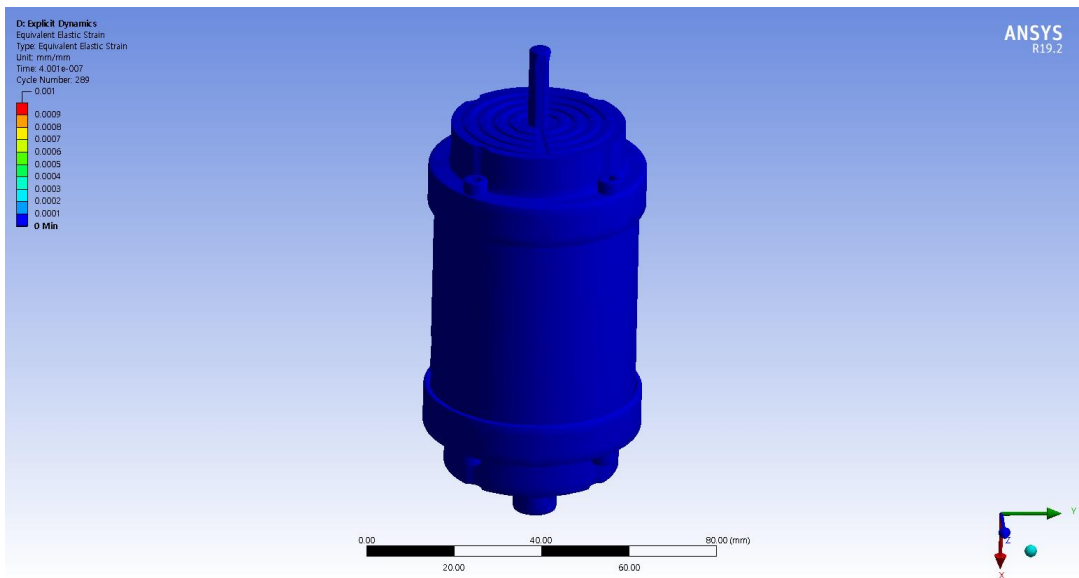


Fig. 3-3 Steel Compressor Module Equivalent Strain

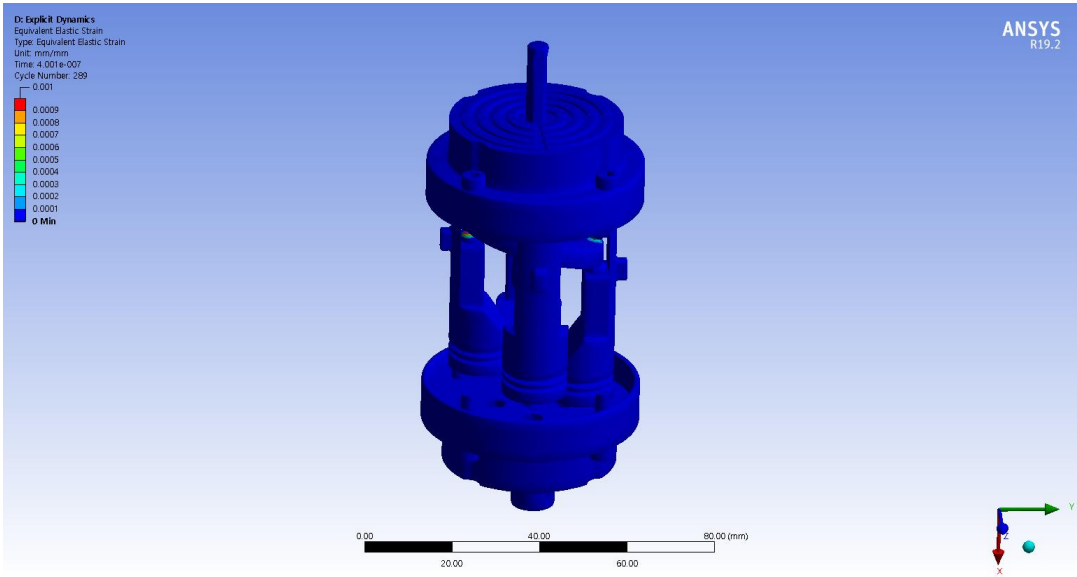


Fig. 3-4 Steel Compressor Module Equivalent Strain Inside

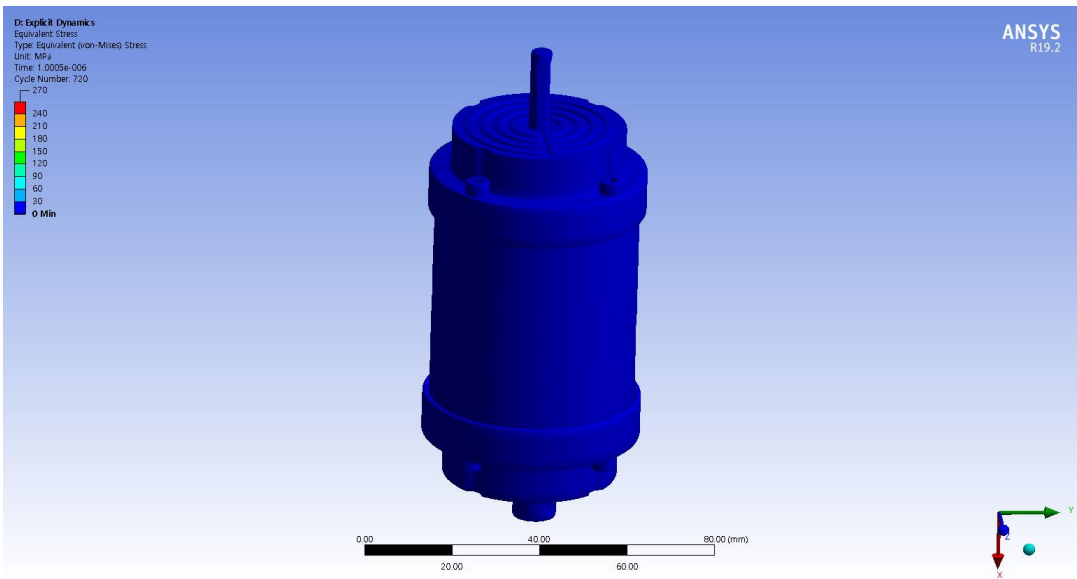


Fig. 3-5 Steel Compressor Module Equivalent Stress

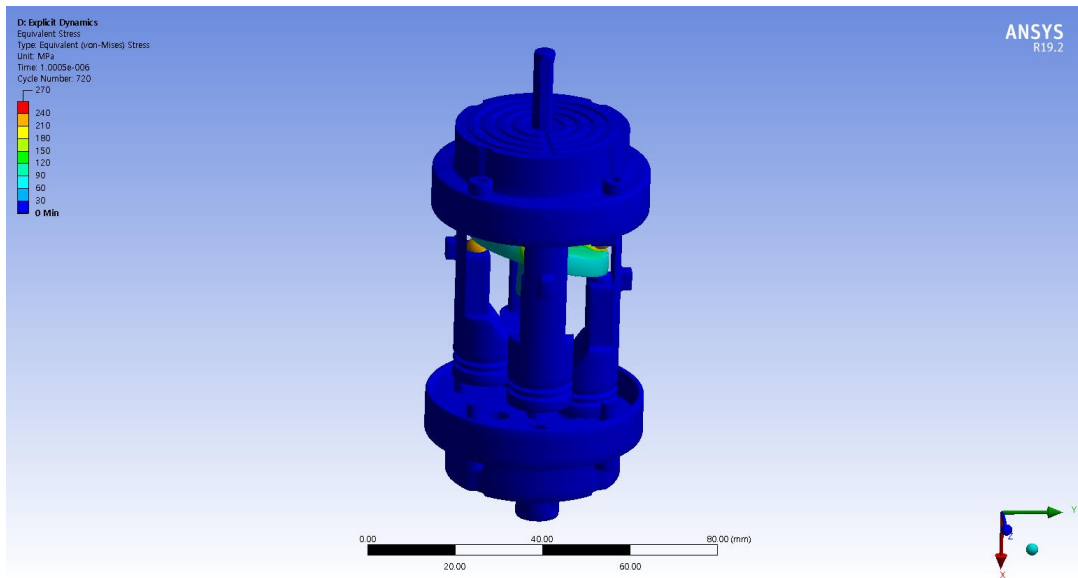


Fig. 3-6 Steel Compressor Module Equivalent Stress Inside

Fig. 3-7 은 Al6061 재질로 구조해석을 진행하였을 때, 에어컨 컴프레서모듈의 탄성등가변형률을 나타내는 해석결과이다. Steel재질과 다르게 샤프트 축과 접촉된 면에 0.0002mm/mm의 탄성변형률이 나타났다. Fig. 3-8 내부를 확인 한 결과 피스톤에 부분에 변화가 많았으며, 최대 0.001324mm/mm의 탄성변형률이 나타났다. Fig. 3-9 탄성등가응력을 확인한 결과 탄성등가변형률이 발생하는 부분에 탄성등가응력이 밀집되어 있는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 3-10 내부를 확인 한 결과에서도 피스톤부분에 많이 밀집되어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 재질별 구조해석결과를 비교 분석하였을 때, Steel재질에 비해 탄성등가변형률과 탄성등가응력이 높게 나타났으나 외관상 확인 하였을 때, 큰 변화가 나타나지 않아 에어컨 컴프레서 모듈에 Al6061재질의 적용이 가능할 것으로 사료 된다.

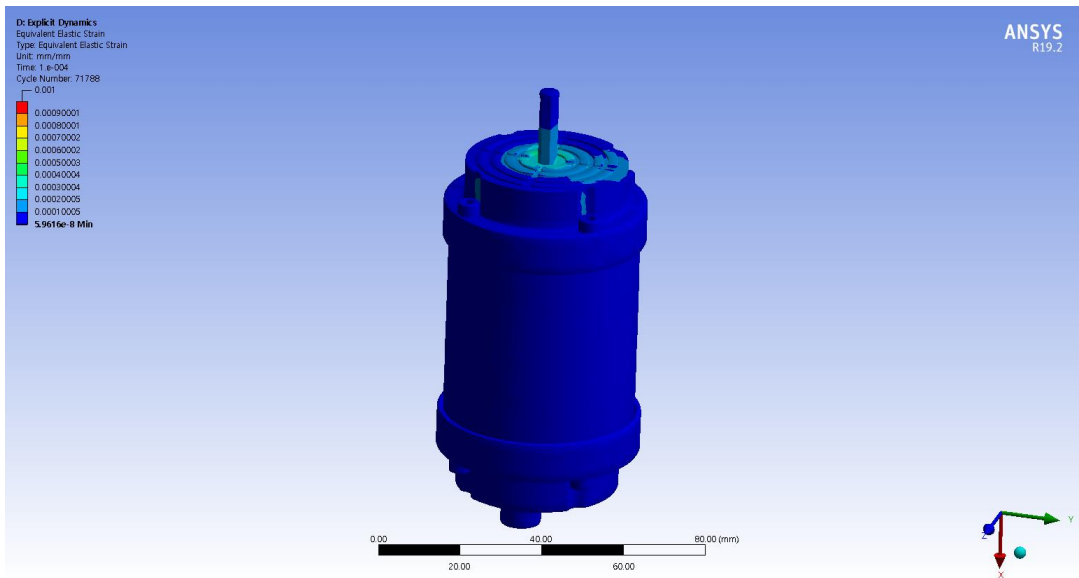


Fig. 3-7 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain

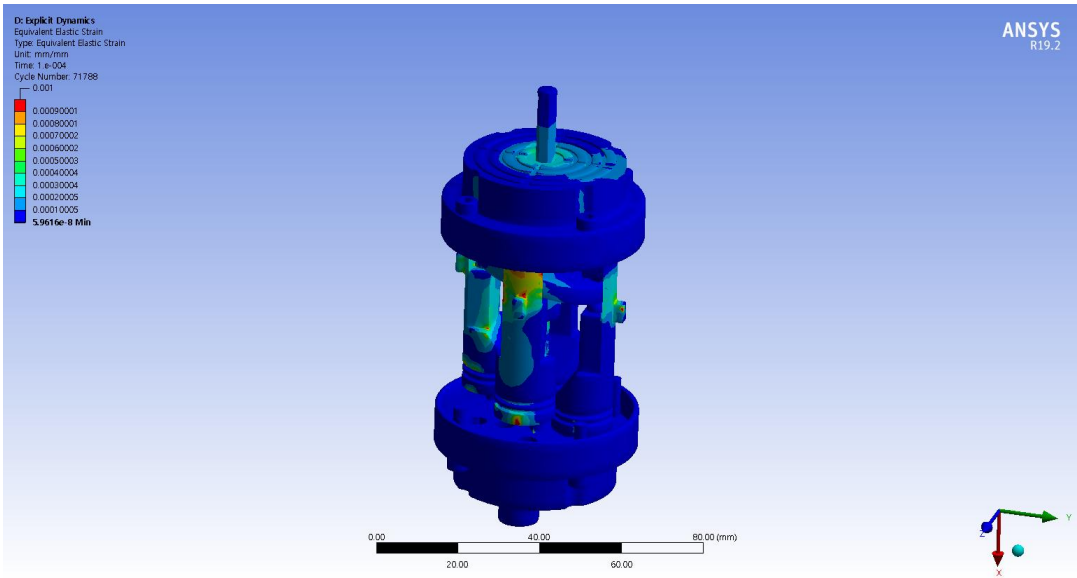


Fig. 3-8 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain Inside

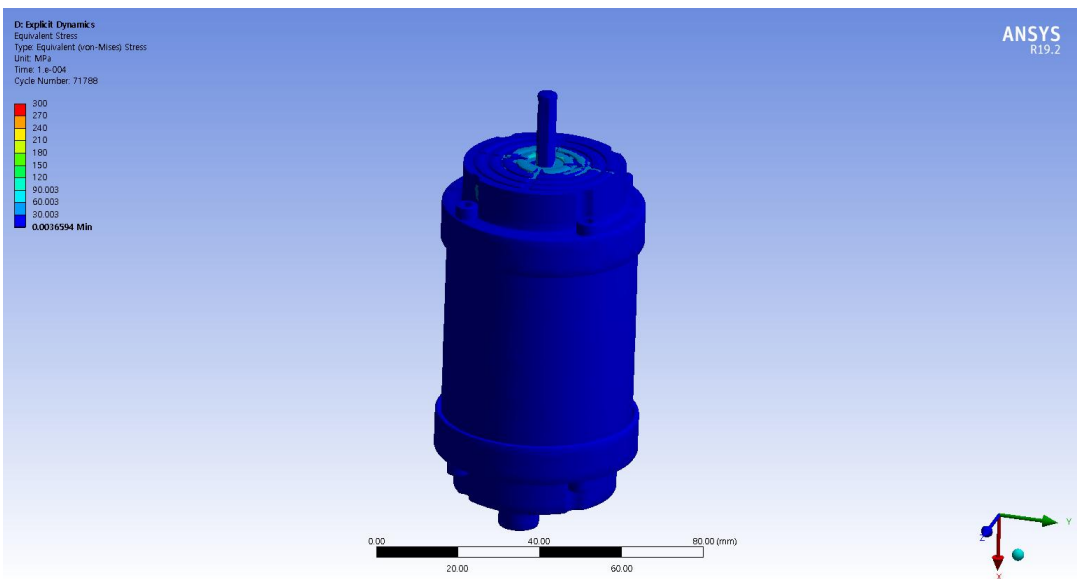


Fig. 3-9 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress

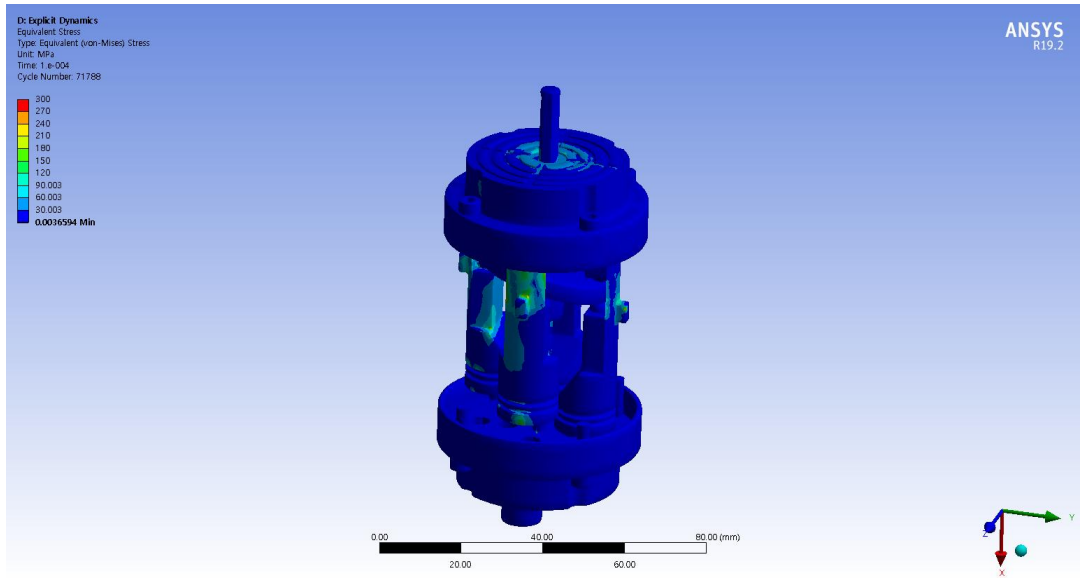


Fig. 3-10 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress Inside

제 2 절 컴프레셔모듈 FSI해석

1. 해석조건

컴프레셔 모듈의 재질별 안정성을 검증하기 위해 FSI해석을 진행하였다. Fig. 3-11 은 에어컨 컴프레셔 모듈의 FSI해석을 진행하기 위한 흐름도 이며, 에어컨 컴프레셔 내부에 발생하는 고온 고압의 기체를 모사해서 구조해석과 연성하여 발생하는 재질 별 FSI해석을 진행하여 구조 안정성을 비교 분석하고자 한다.

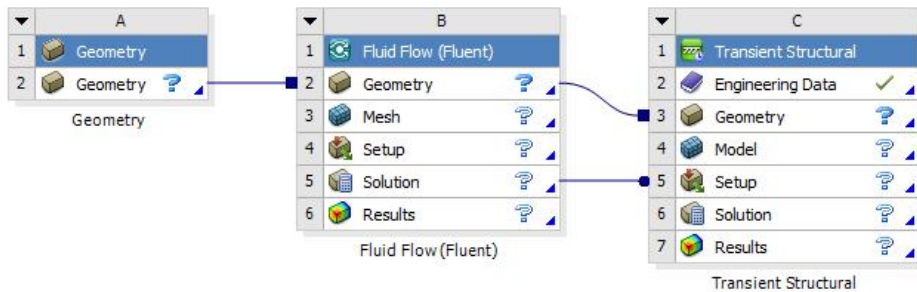


Fig. 3-11 Analysis Flow Chart

2. 해석결과 및 고찰

Fig. 3-12 는 기존 Steel 재질의 에어컨 컴프레서 모듈의 FSI해석 결과로 탄성등가변형률을 확인하였다. 기존 구조해석과 달리 컴프레서 안에서 발생 되는 고온 고압의 냉매가스에 의해 탄성변형률 값이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 최대 0.000672mm/mm로 확인 되었으며, Fig. 3-13 을 확인하면 회전하는 샤프트와 직접적인 냉매가스가 접촉 되는 피스톤에 많은 탄성변형률이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 3-14는 탄성등가응력을 나타내는 그림으로 Fig. 3-12 에서 확인 되는 것과 같이 변형이 일어나는 부분에 등가응력을 받는 것을 확인 하였으며, 기존에 진행한 단순 구조해석과 달리 등가응력이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 3-15을 확인하면 Fig. 3-13 과 마찬가지로 냉매가스에 직접적인 영향을 받는 피스톤과 회전하는 샤프트에 등가응력이 많이 증가하는 것으로 확인 되었다.

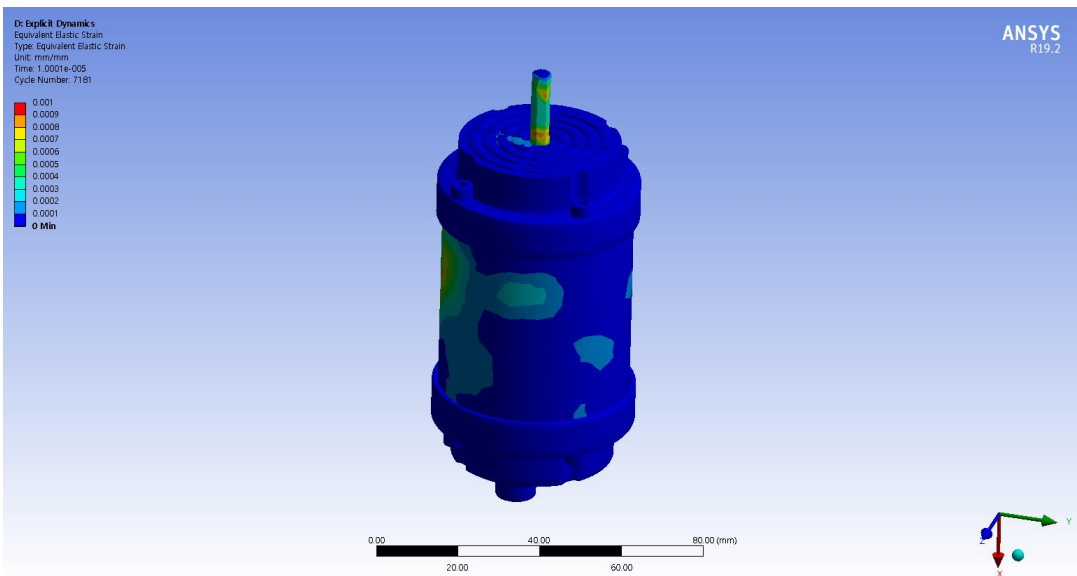


Fig. 3-12 Steel Compressor Module Equivalent Strain(FSI Analysis)

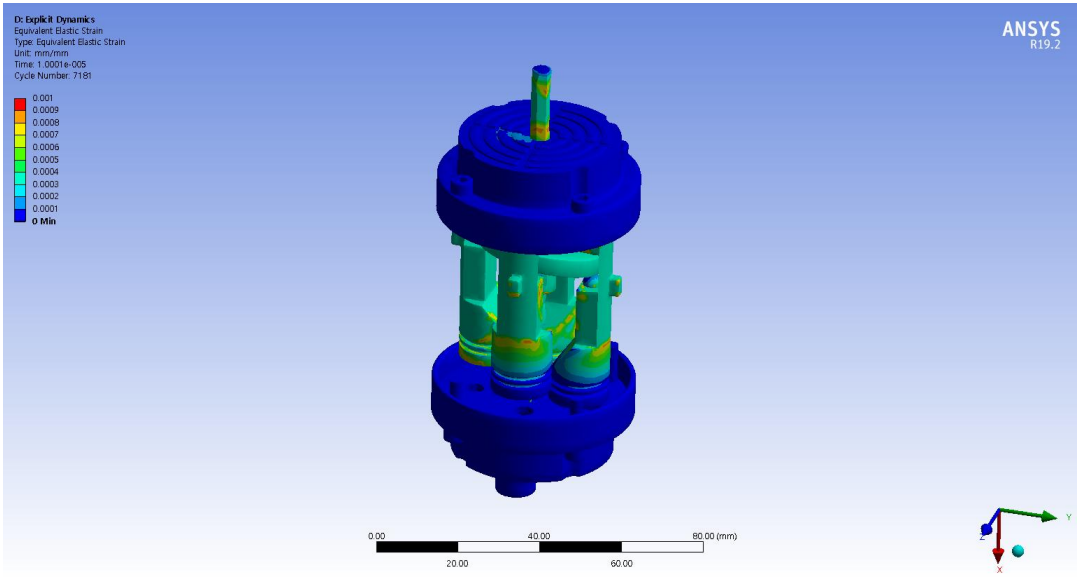


Fig. 3-13 Steel Compressor Module Equivalent Strain Inside(FSI Analysis)

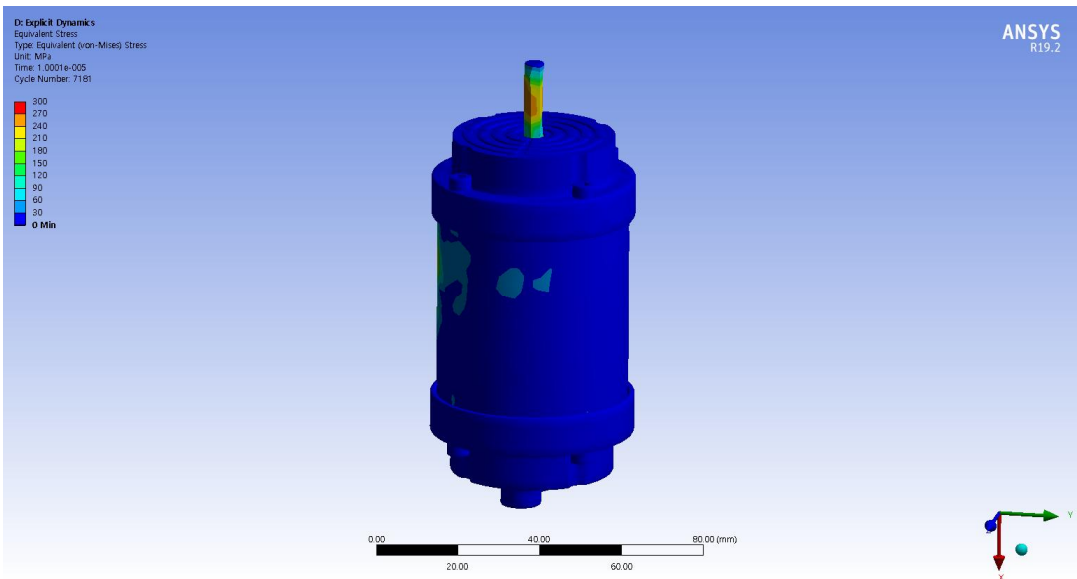


Fig. 3-14 Steel Compressor Module Equivalent Stress(FSI Analysis)

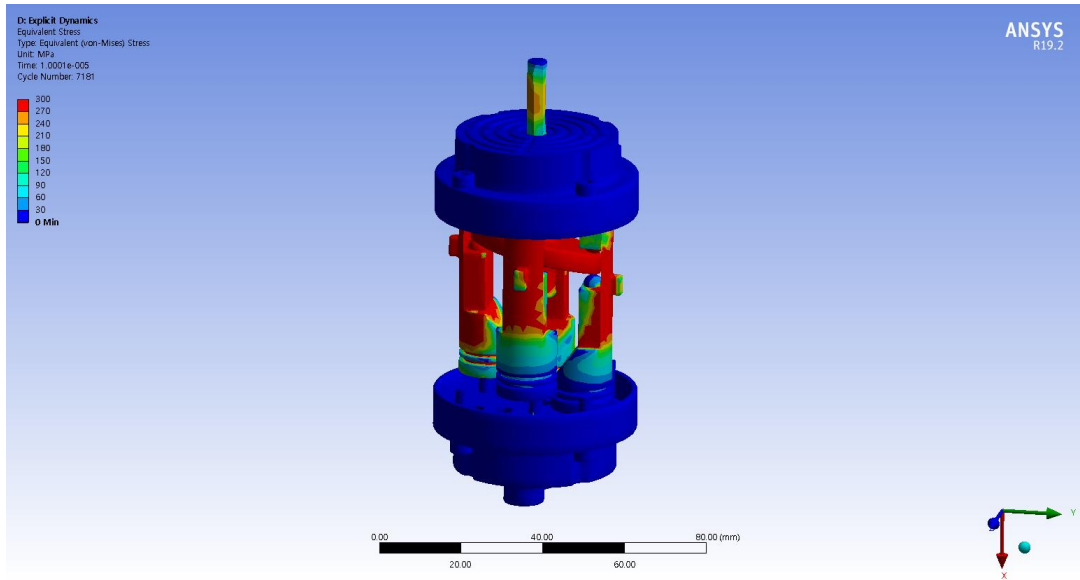


Fig. 3-15 Steel Compressor Module Equivalent Stress Inside(FSI Analysis)

Fig. 3-16 은 Al6061 재질로 구조해석을 진행하였을 때, 에어컨 컴프레셔모듈의 탄성등가변형률을 나타내는 해석결과이다. Steel재질과 다르게 샤프트 축과 접촉된 면에 0.001332mm/mm의 탄성변형률이 나타났다. 또한, 외부 벽면에도 0.001348mm/mm의 변형률이 나타나는 것을 확인하였으며, 기존 구조해석보다 변형률의 분포가 늘어나는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 3-17 내부를 확인 한 결과 피스톤에 부분에 변화가 많았으며, 평균 0.001132mm/mm의 탄성변형률이 나타났다. 불과 맞닿은 부분은 0.001932mm/mm의 변형률이 확인 되었다. Fig. 3-18 탄성등가응력을 확인한 결과 탄성등가변형률이 발생하는 부분에 탄성등가응력이 밀집되어 있는 것을 확인 할 수 있었으며, Fig. 3-19 내부를 확인 한 결과에서도 피스톤부분에 많이 밀집되어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 재질별 구조해석결과를 비교 분석하였을 때, Steel재질에 비해 탄성등가변형률과 탄성등가응력이 높게 나타났으며, 기존 구조해석 보다 탄성등가응력과 탄성등가변형률이 약 50% 정도 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 해석조건은 사용환경보다 1.5배의 회전조건을 입력하여 해석을 진행하여 Al6061을 적용하여 에어컨 컴프레셔 모듈을 제작이 가능할 것으로 사료된다.

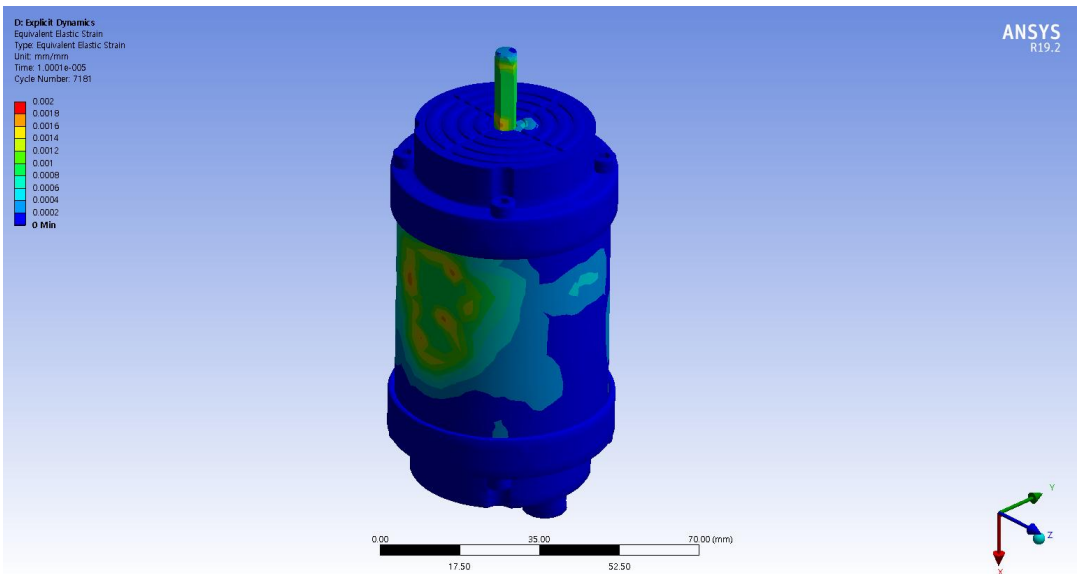


Fig. 3-16 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain(FSI Analysis)

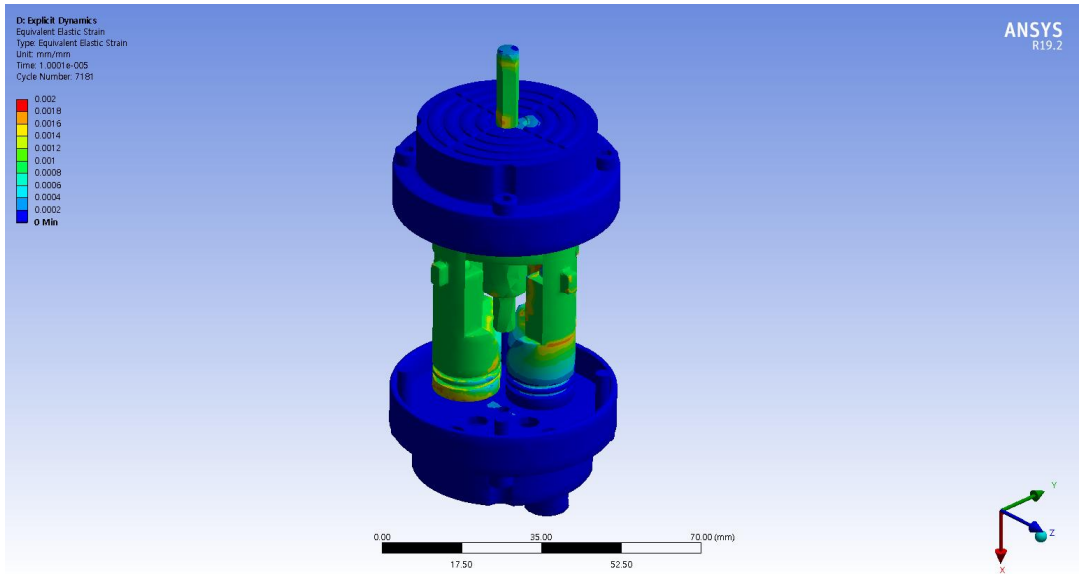


Fig. 3-17 Al6061 Compressor Module Equivalent Strain Inside(FSI Analysis)

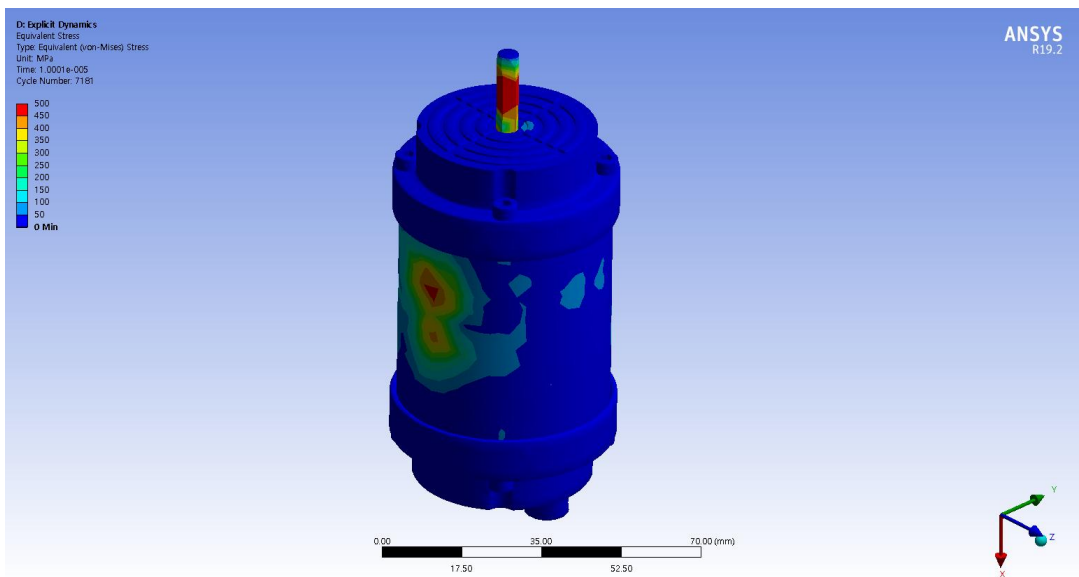


Fig. 3-18 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress(FSI Analysis)

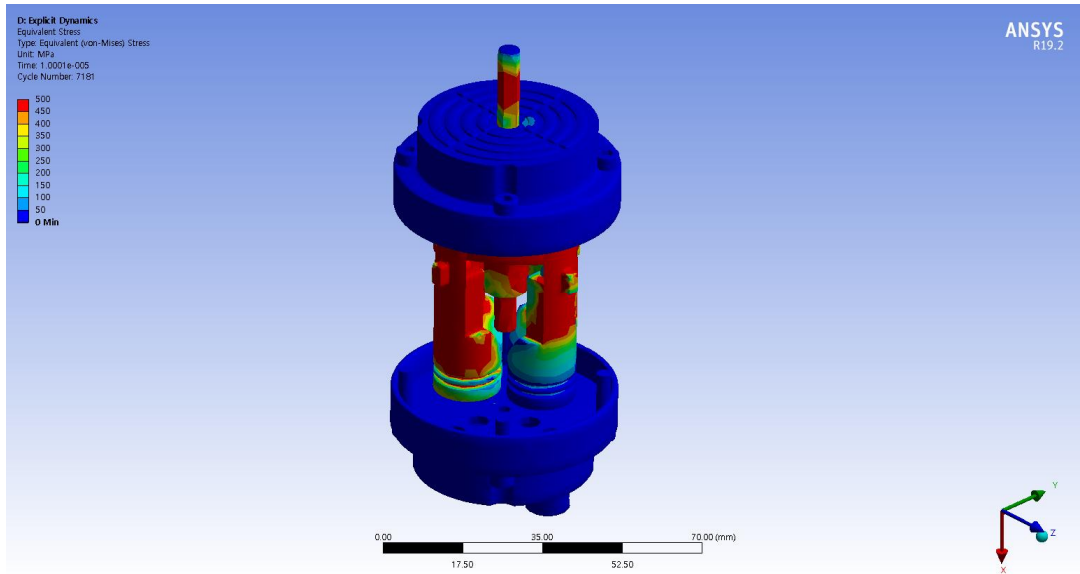


Fig. 3-18 Al6061 Compressor Module Equivalent Stress Inside(FSI Analysis)

제 3 절 컴프레셔모듈 Modal해석

1. 해석조건

에어컨 컴프레셔 모듈의 동적 안정성을 검증하기 위해 Modal 해석을 진행하였으며, Modal해석은 반복되는 진동에 대한 피로 파괴 발생을 알아보기 위한 해석이며, 구조물의 진동 모드 현상과 고유진동수를 구하는 해석이다. 진동수란 주기적인 현상이 매초 반복되는 횟수로써 1초간 진동한 횟수를 말한다. 주기 진동수의 역수이며, 한 번 진동하는데 걸리는 시간이다. 진폭은 위아래로 흔들린 폭이며 진동을 변위와 시간의 함수로 나타낸 것이다. 고유진동수는 탄성체가 자연스럽게 진동하는 진동수이며 탄성물질로 이루어진 물체가 진동 시 그 물체에 해당하는 고유의 진동수로 진동하여 고유의 소리를 낸다. 물체의 재료 특성이나 모양에 의해 결정되는 특정 진동수를 말한다. 공진은 외부 가진 진동수와 고유진동수가 일치할 때 발생하는 현상이며 이로 인해 변형과 파괴가 발생하게 된다. 공진이 발생하면 감쇠가 없는 경우 변위는 무한대가 되어 구조물을 파괴시킨다. 자동차 엔진은 정상적인 운전 조건에서는 공회전부터 운전자의 가속페달 조작에 따라서 빈번하게 회전수가 변화되는 특성을 가진다. 이는 일정한 회전수를 가지고 작동되는 일반적인 기계와 차별되는 자동차와 같은 수송기계가 가지는 독특한 운전방식 자동차 진동 소음 현상은 빈번한 회전수 변화에 따른 진동수 특성을 파악할 수 있어야한다. 4사이클 내연기관인 경우 엔진의 크랭크 샤프트 2회전하는 동안 각각의 실린더에서는 모두 한번씩의 폭발과정이 있다. 동일한 회전수라 하더라도 엔진의 실린더 수가 다를 경우에는 엔진의 흔들림으로 인하여 차체에 가하는 진동수는 많은 변화를 갖는다.

일반적인 4사이클 엔진에 있어서 4기통의 속도 범위는 공회전 회전수가 750rpm, 최대 회전수 6,000rpm 이다. 실린더 수가 많아질수록 주요 진동수 분포가 높아지면서 넓어지고 있다. 이는 한정된 영역에서 대표적인 진동형태(굽힘 및 비틀림 진동)들이 차체의 고유진동수가 대략 최소 20에서 최대 30Hz의 영역에 위치해 있어 실린더의 개수가 증가할수록 차체의 공진현상을 회피할 수 있는 기회가 많아진다고 볼 수 있다.

Modal 해석을 진행하기 위해 Fig. 3-19 는 자동차 적용되는 에어컨 컴프레셔 모듈의 MESH를 생성하였다. 에어컨 컴프레셔 모듈의 해석격자는 Nodes는 382,297 Elements는 211,739개로 생성되었다.

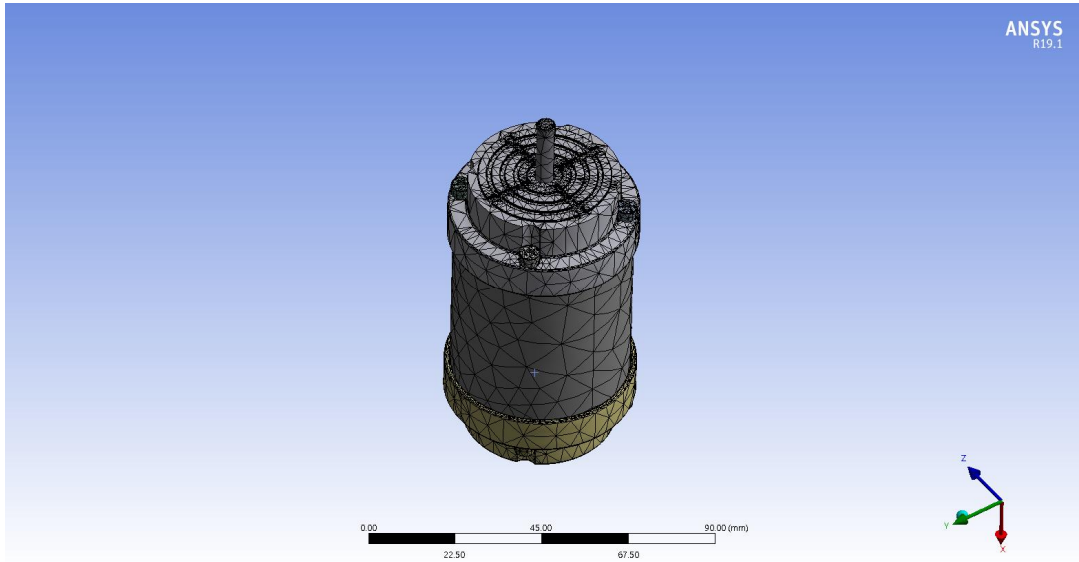


Fig. 3-19 Compressor Module Mesh Generation(Modal Analysis)

2. 해석결과 및 고찰

기존 Steel 재질의 에어컨 컴프레셔 모듈의 동적 안정성을 파악하기 위해 Modal 해석을 진행한 결과는 Fig. 3-20, Fig. 3-21, Fig. 3-22 와 같으며, 1차 586.85Hz, 2차 601.77Hz, 3차 725.51Hz로 확인된다. 같은 해석조건으로 Al6061 재질의 에어컨 컴프레셔 모듈의 Modal 해석 결과는 Fig. 3-23, Fig. 3-24, Fig. 3-25와 같으며, 1차 593.6Hz, 2차 608.9Hz, 3차 728.91Hz로 확인되었으며, 구조해석과는 달리 Fig. 3-26 비교그래프를 확인하면 Modal해석에서는 Al6061의 고유진동수가 높게 형성되는 것을 확인 할 수 있었다.

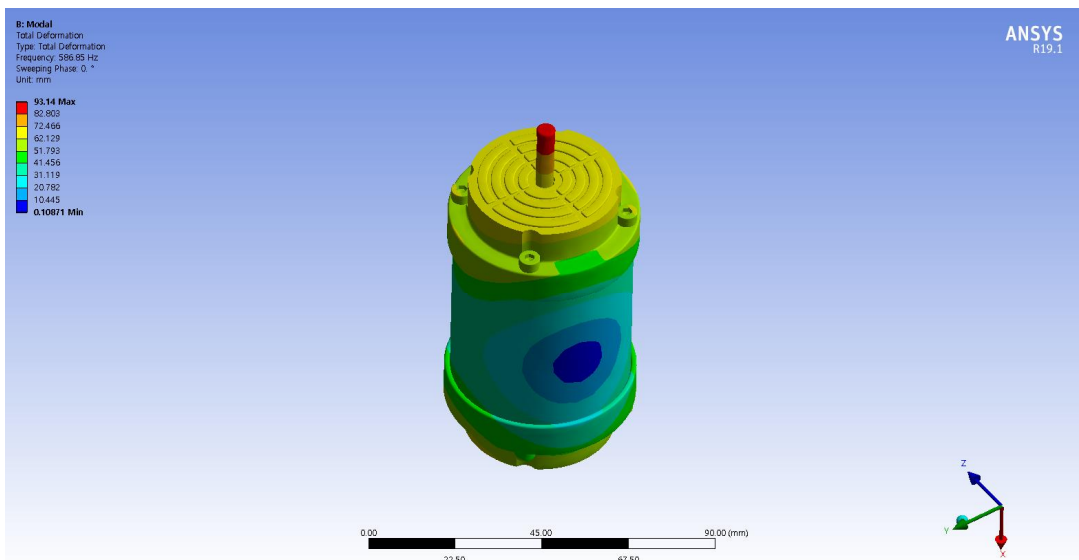


Fig. 3-20 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 1)

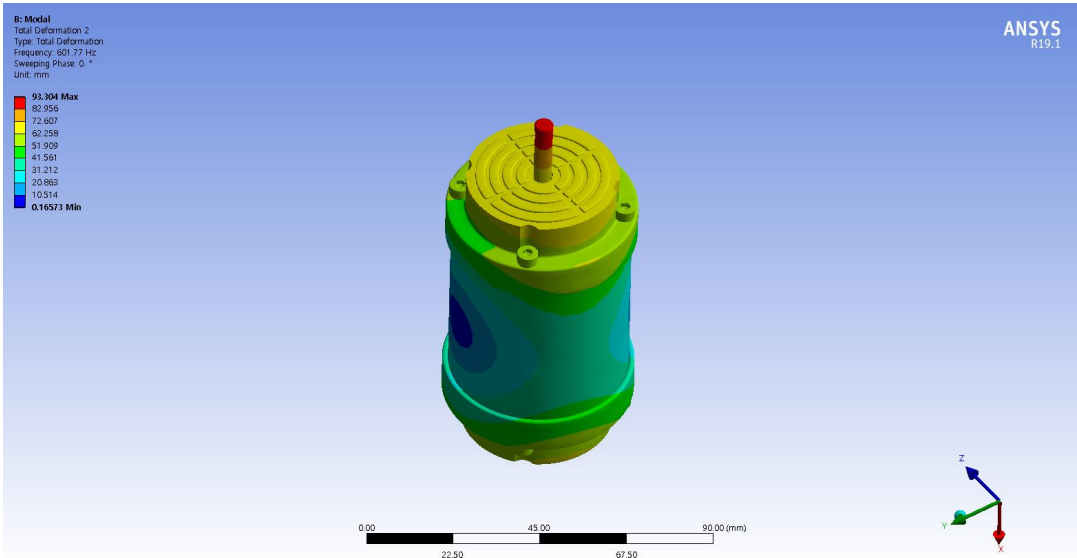


Fig. 3-21 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 2)

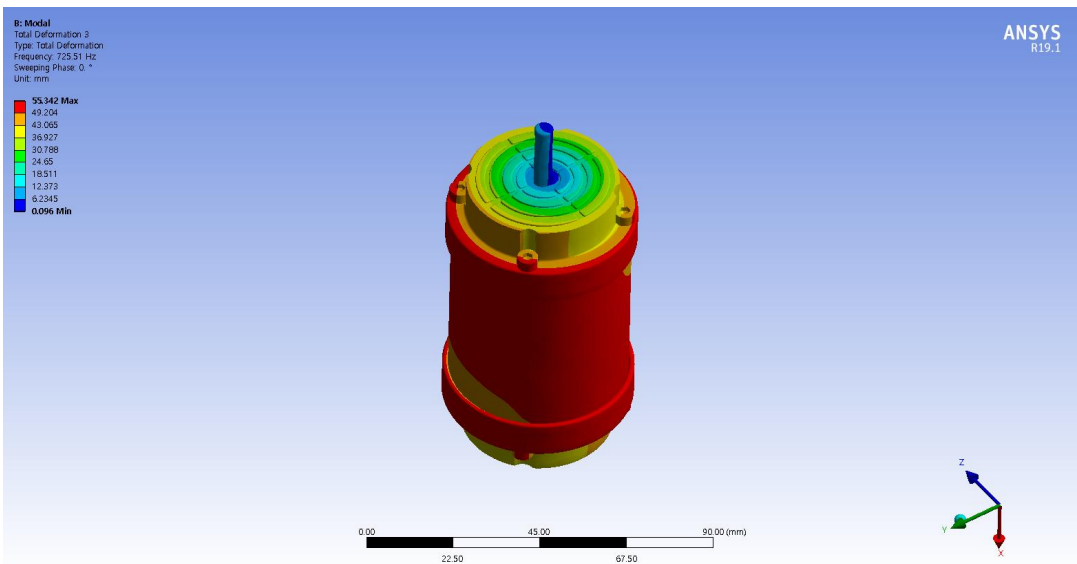


Fig. 3-22 Steel Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 3)

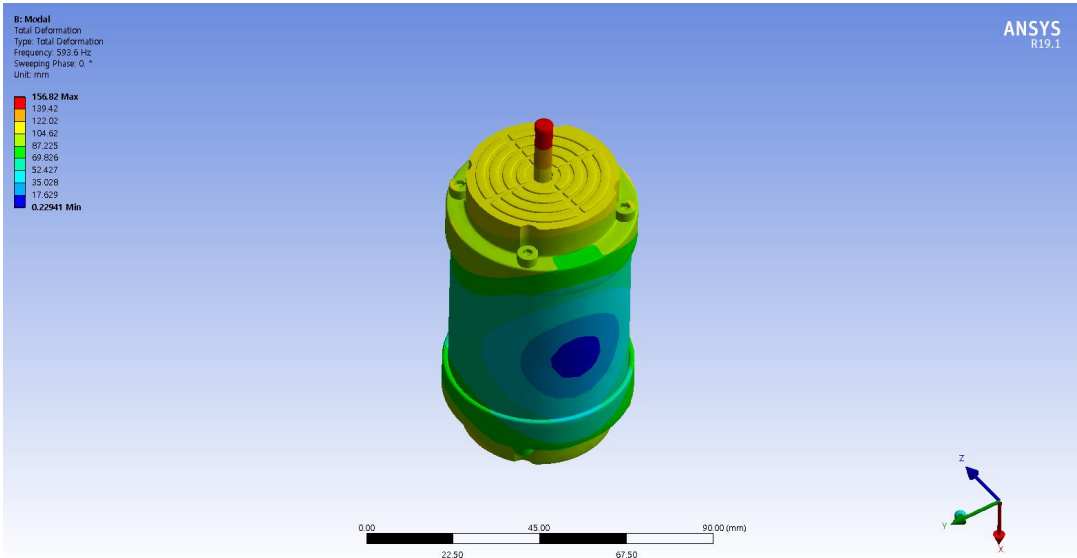


Fig. 3-23 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 1)

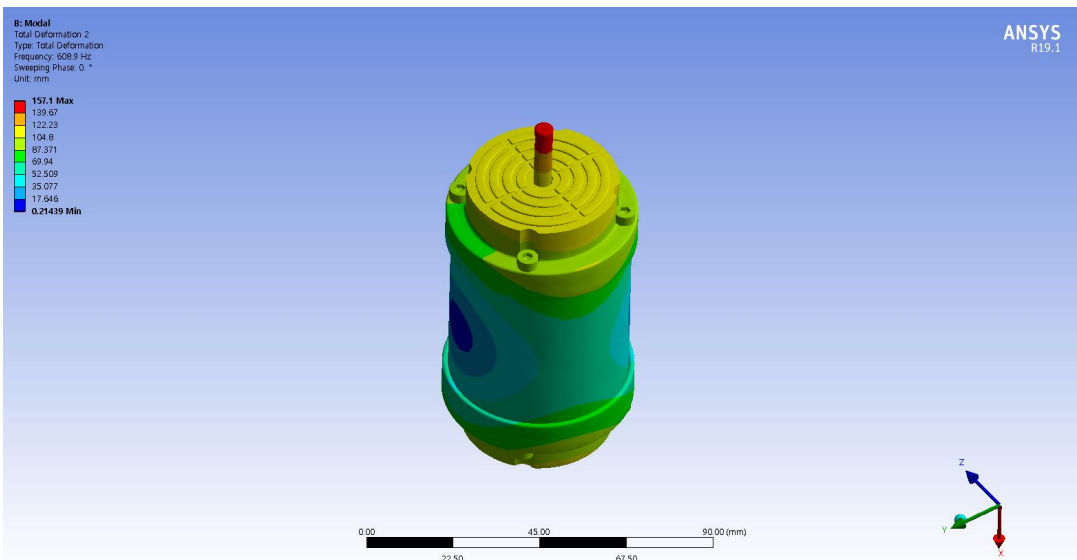


Fig. 3-24 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 2)

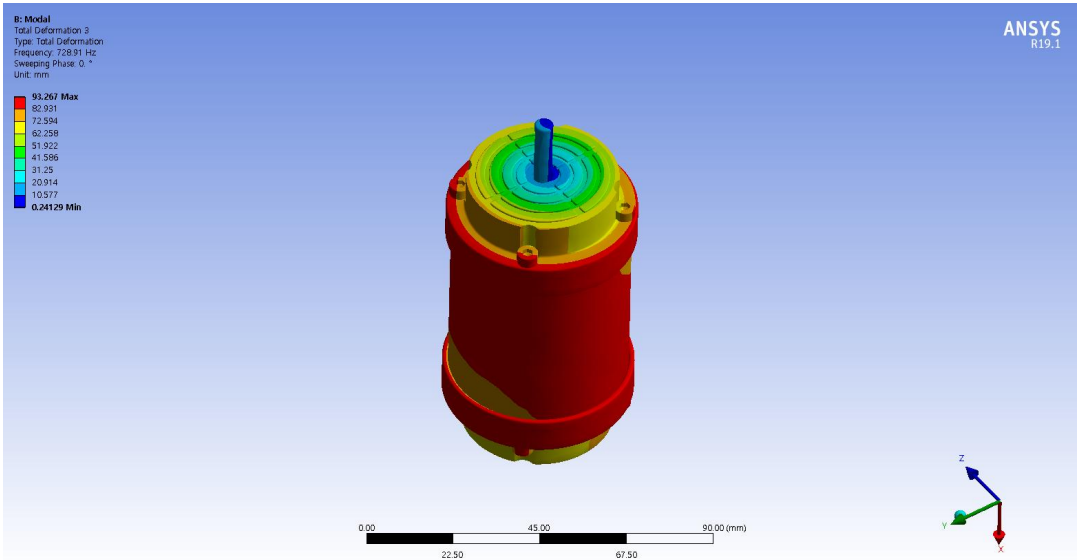


Fig. 3-25 Al6061 Compressor Module Modal Analysis Result(Mode. 3)

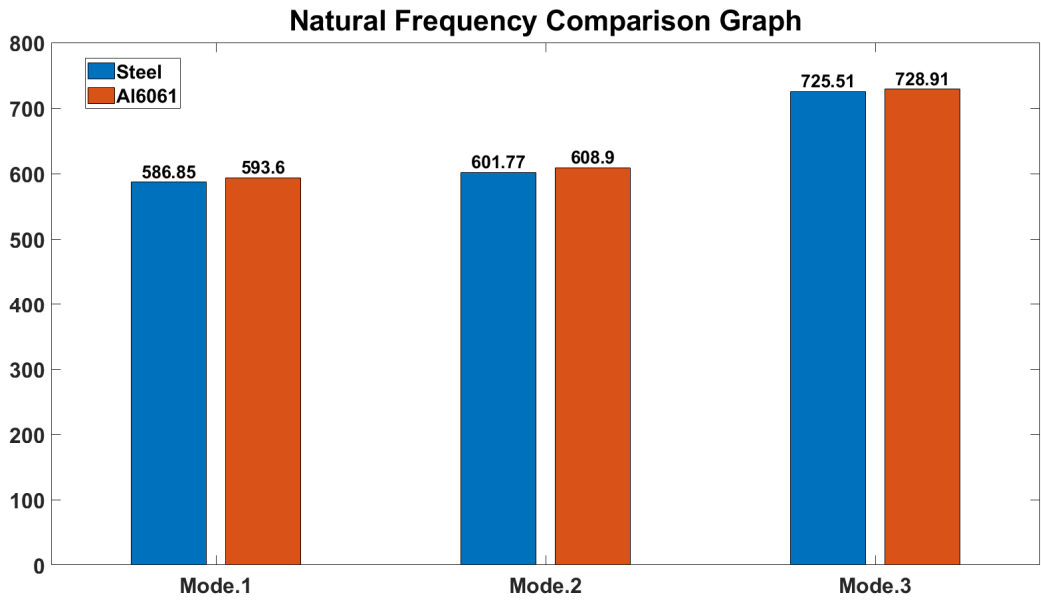


Fig. 3-26 Natural Frequency Comparison Graph

제 4 장 결론

에어컨 컴프레서 모듈의 기존 Steel 재질과 Al6061의 재질의 구조해석, FSI해석, Modal해석을 통해 비교 분석한 결과 자동차용 에어컨 컴프레서 모듈의 경량화를 위한 Al6061 재질 적용이 가능하다는 결과를 확인 하였다.

1. 자동차용 에어컨 컴프레서 모듈의 적용 재질에 따른 구조해석을 통해 비교분석한 결과 약 30% 탄성등가변형률과 탄성등가응력이 증가 된 결과를 도출 하였으나, 에어컨 컴프레서 동작조건보다 2배의 조건으로 해석을 진행한 것을 감안하면 에어컨 컴프레서 모듈의 경량화를 위한 Al6061재질의 적용이 가능하다는 것으로 사료 된다.

2. 자동차용 에어컨 컴프레서 모듈의 적용 재질에 따른 FSI해석을 통해 비교 분석한 결과 이전 구조해석과 달리 실제 사용 환경과 유사하게 적용하기 위해 80℃ 온도 조건과 30psi 조건을 입력하였을 때, 해석결과로 기존대비 50% 증가된 결과값을 얻었으며, 최대 0.001932mm/mm의 변형률로 나타난 것으로 볼 때, FSI해석 결과에서도 Al6061 재질의 적용이 가능하다는 것으로 확인 된다.

3. 자동차용 에어컨 컴프레서 모듈의 적용 재질에 따른 Modal해석을 통해 비교 분석한 결과 Steel재질의 고유진동수는 1차 586.85Hz, 2차 601.77Hz, 3차 725.51Hz로 확인되었으며, Al6061 재질의 에어컨 컴프레서 모듈의 고유진동수는 1차 593.6Hz, 2차 608.9Hz, 3차 728.91Hz로 확인되었으며, Al6061 재질이 Steel 재질에 비해 소폭 높게 형성되었으며, 자동차의 엔진 시동 후 약 30Hz의 진동이 발생하는 데, 보다 높은 진동수가 형성되어 진동 안정성에 대한 문제도 해결 되었음이 확인 된다.

4. 기존 Steel 재질을 적용한 에어컨 컴프레서 모듈은 5.55kg 이며, Al6061 재질을 적용한 에어컨 컴프레서 모듈은 1.96kg으로 기존대비 64.68% 경량화가 가능하다고 확인되며, 화석연료의 사용과 전기자동차와 같은 친환경 자동차에 적용 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCE

1. Hyun Sung Kim, Seok Heum Baek, Dong Seop Han, "Structural Optimization of Variable Swash Plate for Automotive Compressor," KSME, pp.165~171, 2011.
2. Kim. H. S, Han. D. S, Kim. T. H and Han. G. J, "Strength Analysis and Flatness of Swash Plate for A/C Compressor," KSPM 2010 Spring Conference, pp.1341~1342, 2010.
3. Yun-ki Kwon and Geon-ho Lee, "The Design of Suction and Discharge Valve of Automotive Swash Plate Type Compressor," Journal of Fluid Machinery, Vol. 9, pp. 13~18, 2006.
4. Seok Heum Baek, Hyun Sung Kim and Dong Seop Han, "Structural Optimization of Variable Swash Plate for Automotive Compressor Using Orthogonal Polynomials," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 35, pp. 1273~1279, 2011.
5. Dary L.Logan, "A first Coures in the Finite Element Method," THOMSON, pp.759~771, 2006.
6. Jin-woo Kim, "Structural analysis and wearability evaluation of a vehicle's swash plate A/C compressor", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.12 No.5, pp.109-11, 2013.
7. Min, J. K., Jeong, J. H., Ha, M. Y. and Kim, K. S., 2009, "High Temperature Heat Exchanger Studies for Applications to Gas Turbines," Heat Mass Transfer, Vol. 46, pp. 175~186.
8. Reiter, T., Dvorak, G. J. and Tvergaard, V., 1997, "Micromechanical

- Models for Graded Composite Materials.” J. of the Mechanics and Physics of Solid, Vol.45 , No.8, pp.1281~1302.
9. Jang, J. H., Yoon, M. W. and Lee, J. H., 1998, “Computation of Equivalent Material Properties of Woven Fabric Composites Using Homogenization Technique,” Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 22, No.3, pp. 588~594.
 10. Ransom, J. B. and Knight, N. F., 1989, “Global/Local Stress Analysis of Composite Panels,” Computers& Structures, Vol. 37, No. 4, pp. 375~395.
 11. Duque E PN , van Dam CP, Hughes SC . N avi er-Stok es simulations of the NREL Combined Experimentpha se II rotor, a collaboration. AIAA Paper 99-0037,1999
 12. S ung-H wan B oo, J ong-Hw an L im , Jong-Chul Huhand Kun-Hoon Kim , “ Torque Modeling of a WindTurbine S ys tem ”, C hej u N at’l Univ. Res. Insti. Ind.Tech. Jour. . Vol.10, N o. 2 pp.16-21, 1999.
 13. Young, Y.L., 2008, “Fluid-structure interaction analysis of flex-ible composite marine propellers,” Fluids and Structures, Vol. 24,pp. 799-818.
 14. Lee, J.H. Park, S. Kim, D.H. Rhee, S.H. Kim, M.C., 2012,“Computational methods for performance analysis of horizontalaxis tidal stream turbines”, Applied Energy, Vol. 98, pp. 512-526.
 15. Su, T. J. and Craig, Jr. R. R., 1991, “Krylov Model Reduction Algorithm for Undamped Structural Dynamics Systems,” J. Guid. Control Dyn., Vol. 14, pp. 1311~1313.
 16. Han, J. S., 2006, “Efficient Vibration Simulation Using Model Order Reduction,” Transactions of the KSME A, Vol. 30, No. 3, pp. 310~317.
 17. Han, J. S., 2007, “Eigenvalue and Frequency Re-sponse Analyses of a Hard Disk Drive Actuator Using Reduced Finite Element Models,”

- Transactions of the KSME A, Vol. 31, No. 5, pp. 541~549.
18. Joo, B. H. and Lee, B. C., 2003, "Improvement of Computational Efficiency of the Subspace Iteration Method for Large Finite Element Models," Transactions of the KSME A, Vol. 27, No. 4, pp. 551~558.
 19. Park, J. C, Park, S. Y, Cho, H. K. and Park, Y. S., 2012, Identifying Dynamic Characteristics of the Traction Motor Housing For the Noise reduction of the Electric Vehicle, Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 818~823.
 20. Zhu, Z. Q. and Howe, D., 2000, Influence of Design Parameters on Cogging Torque in Permanent Magnet Machines, IEEE Trans. on Energy Conversion Vol. 15, No. 4, pp. 407~412.

감사의글

그동안 본 논문이 완성되기 까지 학문적인 체계와 가치로 지도해주신 김재열 교수님께 먼저 머리숙여 감사의 인사를 올립니다. 그리고 지난2년간의 학위과정에서 깊고 높으신 학식을 바탕으로 헌신적인 지도를 아끼지 않으셨던 김지훈 교수님, 김경석 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

대학원 생활에 부족한 저를 격려해주시고 가르침을 주신 나노계측메카트로닉스 실험실 김상유 박사과정의 선배님 그리고 실험실 선후배님께도 감사드리며 본 연구수행에 있어서 방향제시를 해주신 J사 관계자 여러분께도 감사드립니다.

마지막으로 공부하는 기간동안 이해와 배려로 격려해준 아내 이소민씨와 많은 시간을 같이 해주지 못했지만 아빠를 이해해준 큰딸 김가연, 작은딸 김도연, 아들 김기완 그리고 언제나 저를 믿고 신뢰해주시는 부모님께 사랑과 고마움을 전합니다.