

# 1단 저압 축류압축기 성능시험리그 개발

양재준\* · 방정석\* · 이병호\*\* · 박태춘\*\*\* · 강영석\*\*\*

## Development of Low Pressure Axial Compressor Performance Test Rig

Jae-jun Yang\* · Jeong-Suk Bang\* · Byung-Ho Rhee\*\* · Tae-Choon Park\*\*\* · Young-Seok Kang\*\*\*

### ABSTRACT

In this paper, explain to development of low pressure axial compressor performance test rig in KARI. Performance test rig consist of a entrance section, rotor, stator, shaft, rig housing, bearing housing and exit section. Test rig design structural optimization to rotor dynamics analysis of the simplified rotor-shaft assembly and flow analysis of entrance/exit section.

### 초 록

본 논문에서는 항공우주연구원에서 개발중인 1단 저압 축류압축기 성능시험리그의 개발에 대한 내용을 소개하고자 한다. 성능시험리그는 유동 입구부, 동익단, 정익단, 축, 리그 하우징, 베어링 하우징 및 유동 출구부로 구성되어 있다. 로터와 회전축을 단순화하여 회전동역학 해석 결과를 바탕으로 회전축을 설계하고 입·출구 유로의 유동해석을 통해서 시험리그 형상설계를 최적화하였다.

Key Words: Axial Compressor(축류압축기), Rotor Dynamics(회전 동역학)

### 1. 서 론

가스터빈은 압축기, 연소기, 터빈으로 구성되어 있다. 주요 구성품 중 압축기는 원심압축기와 축류압축기로 크게 나뉜다. 원심압축기는 구조가 비교적 간단하며 높은 압력비를 얻을 수 있으나 공기 흡입량이 적어 대형 가스터빈엔진에는 적합하지 않다. 축류압축기는 많은 양의 공기흡입

이 가능하여 높은 추력을 얻을 수 있으나 브레이크 구조가 F.O.D에 의한 구조적 취약한 단점이 있다.

국내의 가스터빈용 압축기 개발 기술은 원심 압축기를 중심으로 산업용 압축기 및 터보차저, 군사용, 소형압축기 등에 대한 기술을 보유하고 있다. 축류압축기 기술개발에 대한 중요성은 국내 산업체에서 인식하고 있으나 연구개발에 대한 실제적인 수행은 미약한 실정이다[1-3].

본 논문에서는 현재 항공우주연구원에서 제작 중인 1단 저압 축류압축기 성능시험리그의 설계

\* (주) 비츠로테크 특수사업부 우주항공팀

\*\* (주) 비츠로테크 대표이사

\*\*\* 한국항공우주연구원 추진기관팀

† 교신저자, E-mail: yangjj@vitzrotech.com

및 제작에 관하여 소개하고자 한다.

## 2. 축류압축기 성능시험리그 설계 및 제작

1단 저압 축류압축기 성능시험리그는 유동 입구부, 동익단, 정익단, 축, 리그하우징, 베어링 하우징 및 유동 출구부로 구성되어 있다. 설계된 압축기의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Design Parameter

|           | LP 압축기 사양 |
|-----------|-----------|
| 단 구성도     | 1단 축류     |
| 압력비       | 1.6       |
| 최고 상대 마하수 | 1.6       |
| 질량 유량     | 15.4kg/s  |
| 입구각       | 0 deg     |
| 출구각       | 20 deg    |
| 회전수       | 22,000rpm |

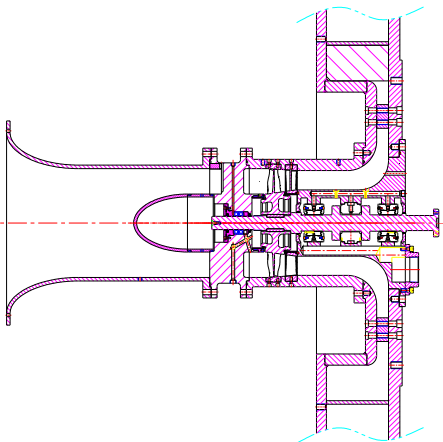


Fig. 1 LP Test Rig Layout

항공우주연구원에서 동익단과 정익단의 공력 해석을 통해 블레이드 형상을 설계하고, 회전축과 베어링 위치는 회전동역학 해석을 통해 위치를 결정하였다. 유동입구부와 리그하우징에는 압축기 성능측정을 위한 다양한 온도/압력센서 포트가 위치하고 있다. Fig. 1은 시험리그의 개념도이다.

## 2.1 동익단과 정익단 설계 및 제작

동익단의 블레이드 갯수는 24개, 정익단은 33개로 설계되어 있다. 동익단은 입구유로와의 3mm의 간극을 두고 랩셀을 이용하여 입구유동의 손실을 최소화하고, 또한 동익단의 Tip Clearance로 0.7mm로 제작하여 압축기 효율을 극대화할 수 있도록 하였다. Fig. 2와 3은 각각 3D 모델링과 제작된 완료된 동익단과 정익단의 형상이다.

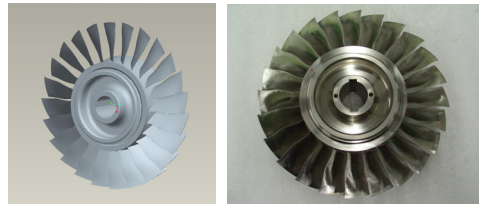


Fig. 2 Rotor

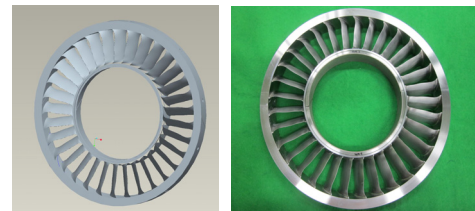


Fig. 3 Stator

## 2.2 회전축 설계 및 제작

앞서 설계된 동익단을 모델링을 이용하여 회전체의 공력회피설계를 위해 상용수치해석 프로그램 Nastran을 사용하였다. Fig. 4는 해석을 수행한 변수들이다. 베어링의 위치에 따른 각각의 고유진동수를 계산하였으며, 최적의 위치를 찾기 위해 반복 수행하였다.

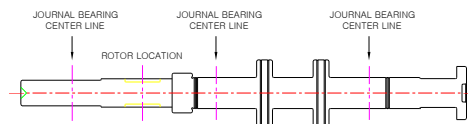


Fig. 4 Analysis Parameter

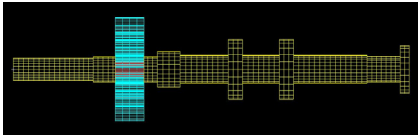


Fig. 5 Mesh Modeling

회전축은 1D, 동익단은 3D요소를 이용하여 Fig. 5와 같이 유한요소모델링 하였다. 회전축은 1D요소에 단면형상을 각각 STS630으로, 동익단에는 Ti6Al4V 재질을 정의하였다. 전방 ball bearing과 후방 radial bearing의 강성값(k)은 각각  $5.8e7 MN/m$ ,  $4.23e8 MN/m$ , 댄핑(c)은 각각  $0$ ,  $1.65e5 KN\cdot s/m$  물성치를 입력하여 축해석을 수행하였다.

그 결과 Table 2에서와 같이 최적조건으로 1차 모드에서 464Hz의 고유진동수 값을 얻었다. 이는 현재 설계/제작중인 압축기 시험리그의 최대 회전수가 22,000rpm임을 감안한다면 충분한 안전율이 확보된 것으로 판단된다.

Table 2. Natural Frequency

|        | Natural Freq.(Hz) |
|--------|-------------------|
| Mode 1 | 464.69            |
| Mode 2 | 603.33            |
| Mode 3 | 946.02            |
| Mode 4 | 1329.20           |

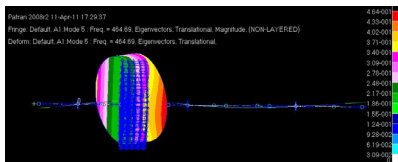


Fig. 6 Analysis result of Mode 1

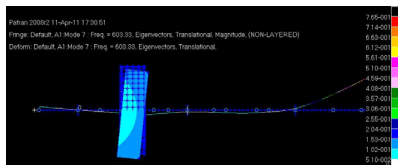


Fig. 7 Analysis result of Mode 2

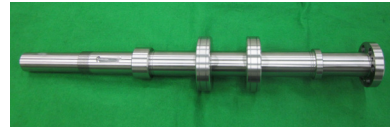


Fig. 8 Shaft

### 2.3 하우징 설계 및 제작

동익단과 정익단의 하우징은 Fig. 7과 같이 설계하였다. 먼저 리그의 전체조립을 위해 동익단을 제외한 모든 단품들이 상·하부로 분리형으로 제작하였다. 동익단과 정익단에는 각각 동·정압을 측정을 위한 압력포트들이 있으며 내부 유동 특성을 알아보기 위한 프로브 이송장치를 추가하였다.[4]

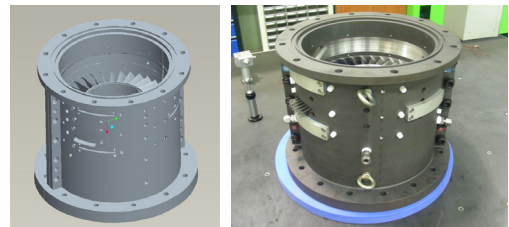


Fig. 9 Rig Housing

Figure 8은 두 개의 radial bearing과 한 개의 Thrust bearing이 위치하여 회전축을 지지해주며, 오일 입·출구 포트가 설치되어 있다.

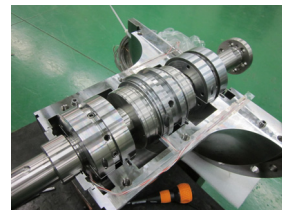


Fig. 10 Bearing Housing

### 2.4 유동 입·출구부 설계 및 제작

압축기 입구 유동은 6개의 strut을 지나 동익단에 유입된다. Strut의 형상은 좌우 대칭인 NACA0011 모델의 Airfoil형상으로 유동손실을 최소화하였다. 입구 Strut 내측에는 rake를 7개씩

3set를 설치하고 정익단 후단에 6개씩 5 set 출구 rake를 반경방향으로 설치하여 입·출구 유동손실을 계산 가능하도록 제작하였다[4]. Fig. 11은 유동해석 변수들로 정익단 후단 내경치수와 베어링 하우스의 외경치수를 고정하고, 길이방향과 폭의 변화에 따른 반복적인 유동해석을 통하여 유로를 최적화하였다.

그 결과 유동 출구부의 내부 직경이 40mm로 최종 결론을 얻었으며 구조적 취약성을 보완하기 위해 유동 확장부 전·후단에 rib를 각각 추가하여 안정성을 증대시켰다. Fig. 13은 제작된 시험리그를 항공우주연구원의 시험실에 설치한 사진이다.

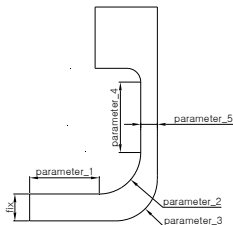


Fig. 11 Analysis Parameter

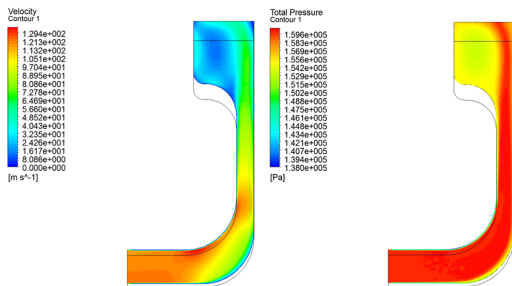


Fig. 12 Flow Analysis of exit section



Fig. 13 Installation of test rig

### 3. 맺 음 말

가스터빈엔진용 1단 저압 축류압축기 성능시험리그의 설계 및 제작 시 필요한 부분에 관하여 간단히 소개하였다.

본 논문에서 기술된 압축기 시험리그의 설계 및 제작 기술은 향후 항공우주연구원과 당사에 게 중요한 기술기반이 될 것이다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 및 한국항공우주기술연구조합이 지원하는 항공우주부품기술개발 사업 중 ‘차세대 소형 고부하 압축기 다분야 통합 설계’ 과제의 일환으로 진행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. 강영석, 박태춘, 양수석 “다단 고부하 축류압축기 공력 설계 및 성능 평가”, 유체기계저널 제12권, 제5호, 2009
2. 박태춘, 한정엽, 강신형 “연구용 저속 축류압축기의 내부 유동 특성에 관한 실험적 연구”, 유체기계저널 제11권, 제6호, 2008
3. 강영석, 박태춘, 임형수, 강신형 “축류압축기 시험설비 및 시험방법 소개”, 유체기계저널 제10권, 제5호, 2007
4. 강정식, 임병준, 양재준, 안이기 “APU용 구심터빈의 공력리그시험”, 대한기계학회 춘계 학술대회, 2009