14. 학사논문 지도교수: 송 성 진

14-1. 천음속 압축기 블레이드의 성능 및 유동 특성

14-2. 입구 유동의 터보펌프 인듀서 흡입성능에 대한 영향

14-3 표면거칠기에 의한 압축기 및 터빈 성능 저하 원인 분석

14-4 정익 슈라우드 실 유출유동에 의해 생기는 이차 유동

14-5 림씰형상이 림씰 누설유동과 주유동 상호작용에 미치는 영향

14-6 축의 동적불안정성 힘 해석 모델 개발

14-7 신재생에너지 발전원 기반의 분산전원 최적 개념설계

실험실: 터보기계 연구실 (Turbomachinery Lab.)
연구실 홈페이지: http://tml.snu.ac.kr
교수 연락처 (02) 880-1667, E-mail: sjsong@snu.ac.kr
담당조교: 김준호 (02) 880-1701, E-mail: kimjonah@snu.ac.kr

천음속 압축기 블레이드의 성능 및 유동 특성

학사논문 지도교수: 송 성 진

비행기의 높은 추력을 얻기 위해서는 압축기를 통해 높은 압력의 공기가 필요하다. 하지만 비행기 엔진이라는 특성 때문에 압축기의 무게는 최소화해야 하므로 압축기의 단 수는 줄어들어야 한다. 이는 단 당 높은 압력비의 압축기가 필요함을 의미한다. 이러한 단 당 높은 압력의 공기를 얻기 위해서는 압축기의 회전속도를 증가시켜야 하는데 압축기의 회전속도가 증가함에 따라 압축기 블레이드는 초음속의 상대속도와 마주하게 되고 이로 인해 충격파가 발생하게 된다. 이러한 충격파는 기존의 아음속 영역의 압축기의 유동의 모습 및 성능을 크게 변화시킨다. 충격파 그 자체로도 큰 에너지 손실을 만들고, 충격파로 인한 압력증가는 블레이드 표면의 경계층을 강한 역압력 구배에 놓이게 만들어 경계층의 박리를 야기한다. 이 외에도 충격파는 블레이드와 케이싱 사이의 틈으로 인해 생기는 볼텍스와 상호작용을 하여 유동의 흐름을 막는 현상을 하는 등 압축기의 불안정성에도 주요한 역할을 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 압축기 효율과 안정성 향상을 위한 연구에 초점이 맞추어 질 것이다. 이를 위해 압축기의 유동을 모사하는 캐스케이드 장비를 이용하여 새로이 설계된 압축기 블래이드 형상에 대한 성능 평가를 한다. 이를 기본 데이터로 하여 블래이드의 형상이 바뀜에 따라 수정 된 부분이 성능과 안정성에 어떠한 영향을 주는지에 대한 분석이 이루어 질 것이다. 또한 쉴리렌 장비를 이용하여 충격파를 이미지화 하고 블레이드 사이의 유동이 어떠한 모습을 갖는지에 대한 분석도 이루어질 것이다.

그림1. 비행기용 엔진

그림2. 압축기 캐스케이드 실험장비

담당조교: 이재민 (jaemin87@snu.ac.kr)

입구 유동의 터보펌프 인듀서 흡입성능에 대한 영향

학사논문 지도교수: 송 성 진

항공우주 발사체 기술 중에서, 액체 연료 로켓 기술은 추력 제어가 가능한 첨단 기술 분야이다. 이중, 연소실로 액체 연료와 산화제를 가압하고 공급해 주는 터보펌프는 설계와 제작이 가장 어려운 액체로켓의 핵심부품이다. 터보펌프에서 일어나는 불안정성과 성능저하의 가장 주요한 원인은 cavitation 현상이다. 터보펌프의 핵심 부품 중 하나인 인듀서는 터보펌프에서 발생하는 cavitation을 미리 발생시켜 터보펌프의 성능 저하를 막아주는 역할을 한다. 그러므로 인듀서에서도 다른 펌프들과 마찬가지로 cavitation과 이로 인한 불안정성과 흡입성능 저하가 발생한다.

본 연구는 실험을 통하여 인듀서 유동장을 물리적으로 이해하는데 초점을 맞추고 있다. 다양한 센서화 고속카메라를 이용한 가시화를 통해서 인듀서에서 발생하는 캐비테이션 현상을 확인하고 캐비테이션에 의한 성능 하락 및 불안정성을 측정한다. 이를 바탕으로 다양한 조건에서 캐비테이션이 인듀서의 성능 하락 및 불안정성에 어떠한 영향을 미치는지 규명하는 것이 연구의 목적이다. 항공우주연구원과의 지속적인 교류로 최근 나로호 발사 이후 한국형 발사체를 제작하는데 직접적인 도움을 줄 것으로 기대한다.

그림 1. KSLV-1

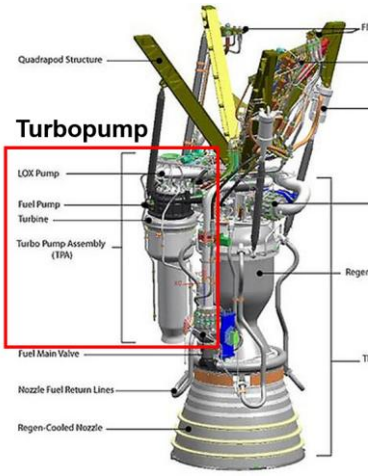

그림2. Rocket feeding system

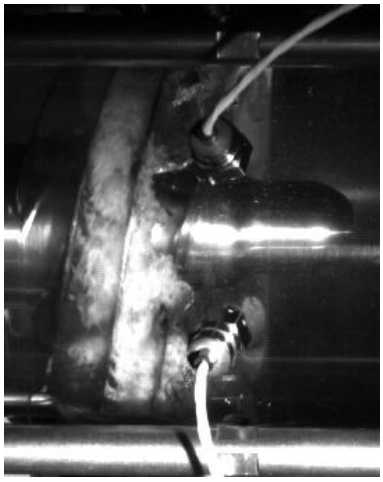

그림3. Inducer cavitation

담당조교: 김준호 (kimjonah@snu.ac.kr)

표면거칠기에 의한 압축기 및 터빈 성능 저하 원인 분석

학사논문 지도교수: 송 성 진

복합발전 및 민,군용 항공기의 엔진으로 사용되는 가스터빈의 성능은 외부 입자의 유입 및 표면 파손에 의한 표면거칠기의 증가에 의해 저하된다. 이러한 성능저하는 연료 소모량 및 비용증가와 더불어 안정적인 비행을 저해한다. 표면거칠기에 의한 성능 저하의 주 원인은 압축기, 터빈 블레이드에서의 난류경계층 증가이다 (그림1). 본 연구는 가스터빈 환경을 모사한 평판 경계층 실험장비를 이용하여 가스터빈에서 표면거칠기에 의한 공력성능의 유체역학적 원인을 규명하기 위한 실험, 분석 연구를 수행한다.

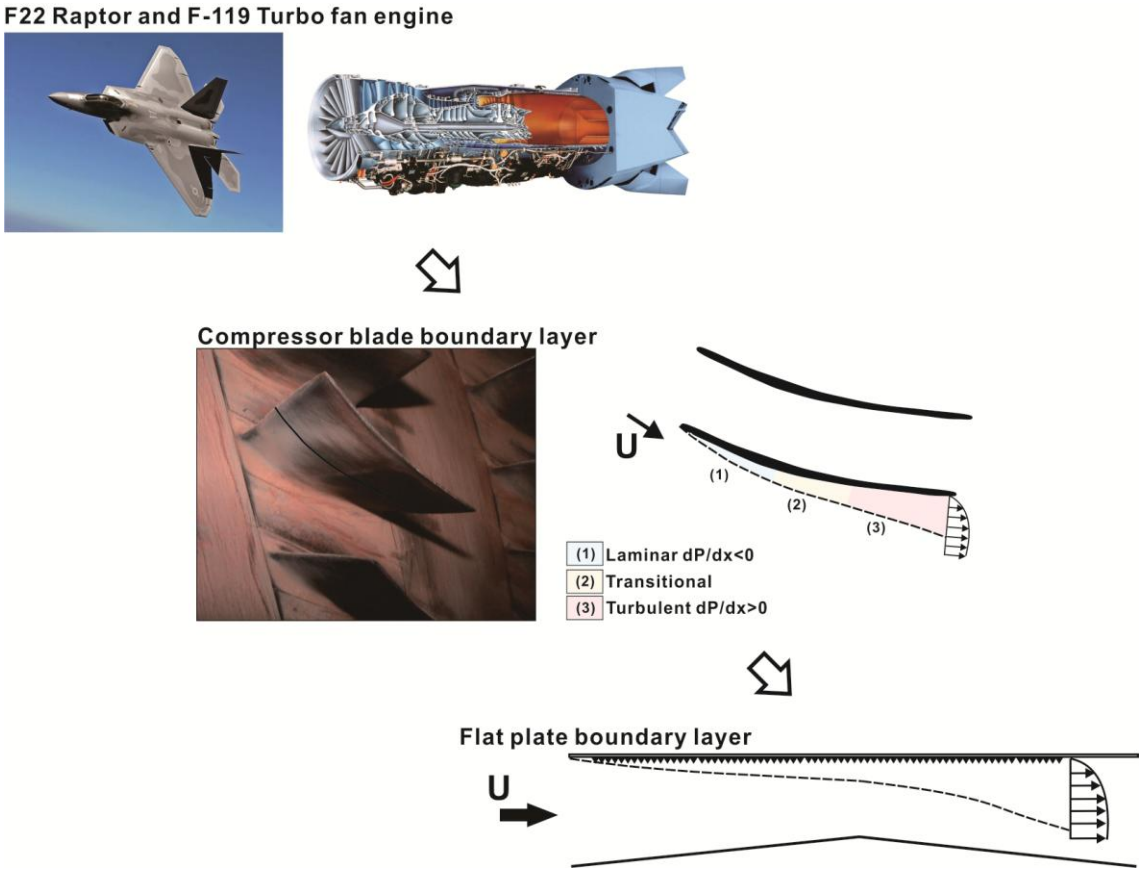

그림 1. **Compressor and flat plate boundary layers with pressure gradients**

담당조교: 정희찬 (jhc891012@snu.ac.kr)

정익 슈라우드 실 유출유동에 의해 생기는 이차 유동

학사논문 지도교수: 송 성 진

축류 압축기는 발전 및 항공우주 분야에서 필수적으로 쓰이는 첨단 장비이다. 축류 압축기는 회전을 하여 흐르는 유동에 에너지를 공급하는 동익과, 유동을 감속시켜 유동의 압력을 높이는 정익으로 구성되어 있으며, 동익과 정익의 한 묶음을 한 단으로 하여 수 단으로 구성되는 것이 일반적이다. 동익은 압축기의 축과 연결되어 회전하며, 정익은 압축기 외부의 케이스에 연결되어 고정되어 있다. 이상적으로는 정익과 동익은 케이스 및 축과의 틈이 0이 되도록 설계되는 것이 좋으나, 제조상의 한계 및 안전 문제로 인해 약간의 틈이 생긴다. 수많은 연구를 통해 이 틈에서 발생하는 이차 유동이 압축기의 성능을 저하시킴을 확인하였으며, 이를 보완하기 위해 슈라우드라고 불리는 테로 정익 및 동익을 감싸고 실(seal)을 사용해 유로의 틈을 줄이는 방법을 사용한다. 이 방법을 통해 압축기의 성능이 향상됨이 밝혀졌으나, 슈라우드 실에서 발생하는 이차유동에 대해서는 자세한 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 정익에 사용된 슈라우드 실에서 발생하는 유출 유동에 의한 이차 유동의 구조를 파악하는 것을 목적으로 한다. 먼저, 유출 유동에 의한 이차 유동의 발달을 유동 가시화 또는 전산유체역학을 통하여 파악한다. 그 후 유출 유동에 영향을 주는 변수를 파악하여 이 변수가 유출 유동에 의한 이차 유동의 구조에 어떤 영향을 미치는 지를 밝힌다.

그림1. 정익과 동익의 구조도

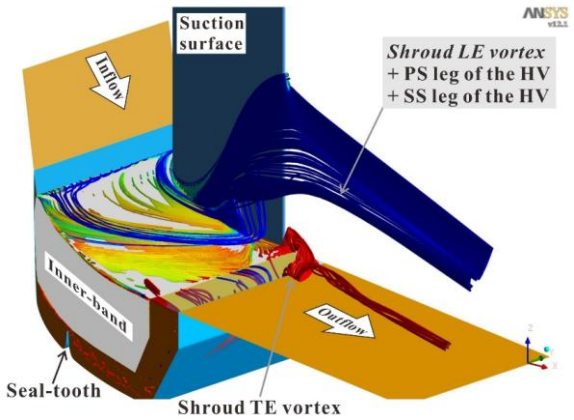

그림2. 슈라우드 실 유출유동에 의한 이차 유동

담당조교: 이재형 (mechkim@snu.ac.kr)

림씰형상이 림씰 누설유동과 주유동 상호작용에 미치는 영향

학사논문 지도교수: 송 성 진

가스터빈의 성능이 향상됨에 따라 터빈부 유동 가스 온도 및 압력이 더욱 높아지고 이로인해 회전하지 않는 터빈 베인부와 회전하는 터빈 블레이드 사이의 공간으로 고온의 가스가 유입되어 주변 구조물을 수명 및 엔진 운용 조건을 낮추게 된다. 이러한 고온가스 유입을 방지하는 장치가 터빈 베인 하부와 터빈 디스크 사이에 장착되는 림씰이다.

림씰용 누설공기는 압축기 후단에서부터 얻게 되는데 요구되는 누설공기량이 많으면 가스터빈 전체 성능이 저하된다. 또한 누설공기는 림씰 출구 통해 가스터빈 주 유로로 배출되는데 이때 주 유로의 유동을 교란시켜 터빈 블레이드의 손실을 증가시킨다. 따라서 시스템 손실 최소화 및 터빈 손실 최소화를 위한 림씰 형상설계관련 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 케비티 크기, 핀 오버랩 길이 등과 같은 림씰의 주요 형상설계변수가 림씰의 씰 성능과 주 유동과의 상호작용에 의한 터빈 블레이드 손실에 미치는 영향을 회전실험리그를 통해 분석하는 것으로서 전산수치해석 및 선형케스케이드 리그시험을 통해 수행된 기존 연구결과보다 로터 회전효과와 터빈 베인과 블레이드의 영향 등 실 가스터빈의 운용환경에 모사할 수 있는 이점이 있다.

실험은 케비티 내외부 압력 및 속도 측정과 혼합가스분석방법 등을 통한 씰 성능과 케비티 유동장을 분석하고 터빈 베인과 블레이드 전후단 압력과 속도를 측정하여 씰 누설공기에 의한 블레이드 성능저하정도와 그 원인에 대한 분석을 수행한다. 전산수치해석방법을 이용하여 자세한 유동현상 분석 및 실험검증을 수행한다.

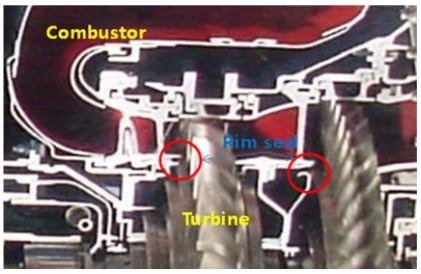

그림1. 림씰 장착 형상(PW100 엔진)

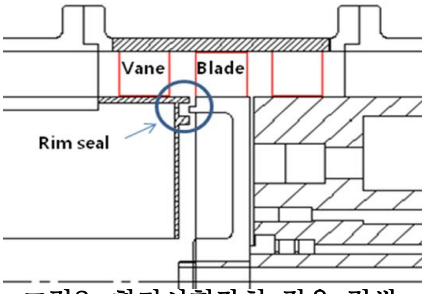

그림2. 회전시험장치 적용 림씰

담당조교: 김유일 (youilkim@snu.ac.kr)

축의 동적불안정성 힘 해석 모델 개발

학사논문 지도교수: 송 성 진

고속, 고출력 압축기 개발에 있어 고효율에 앞서 1 차적으로 가장 중요한 부분의 기기 작동의 안정성을 확보하는 것이다. 기기의 안정성은 불안정성 현상과 밀접한 관계가 있으며, 특히 진동이 중요한 부분이다. 압축기에서 하나의 중요한 진동 가진력은, 압축기의 임펠러에서 유체-구조 상호작용에 의해 발생하는 힘이다. 실제 기기는 그림 1 과 같이 편심을 가지고 있는데, 이 편심에 의해 impeller(rotor) 주변 유동장이 불균일해진다. 이 불균일한 유동이 임펠러에 가진력으로 작용하여, 기기에 진동현상을 야기한다. 이러한 유체-구조 상호작용에 기인한 가진력에 대한 정확한 예측은, 안정적인 기기개발에 있어 중요하다.

압축기는 크게 축류압축기와 원심압축기로 나눠지며, 원심압축기는 그림 2 과 같은 산업용 압축기부터 그림 3 와 같은 액체 로켓의 터보펌프에 걸쳐 다양하게 쓰인다. 본 연구에서는 원심압축기를 대상으로 한다. 원심압축기에서의 유체-구조 상호작용 가진력에 대한 연구는 해석 모델 개발 및 검증 실험을 통해 진행된다. 1 단계로 진행되는 해석 모델 개발은 유체역학의 기본적인 보존 법칙에 기반하여 진행된다. 2 단계로 진행되는 모델 검증 실험은 원심압축기 test-rig 를 구축하고, 1 단계에서 개발된 모델을 검증하는 실험으로 진행된다. 3 단계로는 검증된 해석 모델 및 실험데이터에 기반하여 힘생성 메커니즘 규명을 목표로 한다.

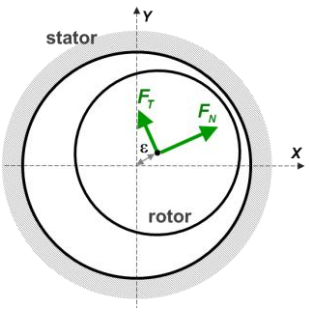

그림1. 편심된 임펠러에 작용하는 가진력

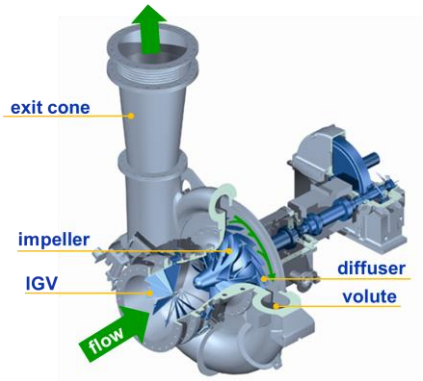

그림2. 원심압축기 구조

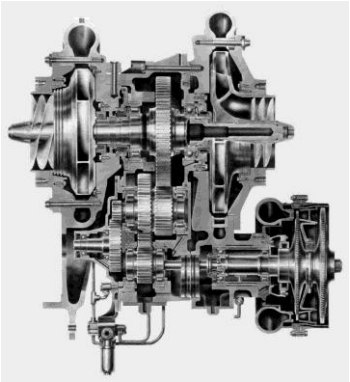

그림3. 로켓 터보펌프

담당조교: 송지은 (jehouse5@snu.ac.kr)

신재생에너지 발전원 기반의 분산전원 최적 개념설계

학사논문 지도교수: 송 성 진

최근 전력수요의 급증과 발전소 용량의 한계로 에너지 안보가 위기를 겪고 있다. 이에 대한 대응책인 분산전원(Distributed Generation)은 에너지 수요처 근처에서 신재생에너지 설비 또는 열병합 설비(CHP)를 운전하여 수요량 만큼의 전기와 열을 공급하는 방식이다. 분산전원에는 중앙전력의 부하 감소와 송전손실의 감소, 신재생에너지 사용을 통한 환경오염 감소, 수요만큼 에너지를 공급하는 합리적 에너지 사용, 정전 등 에너지 비상상황에 대한 안정적인 대처 등 여러 장점이 있어 큰 관심을 받고 있다. 그러나 현재는 일사량, 풍속 등 자연자원의 불확실성에 의한 제어의 어려움, 신재생에너지 발전원에 의한 높은 분산전원 구축 가격 등이 분산전원 구축의 어려움으로 작용한다.
본 연구에서는 다양한 신재생에너지 발전원의 input과 output의 공학적 관계를 모듈화하고, 최적화 알고리즘과 기본적인 경제학 개념을 통해 최소비용의 분산전원 개념설계안을 찾는 기법을 MATLAB을 사용하여 개발한다. 이를 적용하면 시간에 따른 전기와 열 수요패턴, 자연자원의 특성을 알고 있는 에너지 수요처에 가장 저렴한 가격으로 분산전원을 구축할 수 있다.

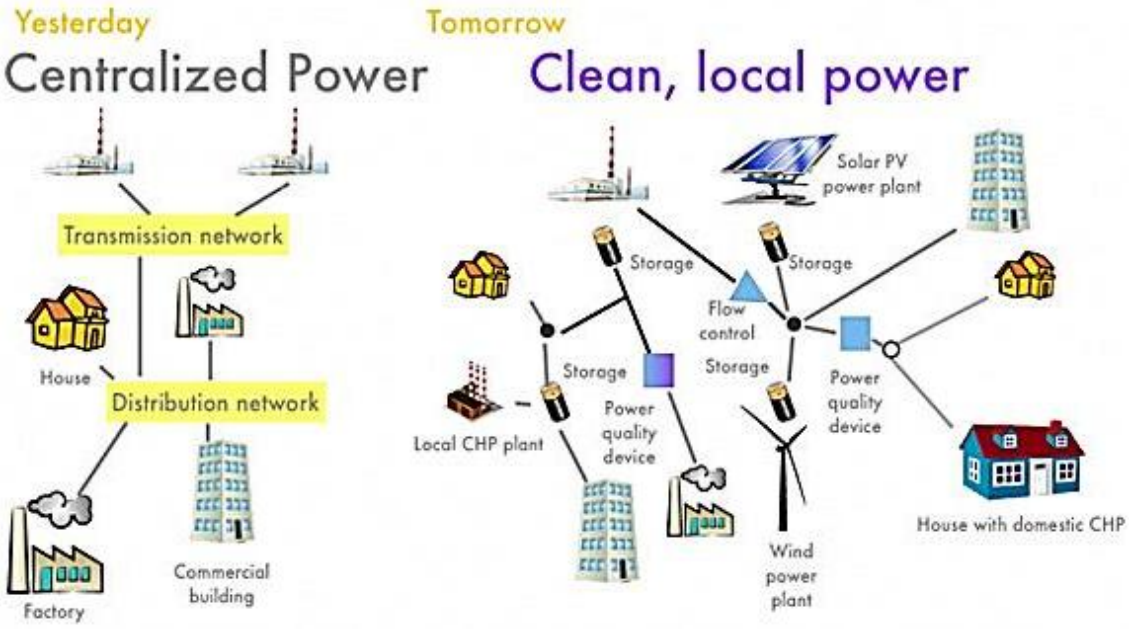

그림1. Schematic of Centralized & Distributed Generation

담당조교: 송정훈 (flygon@snu.ac.kr)