

## 13. 학사논문 지도교수: 송 성 진

13-1. 표면 거칠기와 압력구배에 기인한 압축기와 터빈 손실 증가 원인에 대한 연구

13-2. 압축기 안정성 향상 방법 연구

13-3. 입구 유동이 터보펌프 인듀서 흡입성능에 미치는 영향에 대한 연구

13-4. 충돌 제트에 의한 원형 실린더 주위의 유동특성 연구

13-5. 신·재생에너지 발전원과 열병합 시스템 설비의 설치계획 및 운전패턴 최적화 연구

13-6. 발전용 MCFC-HCCI엔진 하이브리드 시스템 개발

13-7. 거니플랩이 장착된 터보팬에 대한 수치해석

실험실: 터보기계 연구실 (Turbomachinery Lab.)

연구실 홈페이지: <http://tml.snu.ac.kr>

교수 연락처 (02) 880-1667, E-mail: [sjsong@snu.ac.kr](mailto:sjsong@snu.ac.kr)

담당조교: 신주현 (02) 880-1644, E-mail: [asuna1@snu.ac.kr](mailto:asuna1@snu.ac.kr)

## 13-1. 표면 거칠기와 압력구배에 기인한 압축기와 터빈

### 손실 증가 원인에 대한 연구

학사논문 지도교수: 송 성 진

고온, 고속, 고압 환경에서 작동하는 가스터빈은 블레이드의 오염(Fouling) 및 침식(erosion)으로 인한 표면 거칠기 증가로 인해 성능이 저하된다. 표면거칠기에 의한 성능저하의 주 원인 중 하나는 표면거칠기에 의한 압축기 및 터빈 profile loss 의 증가에 있다. 이러한 profile loss 의 증가는 표면거칠기와 더불어 유동의 압력구배에 영향을 받는다.

이 연구에서는 터빈 블레이드 거칠기 및 압력변화에 따른 손실 증가 원인에 대한 기초연구로서, 평판(flat plate)에 서로 다른 표면 거칠기와 순/역 압력 구배를 가하면서 유동의 정상/비정상 특성을 연구한다. 이를 위해서 균일한 유동을 생성하기 위한 풍동장비 및 Hot wire anemometry, Pitot probe 등이 이용되며, 이를 통해 배재두께, 운동량 두께 등 경계층의 특성을 파악하고, 난류 경계층의 시간평균 속도장 및 난류강도 분포를 연구한다. 이를 통하여 평판 유동에서 다양한 표면 거칠기 및 압력 구배가 유동장의 특성에 미치는 영향을 조사하고, 손실 증가의 mechanism 을 찾아내는 것이 이 연구의 목적이다.

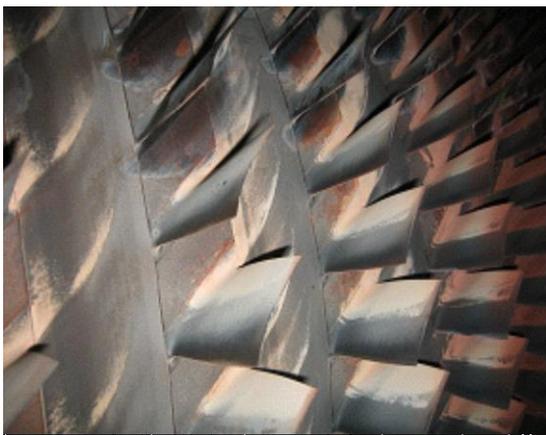


그림 1. Roughened blades

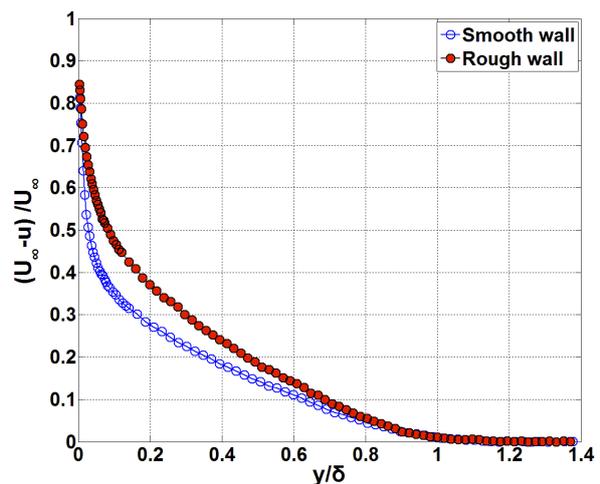


그림 2. Roughness effect on velocity defect

담당조교: 신주현 (asuna1@snu.ac.kr)

## 13-2. 압축기 안정성 향상 방법 연구

학사논문 지도교수: 송 성 진

압축기는 저유량의 운전영역에서 높은 압축비를 갖는다. 그러나 고압축비를 위해 계속해서 유량을 줄이면 어느 순간 갑자기 압축기는 안정한 상태에서 불안정한 상태로 넘어가게 되는데 이를 스톨이라고 한다. 일단 스톨이 발생하면 압축기의 압력비가 현저하게 떨어지고, 효율 또한 낮아지며 블레이드의 심한 진동을 야기시켜 물리적 손상을 줄 수 있다.

본 연구에서는 Axial skewed slot 유형의 케이싱트리트먼트를 적용하여 스톨억제효과를 확인하고, 그 억제 메커니즘을 분석한다. 뿐만 아니라 압축기 날개의 각도를 조절하여 spike 와 mode 유형의 스톨선구신호를 구현하여 케이싱트리트먼트의 스톨억제효과가 스톨선구신호에 따라 어떠한 차이가 발생하는지 확인하고, 그 원인을 규명한다.



그림1. Axial skewed slot

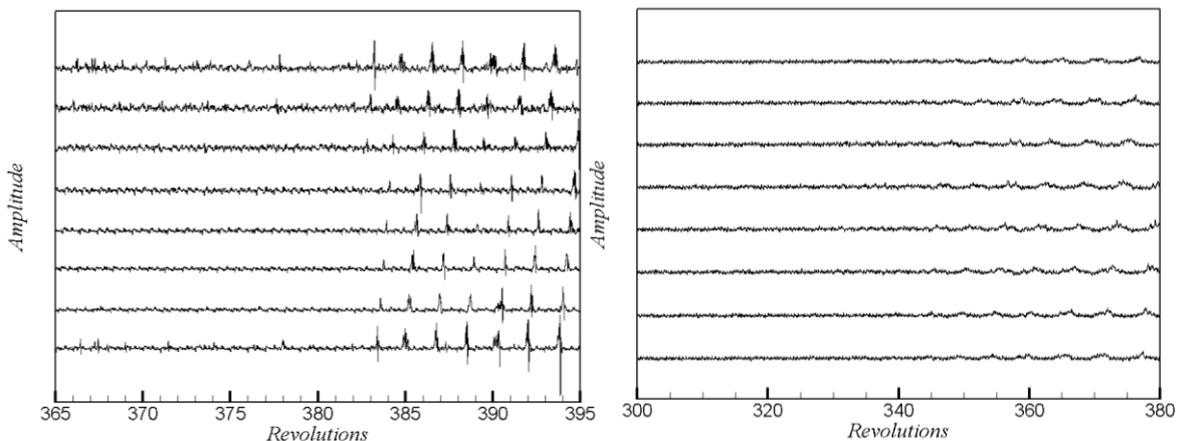


그림2. Stall inception, spike(left) and mode(right)

담당조교: 배효조 (bbgbhj1@snu.ac.kr)

### 13-3. 입구 유동이 터보펌프 인듀서 흡입성능에 미치는 영향에 대한 연구

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 공급해주는 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. 실험 장비 설계를 위한 변수들을 정리하고, 실험을 위한 장비를 설계, 제작한다. 또한 인듀서 상·하류 유동을 프로브로 측정하고 인듀서 내부를 가시화하는 방식으로 KSLV II 인듀서 성능 실험을 수행한다. 본 연구에서는 인듀서 입구에 곡관을 설치하여 실제 터보 펌프에서와 같이 불균일성을 주어 곡관의 형상에 따른 인듀서에서의 성능을 측정하는 것과 온도 변화에 따른 인듀서의 성능을 측정하고 분석할 것이다.

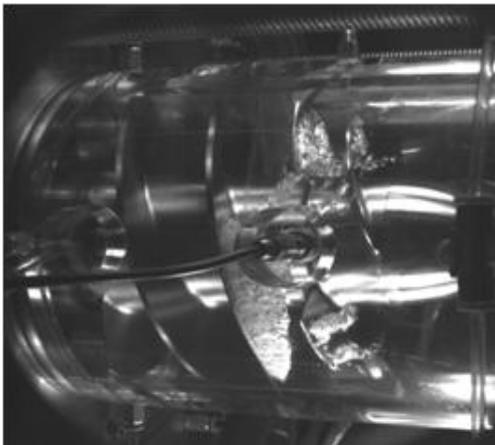


그림 1. Cavitation

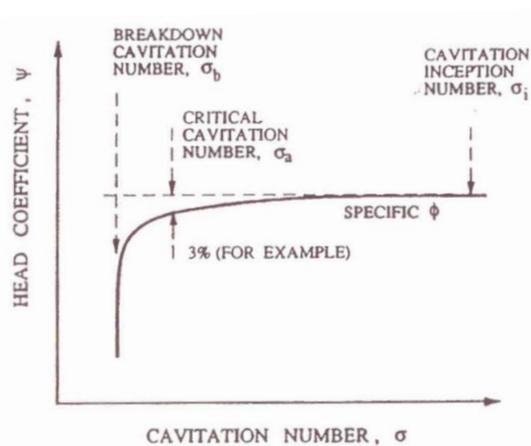


그림 2. Cavitation number vs. Head coefficient

담당조교: 김준호 (kimjonah@snu.ac.kr)

## 13-4.충돌 제트에 의한 원형 실린더 주위의 유동특성 연구

학사논문 지도교수: 송 성 진

고효율, 소형 경량화가 필요한 항공기, 자동차 분야, 우주 산업의 구조재, 충격 흡수기, 연료 전지, 필터 등 여러 분야에 이용되는 발포금속은 사용분야가 점점 확대되고 있는 추세이다. 발포금속 제조과정 중 중요한 부분인 냉각과정에서 냉각 방식이 뛰어난 제트 냉각 방법이 널리 이용되고 있다. 따라서 본 연구의 목표는 용광로를 모방한 원형 실린더를 이용해 충돌 제트 냉각의 유동특성을 규명하는 것이다.

실린더의 크기, 충돌제트와 실린더 간의 거리를 변수로 해서 실린더 주위 유동의 속도장, 압력을 측정한다. 유동의 속도장을 측정하는데 PIV(Particle Image Velocimetry)가 사용된다. PIV는 짧은 시간 간격( $\Delta t$ )으로 찍은 두 장의 사진으로 유동 입자의 경로, 속도를 파악할 수 있다. PIV의 장점은 압력 프로브와 열전대를 이용해서 구하는 개략적인 유동장 보다는 실제 유동장을 확인할 수 있고, 광범위한 영역의 속도장을 한번에 측정할 수 있다. PIV 장비의 구성장비로 레이저와 고속 카메라가 있다. 우리가 관측하고자 하는 평면에 레이저를 비추면 유동을 따라서 흐르는 주입된 작은 입자들이 레이저 빛을 산란시키고 그 산란된 빛을 고속카메라로 찍어서 사진으로 저장한다. 저장된 사진을 프로그램으로 분석하면 각 입자들의 이동 경로와 속도를 구할 수 있다.

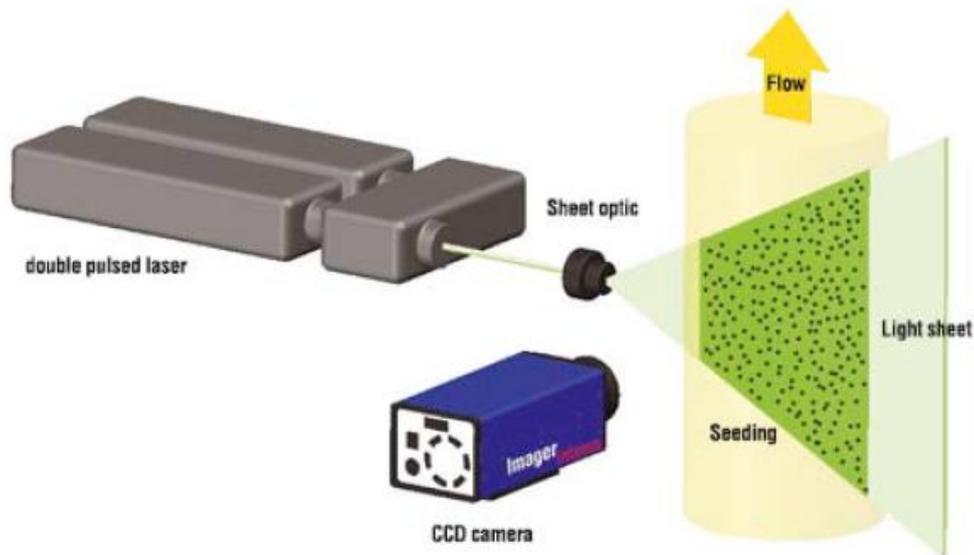


그림 1. PIV system

담당조교: 김동일 ([di0917@snu.ac.kr](mailto:di0917@snu.ac.kr))

## 13-5. 신·재생에너지 발전원과 열병합 시스템 설비의 설치계획 및 운전패턴 최적화 연구

학사논문 지도교수: 송 성 진

지금까지의 에너지 시스템 설계는 전력, 열, 냉방 등의 에너지 수요를 개별적으로 고려함으로써 장비의 과대설계, 그에 따른 비용과 에너지 낭비 등의 한계를 낳았고, 고유가 시대를 감안할 때 문제가 심각한 실정이다.

위 문제를 해결하고자 제시된 새로운 형식의 에너지 관리방식인 Smart Energy Solution(이하 SES)은 모든 수요와 공급을 통합적으로 고려하며, 사용자의 24 시간 · 365 일동안의 실제 사용패턴을 정확히 따르는 에너지 공급패턴을 구해 에너지 낭비와 운전비용을 최소화하는 것을 지향한다. 실제로 SES 를 통해 대상 에너지 시스템의 에너지 수요를 만족하는 최소비용의 에너지공급 패턴을 구할 수 있으며, 신·재생에너지의 종류에 따른 예상 발전량 및 이용률을 신뢰성 있게 제시할 수 있다.

본 연구는 MATLAB 기반의 SES 프로그램을 사용해 신·재생에너지를 사용하는 공공건물의 신·재생에너지 이용률을 평가하고, 에너지 수요를 충족하는 최소비용의 에너지공급 패턴을 구함으로써 대상 에너지시스템에 필요한 에너지 공급 장비, 특히 신·재생에너지 장비의 설치와 운전 계획을 올바르게 세우는 것을 목표로 한다.

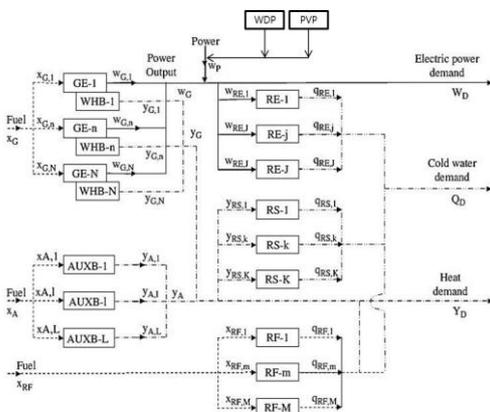


그림1. Schematic of Integrated System

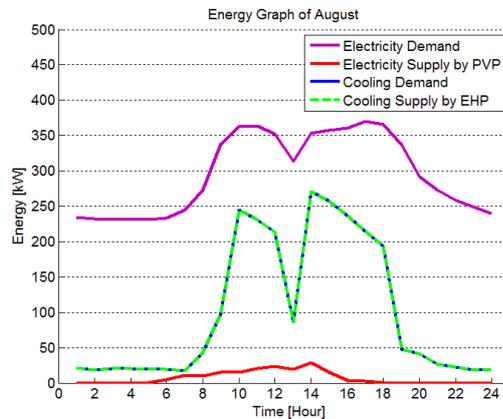


그림2. Supply & Demand Curve of Energy

담당조교: 신주현 (asuna1@snu.ac.kr)

## 13-6. 발전용 MCFC-HCCI 엔진 하이브리드 시스템 개발

학사논문 지도교수: 송 성 진

MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell : 용융탄산염 연료전지)는 높은 열효율, 높은 환경친화성 및 650°C의 고온에서 운전되는 특성을 가지고 있다. 그리고 HCCI(Homogenous Charge Compression Ignition)엔진은 고효율과 NOx의 저감으로 SI엔진의 대안으로 떠오르고 있다. 이런 두 발전장치의 장점을 모아 MCFC-HCCI엔진 하이브리드 시스템을 개발한다. 이와 같은 하이브리드 시스템은 MCFC에서 반응하지 않고 나오는 연료를 한번 더 연소시키기 때문에 더 높은 효율과, 추가적인 동력을 기대할 수 있다. 그리고 MCFC에서 반응하고 나온 가스의 높은 열 에너지는 열 교환을 통해 재사용한다.

본 연구는 이와 같은 하이브리드 시스템의 MCFC의 입출구 온도 조건, 엔진 사이즈, 압축비 및 열 교환기의 작동한계를 고려하여 전체 시스템의 디자인포인트를 분석함과 동시에 연료전지와 엔진의 시스템 시동에 관한 시나리오를 제시한다.

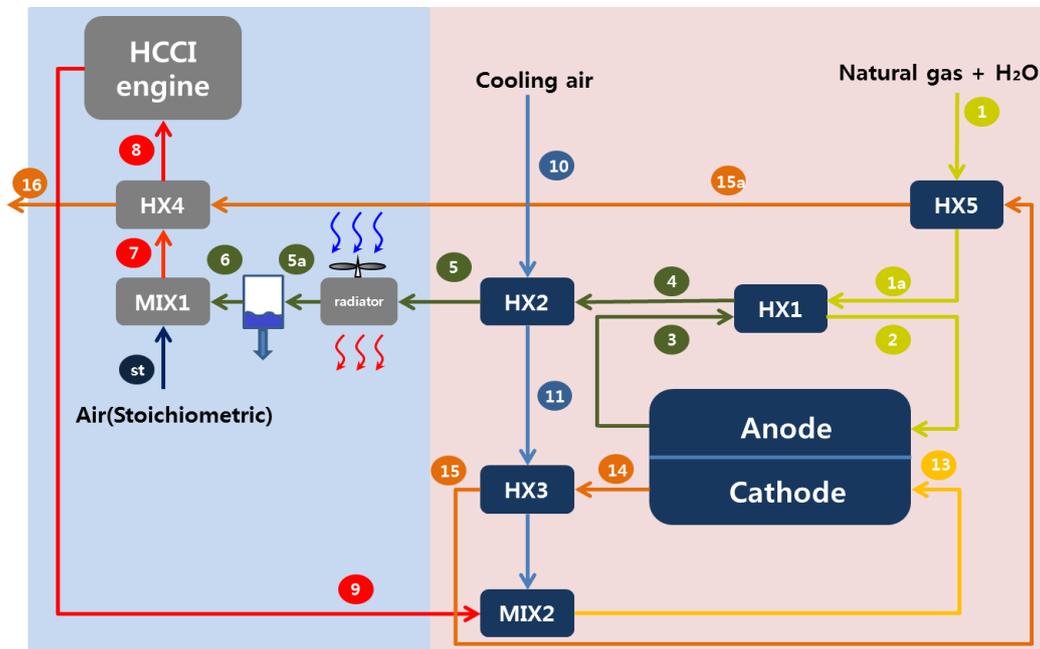


그림 1. Hybrid system configuration

담당조교: 정지영 (jirung27@snu.ac.kr)

## 13-7. 거니플랩이 장착된 터보팬에 대한 수치해석

학사논문 지도교수: 송 성 진

터보팬은 냉각, 통풍, 진공, 먼지 제거 등 다양한 산업 분야에 많이 사용되고 있다. 대표적인 것으로 컴퓨터 냉각팬, 천정 환풍기, 냉장고팬, 에어컨팬 그리고 자동차 냉각팬 등이 있다. 이러한 터보팬은 일반적으로 대기 조건에서 작동하며 낮은 레이놀즈 수의 범위를 갖는다. 낮은 레이놀즈 수의 범위에서 작동하는 터보팬은 층류박리로 인해 좋은 성능을 내지 못한다.

따라서 본 연구에서는 터보팬의 성능을 향상시키기 위해 팬 블레이드 압력면의 trailing edge 에 다양한 형상을 갖는 거니플랩을 설치하여 거니플랩이 터보팬의 공력 성능에 미치는 효과를 알아보고자 한다. 현재 실험을 통해 얻은 터보팬의 압력계수와 효율 등의 데이터와 CFD 시뮬레이션을 통해 연구를 진행하고 있다.

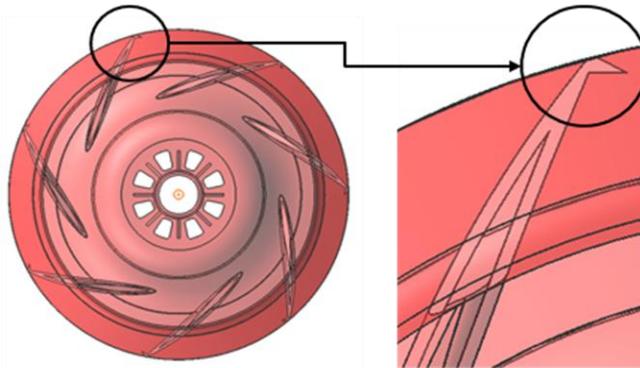


그림 1. Gurney flap of turbo-fan

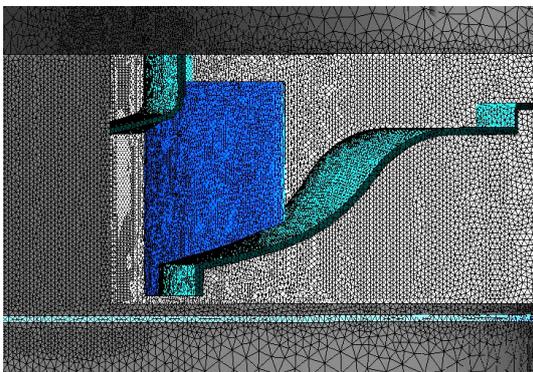


그림 2. Mesh for CFD simulation

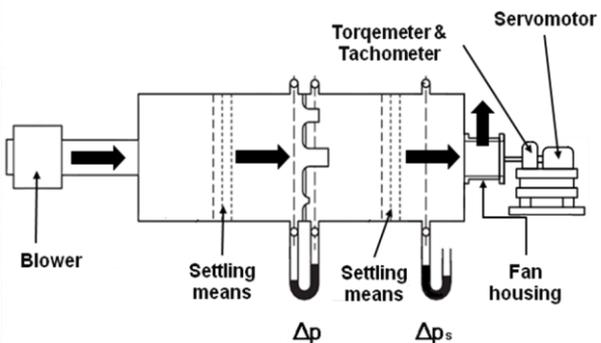


그림 3. Schematic of experimental facility

담당조교: 김민지 (iallways@snu.ac.kr)