

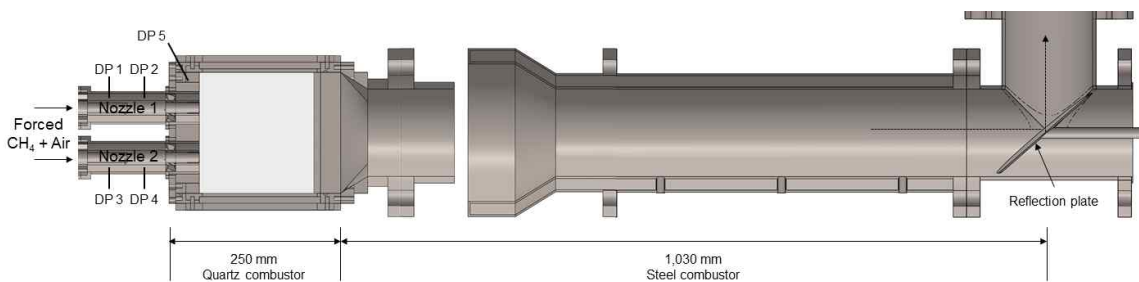
모델 가스터빈 연소기에서의 연소 현상 및 전달함수 계측

최근 환경에 관심이 증가하면서, 배기가스 배출에 대한 많은 규제들이 생겨나면서 친환경적인 엔진개발에 관련된 많은 연구들이 진행되고 있다. 화석연료를 사용하는 가스터빈 분야에서 친환경적인 엔진 개발로의 흐름은 피해갈 수 없는 이슈가 되고 있다. 이로 인해 배기가스 배출을 줄이기 위해 많은 연구들이 진행되었고, 현재 가장 효과적이라고 알려져 있고 널리 사용되는 방식이 희박예혼합 방식의 연소방식이다. 희박예혼합 연소 방식은 연료를 완전하게 연소시키기 위해 필요한 산화제의 양보다 더 많은 산화제를 연소 전에 미리 완전하게 혼합한 뒤 연소를 시키는 방식을 의미한다. 이러한 희박예혼합 방식의 적용을 통해 연소온도를 낮출 수 있기 때문에 NOx를 비롯한 배기가스 배출을 현저하게 줄일 수 있다.

이러한 희박예혼합 방식의 연소방식은 배기가스 저감이라는 장점이 존재하지만, 연소실 내부의 **연소불안정** 현상이 일어나기 쉽다는 단점을 가지고 있다. 연소불안정이란, 연소실 내부에서 연소현상이 불안정하게 일어나는 것을 의미하며, 이는 보통 큰 압력섭동과 화염의 떨림을 동반하기 때문에 가스터빈 하드웨어에 영향을 주어 결함을 발생시키거나 연소효율을 저감시키는 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 이러한 연소불안정은 일반적으로 연소실 내부의 음향학적 섭동, 화염의 열방출량 섭동 그리고 유동의 속도 섭동이 서로 positive feedback 관계에 있을 때 발생한다고 알려져 있다.

그렇기 때문에 가스터빈 제작에 있어서 연소불안정 현상의 발생 여부 예측은 가장 중요한 이슈 중 하나이다. 연소불안정 발생 여부 예측에 가장 많이 사용되는 정보가 화염전달함수이다. 화염전달함수란, 인위적으로 연소실 전단에서 연료 및 산화제에 유동에 속도섭동을 만들어 주어 화염의 응답성을 관찰하는 방식으로 측정하게 되어, 어떤 주파수의 속도 섭동에 대해 화염이 큰 반응성을 보이는지 확인하는 방법이다.

이번 주제에서는 모델 가스터빈 연소기에서 화염전달함수 계측을 목표로 하며 관련된 연소 현상의 계측을 목표로 한다.



모델 가스터빈 장치 개략도

담당조교 : 곽상혁 (jamva1234@snu.ac.kr)

기체 중심 스월 동축형 분사기의 내부 가진에 따른 액적 크기 응답 특성 연구

로켓의 엔진 개발에 있어서 가장 중요하게 여기는 요소 중 하나는 바로 연소 불안정 문제이다. 연소 불안정은 연소실 내부의 음향학적 공진, 열방출량 섭동 그리고 연료 분포의 불균등성 등이 서로 상호작용하여, 그 결과 화염이 불안정해지는 현상을 의미한다. 이러한 연소 불안정은 연소기 및 엔진의 효율을 저감시킬 뿐만 아니라 연소실 내부가 손상시키거나 심한 경우에는 엔진 시스템을 폭발시킬 수 있다.

이러한 연소불안정 문제를 해결하기 위해, baffle 등의 추가적인 구조물을 엔진 내부에 설치하여 화염을 안정시키기도 하지만, 이는 장기적으로 전체 시스템의 질량이 증가하고 엔진의 효율이 감소한다는 단점이 존재한다. 따라서 연소불안정 현상을 근본적으로 저감시키기 위해서는 연소불안정을 구성하는 요소들을 미리 차단하여 피드백 순환을 끊을 필요가 있다. 이에 본 연구는 위의 요소들 중에서 연료 분포의 불균등성 문제에 주목하였다. 분사기로부터 유입되는 추진제의 유량은 엔진 내부 화염의 세기와 직접적인 연관이 있기 때문에, 연료 분포의 안정성을 확보하는 것이 연소 불안정 문제를 해결하는 핵심적인 방법 중의 하나이다.

한편 이러한 연료 분포의 불균등성은 분사기 자체의 기하학적인 특성에 기인할 수 있다. 시스템에 외부 진동이 가해질 때 그 진동의 주파수가 분사기 형상에 의해 결정되는 공진주파수와 일치한다면, 분사기 내부에 외부 진동의 영향이 극대화된다. 아래의 그림은 안정적인 분무 모습과 분사기의 기하학적 특성에 의해 불안정이 발생한 경우의 분무 모습이다. 기체 중심 스월 동축형 분사기의 기체 산화제 공급 라인의 길이에 의해 분사기 내부의 공진주파수가 결정되고, 그에 일치하는 주파수의 진동을 가했을 때 액체가 밀한 부분과 소한 부분이 주기적으로 나타났다.

이러한 형태의 분무 불안정을 다양한 실험 조건에서 분석하여, 분사기의 기하학적 특성이 분사기에서 분무된 액체 연료의 미립화에 끼치는 영향을 알아보고자 한다.



Figure 1. 비가진 시 분무 모습



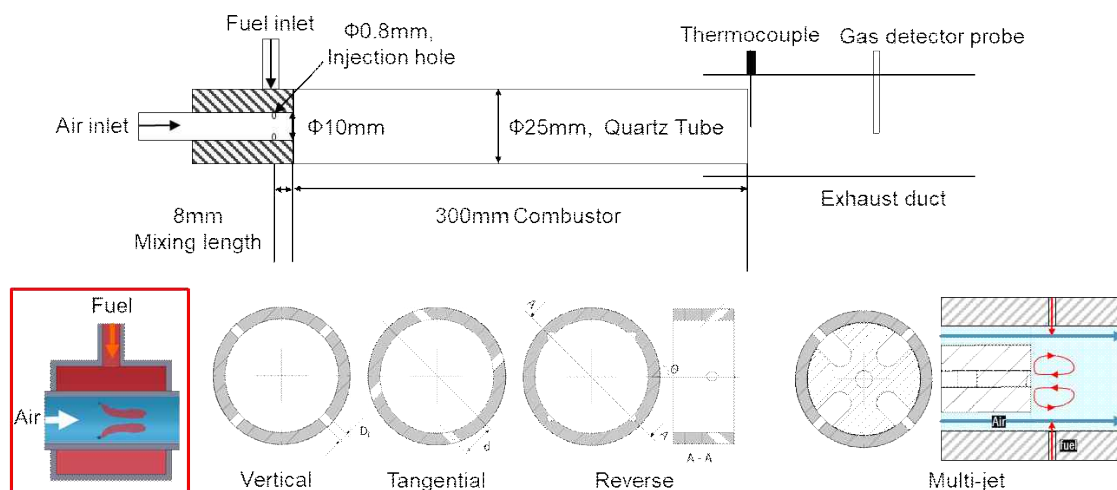
Figure 2. 공진 주파수 가진 시 분무 모습

마이크로믹서 연소기에서의 연소특성 파악

전세계적으로 대기 환경 오염에 대한 관심이 증가함에 따라, 에너지 발전 분야에 대한 규제가 강화되고 있다. 가스터빈 발전에서 주 규제 배기 성분은 질소산화물(NOx)과 일/이산화탄소(CO, CO₂), 그리고 최근 이슈가 되는 미세 먼지의 주 성분이 되는 미연탄화수소(UHC) 등이 있다. 수소 연료는 연소 시 탄소 산화물을 배출하지 않는 점으로서, 미래 청정 연료로서 주목받고 있다. 하지만, 수소 연료의 높은 화염 속도로 인해 역화 문제가 발생하기 때문에, 기존 가스터빈 장치에서는 수소 연료의 도입이 어렵다. 기존의 high-swirl 가스터빈의 경우, 수소를 주 연료로 사용하는 것이 제한적이다. 이는 swirler로 인해 유동 속도가 감소하고, 강한 vortex-breakdown 현상으로 인해 flashback 현상이 발생하기 때문이다. swirl 연소기는 높은 혼합과 강한 재순환영역으로 화염을 안정적으로 유지시킬 수 있었으나, 수소를 사용함으로써 이것이 오히려 안정성을 해치는 요인이 된 것이다. 따라서 새로운 형태의 연소기가 연구되고 있다.

마이크로믹서(Micromixer)연소기는 다수의 소형 노즐을 사용하여, 높은 축방향 속도를 유지하면서 연료의 혼합을 극대화하고 화염을 연소실 전반으로 분산시켜, 화염의 고온부를 최소화하는 동시에 화염의 연소실 내 체류시간(residence time)을 감소시켜 최종적으로, NOx 배출을 감소시키는 특성을 지닌다. 배기 성분 중 NOx는 화염 온도와 체류시간에 큰 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 현재 다양한 연구기관에서 마이크로믹서 연소기에 대한 연구가 진행 중이며, 그 중 독일 Aachen 공대와 일본 Kawasaki 중공업은 협업을 통해 현재 5MW 출력의 실스케일 연소기를 제작하여 실험 운전 중에 있다. 또한 GE, Parker-Hannifin, Mitsubishi, 등의 기업에서도 유사한 원리의 연소기를 제작하여 수소 연소 또는 수소 함량이 높은 연료의 연소기로서 사용하기 위해 연구를 진행 중에 있다.

본 연구에서는 마이크로믹서 연소기에 사용된 단일 노즐에 대한 특성을 분석한다. 하나의 노즐을 통해 다양한 혼합 방식에 따른 화염의 특성을 파악하고, 궁극적으로 연소의 배기 특성과 연소 불안정 특성에 대한 분석을 진행한다.



달탐사 착륙선 개념설계 및 지상실험 설계

1950년대 말 구소련과 미국의 우주 경쟁 속에서 달탐사의 서막이 열렸다. 이후 경쟁이 점차 식으면서 정치적, 재정적 문제로 달탐사의 효용성에 대한 회의적 시각이 뒤를 따르게 되었다. 그러나 1980년대부터 달탐사와 관련된 여러 가지 아이디어가 대두되며 전 세계의 이목이 다시 달로 쏠리고 있다. 2000년대에 들어서는 미국과 러시아를 포함한 일본, 중국, 인도 등이 달탐사를 위한 연구를 진행하고 있는 가운데, 최근에는 중국의 달탐사 착륙선 창어 4호가 세계 최초로 달의 뒷면에 착륙하기도 하였다.

국내에서도 달탐사를 위한 계획이 세워져 있다. 한국항공우주연구원에서는 달탐사 착륙선의 지상시험모델[그림 1]을 개발한 바 있으며, 최근 발표된 ‘제3차 우주개발 진흥 기본계획’에 따르면 2030년 이전까지 달탐사 착륙선 발사를 목표로 하고 있다.

달탐사 착륙선의 주요 임무는 우주 환경에서 안전하게 연착륙하는 것으로, 추력조절이 쉬운 추진 시스템을 비롯한 자세 제어 시스템이 확보된다면 이러한 임무를 수행하는 데 큰 역할을 할 수 있을 것으로 보인다. 미국 NASA의 Project Morpheus에서 개발 중인 행성 표면 수직 이착륙용 착륙선 Morpheus lander[그림 2]가 그 예시로, 미국 Purdue University에서 제작한 4:1의 추력비를 가지는 엔진이 사용된 바 있다.

본 연구실에서는 이러한 추진 시스템 개발과 더불어, 달탐사 착륙선 전체에 대한 개념설계를 위한 문헌 조사 및 기초 연구를 수행하고자 한다. 연구는 달탐사 착륙선과 같은 복잡한 시스템의 설계 사례 및 이와 관련된 사전연구를 조사하여 착륙선의 기본적인 구조에 대해 파악한 뒤 탑재체 중량, 추력 등의 요구조건을 결정하여 이를 바탕으로 개념설계를 수행한 뒤 달 착륙을 지상에서 모사하는 실험을 고안하는 순서로 이루어질 예정이다. 이로써 시스템 공학의 관점에서 달탐사 착륙선 개발에 대한 기초적인 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 1] 한국항공우주연구원
달 착륙선 지상시험모델



[그림 2] NASA의
Morpheus lander