

12. 학사논문 지도교수: 윤 영 빈

12-1. 수치해석을 이용한 다중 슬릿형 핀틀 분사기의 분무특성 분석

12-2. 2중 홀형 핀틀 분사기의 기하학적 형상에 따른 분무특성 확인

12-3. 모델 가스터빈 연소기에서의 음향장 및 연소불안정 특성 분석

12-4. 전단동축형 분사기의 분무특성 연구

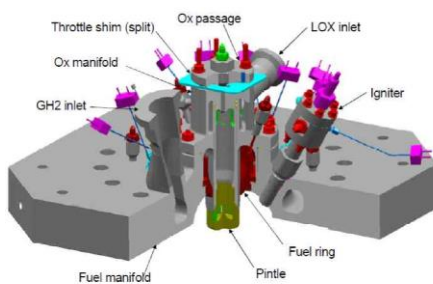
12-1. 수치해석을 이용한 다중 슬릿형 핀틀 분사기의 분무특성 분석

통상의 로켓엔진은 고정된 설계 추력을 가지며, 해당 추력 부근에서만 운용된다. 그러나 최근 우주 시장이 확대됨에 따라 우주 임무가 다양해지고 복잡해지면서, 추력조절이 가능한 로켓엔진, 즉 가변추력 로켓엔진에 대한 수요가 증가하고 있다. 로켓엔진의 추력조절을 실현하는 방식에는 여러 가지가 있으나, 핀틀 분사기를 사용하는 방식이 효과적인 방식 중의 하나로 알려져 있어 전 세계에서 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

핀틀 분사기는 이원추진제 충돌형 분사기의 한 종류로, 추력 단계에 따라 추진제의 분사 면적을 조절함으로써 넓은 범위의 추력조절을 가능케 한다. 핀틀 분사기는 NASA의 Apollo 달 착륙선 및 SpaceX의 Falcon 9 발사체에 적용되어 그 효용성이 입증되었으며, 국내에서도 한국항공우주연구원, 서울대학교, 한국항공대학교 등에서 핀틀 분사기 수류실험을 포함한 기초 연구를 수행하고 있다.

수류실험은 점화 없이 분사기에서 추진제 또는 모사 유체를 분사하여 분무 형상, 분무각, 액적 크기, 액적 분포도 등의 분무특성을 파악할 수 있는 실험으로, 분사기의 분무특성과 연소기의 연소특성이 밀접하게 연관되어 있기에 로켓엔진 연소기의 개발에 필수적인 과정이다. 현재까지 본 연구실에서는 핀틀 분사기의 기본 형태에 해당하는 연속형 핀틀 분사기의 상압(대기압) 수류실험, 고압 수류실험, 고압 연소시험을 성공적으로 수행한 바 있다.

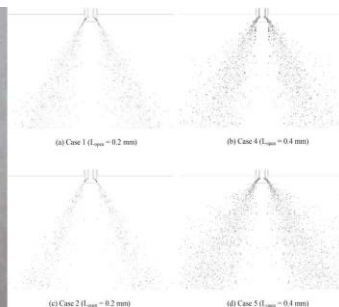
추후 본 연구실에서는 개량형에 해당하는 다중 슬릿형(multi-slit type) 핀틀 분사기를 개발하고자 한다. 다중 슬릿형 핀틀 분사기는 불연속형 핀틀 분사기의 일종으로 연속형에 비해 연소성능이 더 좋은 것으로 알려져 있으나, 슬릿의 형상 인자가 다양하여 설계 단계에서 최적의 슬릿 형상을 확보하는 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 **ANSYS Fluent를 이용하여 다중 슬릿형 핀틀 분사기의 수류실험을 모사하고 분사기 형상 및 분사 조건에 따른 분무특성을 파악한 뒤, 수치해석 결과를 실제 상압 수류실험 결과와 비교함으로써 수치해석 모델을 검증**하고자 한다. 이후 획득한 결과를 바탕으로 다양한 형상의 다중 슬릿형 핀틀 분사기 분무특성을 분석하고, 최적의 분사기 형상을 도출할 계획이다.



[그림 1] 다중 슬릿형 핀틀 분사기
(Northrop Grumman 社)



[그림 2] 다중 슬릿형
핀틀 분사기의 수류실험



[그림 3] 핀틀 분사기 분무
수치해석 (한국항공대)

12-2. 2중 홀형 핀틀 분사기의 기하학적 형상에 따른 분무특성 확인

핀틀 분사기는 두 추진제가 수직에 가까운 큰 각도로 충돌하며 미립화되는 것을 이용한 분사기이다. 엔진마다 한 개의 핀틀 분사기가 사용되어 수십에서 수백 개의 분사기가 장착되는 다른 종류 분사기와 비교했을 때 경제적이고, 연소불안정에 강하다는 장점이 있다.

선행 연구에 의하면 2중 홀형 핀틀 분사기의 연소효율이 가장 높지만, 설계에 요구되는 기하학적 변수가 연속형 혹은(단일) 홀형 분사기에 비해 많다. 각각의 기하학적 변수가 연소효율에 미치는 영향을 파악한다면 이후 분사기 설계에 활용할 수 있으나, 다회의 연소시험을 수행하는 것은 비용과 안전 측면에서 좋지 않다. 일반적으로 수류시험을 통해 얻어진 분무각, 액적 크기, 액적 분포 등의 분무특성과 연소시험을 통해 얻어진 연소효율, 연소불안정 등의 연소특성 사이에는 밀접한 관련성이 있는 것으로 받아들여지며, 일부 분무특성으로부터 연소특성을 유추할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기하학적 변수와 분사기 분무특성 간 관계를 파악하는 것을 목표로 모사유체를 사용한 수류시험을 수행한다. 여러 기하학적 변수 중 홀의 크기 및 배치와 관련된 변수를 독립적으로 변경하였을 때 분무각과 액적 크기, 액적 분포 및 혼합도를 확인함으로써 해당 변수의 영향을 파악한다. 분무각과 액적 크기는 스트로보스코프와 DSLR, 레이저와 초고속카메라를 사용해 촬영한 이미지로부터 분석하고, 액적 분포 및 혼합도는 기계식 패턴미터를 사용하여 확보할 예정이다.

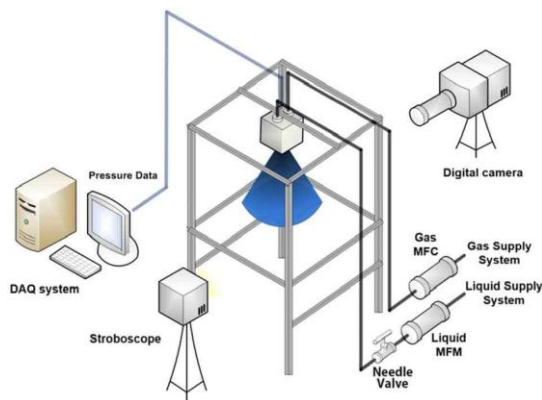


그림 1 수류시험 장치 개략도



그림 2 분사기 촬영 이미지

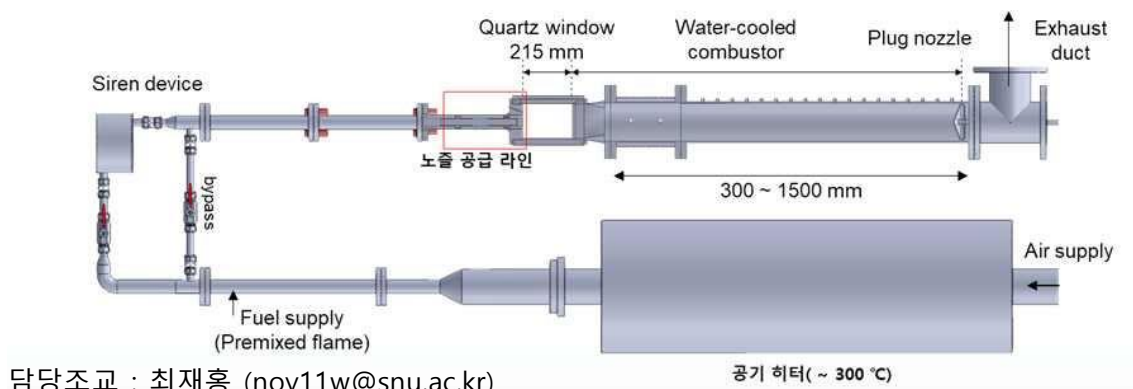
12-3. 모델 가스터빈 연소기에서의 음향장 및 연소불안정 특성 분석

최근 환경에 관심이 증가하면서, 배기가스 배출에 대한 많은 규제들이 생겨나면서 친환경적인 엔진개발에 관련된 많은 연구들이 진행되고 있다. 화석연료를 사용하는 가스터빈 분야에서도 친환경적인 엔진 개발로의 흐름은 피할 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. 이를 위해 선제적으로 연소실 내 발생하는 연소불안정 특성을 파악할 필요가 있으며, 본 연구에서는 다양한 조건에서 발생하는 연소불안정 현상을 계측하며, 이를 이론적/실험적으로 분석한다.

이번 주제에서는 모델 가스터빈 연소기에서 자기 흥분 연소불안정(Self-excited combustion instability)에 대한 분석을 진행한다.

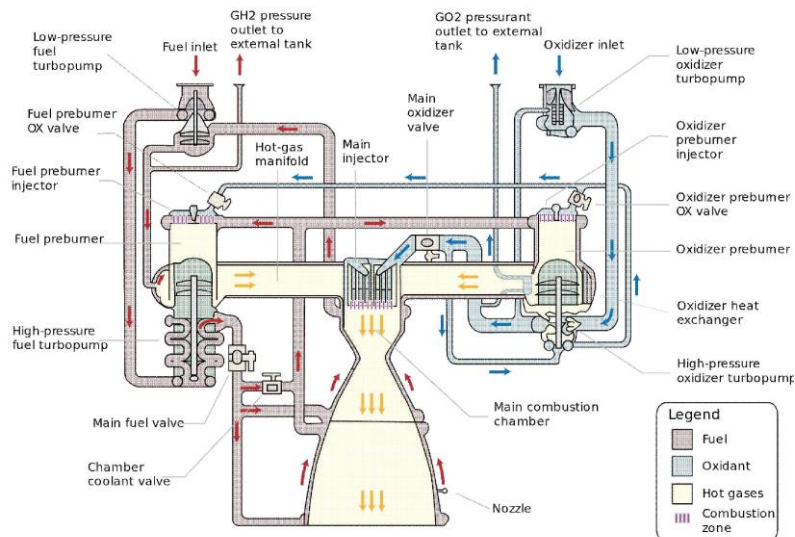


12-4. 전단동축형 분사기의 분무특성 연구

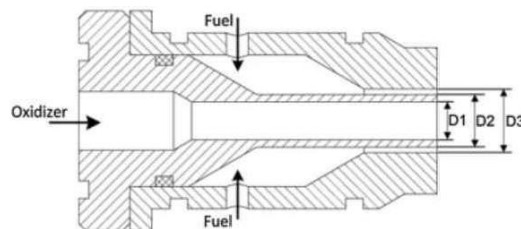
전단동축 분사기(shear coaxial injector)는 중심의 액체 줄기와 주변의 기체가 빠르게 분사하면서 분열되는 로켓 분사기다. 미국 스페이스 셔틀의 메인엔진에 장착된 분사기 종류로서 유럽에서는 HM7, HM60의 아리안 로켓 계열에도 쓰인 것으로 알려져 있다. 미국 스페이스 셔틀이 1981년부터 2011년 마지막 비행을 할 때까지 쓰인 분사기 종류인데, 요즘에는 동축분사기도 전단동축보다는 혼합효율 등을 이유로 와류형 동축분사기를 쓰는 추세이다. 한국형 발사체 누리호에 쓰인 것도 케로신 액체산소의 액체/액체 와류형 동축분사기이다.

그렇지만 전단동축 분사기는 그 분무 형태가 단순하면서도 분석하기 용이한 형태로 다양한 학문적 연구가 이루어지고 있고 최근에도 관련 논문들이 발표되고 있다. 근래에 각광받기 시작한 친환경 연료로서 메탄이 활용도가 넓어지면서 팅창식 사이클에서 메탄을 기체로 하여 액체산소와의 추진제 조합도 생각해 볼 수 있다.

따라서 추진제 모사매질로서 물과 공기를 이용하여 분사기의 분무특성을 파악하고자 하며, 이를 바탕으로 연소에서의 영향성을 판단해본다. 분사기의 기하학적 변수로 리세스 길이가 있으며 분사조건으로는 분사압이 있다. 따라서 유량 및 운동량비에 따른 분무특성을 계측하면서 전단동축형 분사기의 기본적인 성질을 파악할 것이다.



<스페이스 셔틀엔진의 연료과잉 다단엔진 사이클 모식도와 엔진 헤드부에 표시된 전단동축형 분사기>



<전단동축형 분사기 단면 형상 - Aerospace Science and Technology Vol. 59>