

<일반기사>

로켓추진 연구실

윤영빈

서울대학교 기계항공공학부 교수

서울대학교 기계항공공학부 로켓추진 연구실은 1996년도부터 시작하여 지금까지 박사 4명, 석사 21명을 배출하였고 현재 윤영빈 교수님의 지도로 박사과정 9명과 석사과정 9명이 재학 중이다.

로켓추진 연구실은 액체로켓 최적 분사시스템에 관한 연구와 레이저 진단계측기법 개발을 주요 연구분야로 설정하고 있으며 초음속 연소와 저공해 연소기에 관한 연구도 병행하고 있다.

특히 여러 가지 레이저 계측 기법을 확보하고 있어 액체로켓 분사시스템에 대한 실험을 수행할 수 있는 역량을 갖추고 있는 것이 강점이다. 이를 바탕으로 KSR-III 과제를 성공적으로 완료하였고 2001년도에 국가지정연구실(NRL)로 지정되어 액체로켓 분사시스템에 대하여 좀더 심화된 연구를 수행 중에 있다. 또한 2002년도부터는 진단스윙 인젝터와 관련하여 러시아와 국제공동연구를 수행함으로써 이 분야의 선진기술을 습득하기 위해 노력하고 있다.

그 외에 지금까지 초음속 연소특성 및 연료공기 혼합증대에 관한 연구, 화염 및 초음속유체 시공간분해 진단기법 개발, 저 NOx 연소기 개발에 관한 연구, 흡입공기와의 혼합을 고려한 액체연료 연소 연구(액체램제트), 진보된 충돌분무 모델을 이용한 저공해/고효율 충돌 분무형 보일러 연료 분사 시스템 개발 등의 과제를 완료하였으며 능동연소제어를 이용한 저NOx 연소기 개발, 액체램제트 엔진 개발 등의 과제를 진행하고 있다. 다음 절에서는 본 연구실에서 수행하고 있는 주요 연구내용을 간략하게 소개하고자 한다.

1. 액체로켓 분사시스템에 관한 연구

현재 진행중인 국가지정연구실사업은 액체 로켓의 성능 및 안정성 향상을 위하여 최적의 분사 시스템 설계 기술을 확보하는데 목표를 두고 있다. 그동안 여러가지 레이저 계측기법(PLLIF, PDPA, PIV, LDV,

LIF 등)을 개발하였고 이를 분사시스템의 분무특성을 파악하는데 활용하고 있으며 액체로켓 분사시스템에 대한 수치적 연구도 병행하고 있다. 그 동안 KSR-III를 포함하여 액체로켓 분사시스템으로 많이 사용하였던 충돌제트에 대한 연구를 수행하여 많은 연구 결과들을 발표하여 KSR-III의 성공적인 발사에 보탬이 되었다. 최근에는 충돌형 제트보다 안정성이 뛰어난 것으로 알려져 있는 동축형 분사시스템에 대한 연구도 수행하고 있다. 특히 이 분야에 대해서는 러시아와 공동으로 연구를 수행하여 선진 기술의 기반을 확보하고 이를 응용해 나가고자 노력하고 있다. 2002년 11월 성공적으로 발사된 KSR-III 엔진도 개발과정에서 연소불안정 문제 때문에 수 차례에 걸쳐 연소실 헤드 부분을 설계 변경하였으며, 지상시험 과정에서 40여기의 엔진이 소모되어 발사시점 또한 계획보다 7개월이나 늦어지게 되었다. 향후 2007년에는 100 kg급 위성을 탑재할 수 있는 KSLV-I 로켓을 개발, 발사할 예정이다. 그러나 추력이 KSR-III의 10배에 해당하는 KSLV-I에서 연소불안정 문제는 더욱 심각할 것으로 예상된다. 그러므로 2015년까지 계속되는 KSLV-II, III의 엔진개발과정에서 우리나라 자체의 기술로 액체로켓엔진을 개발하기 위해서는 가장 큰 문제인 로켓엔진내부에서 발생하는 연소불안정에 대한 연구가 꾸준히 이루어져야 하며 본 연구실에서도 이 문제를 해

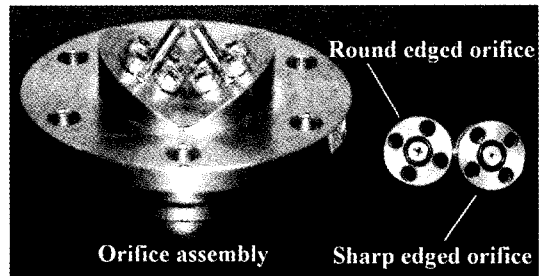


Fig. 1. 충돌형 인젝터.

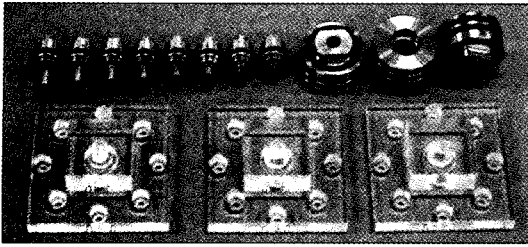


Fig. 2. 동축형 인젝터.

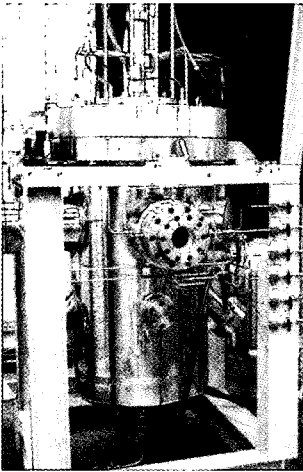


Fig. 3. 100 기압까지 고압실험이 가능한 고압챔버.

결하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

2. 레이저 진단 계측 기법 개발

레이저 계측은 유체와 연소 관련 분야의 연구에 있어서 속도와 온도, 밀도 등을 측정하는 도구로써 광범위하게 이용되고 있다. Pitot 튜브나 hot wire anemometers, 열전대, 가스 크로마토그래프 등의 고전적이고 널리 사용되어 온 방법들이 있지만 레이저 계측은 유체의 교란 없이 높은 온도 영역에서도 고해상도 측정이 가능하여 오늘날 측정방법으로 널리 쓰이고 있다. 본 연구실이 보유하고 있는 주요장비로는 레이저 응용 계측을 위한 9대의 레이저(Nd:YAG laser 3대, Dye laser 2대, Argon Ion laser 2대, He-Ne laser 2대)와 광 스펙트럼 분석을 위한 Monochromator, PIV용 디지털 카메라, LDV System, PLIF용 ICCD camera, Stereo PIV를 위한 2 image camera 등이 있다. 이들 장비를 이용, 유체 및 연소 현상에서 속도분포 및 물질의 농도 분포 등을 계측하여 현상의 특성과 원인을 분석하고 있다.

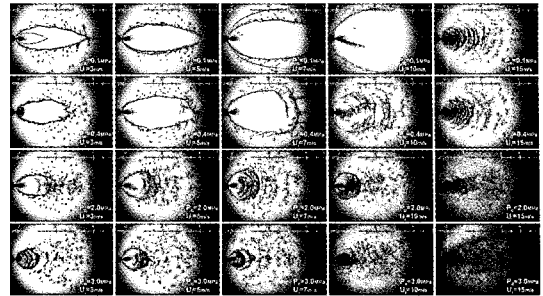


Fig. 4. 총축형 인젝터의 고압환경 실험결과.

1) Optical Patternator

Optical Patternator는 기체의 특성을 알아내기 위한 PLIF가 확장된 것이다. 기체의 경우에는 레이저에 의해 여기된 분자가 형광신호를 내기 때문에 체적을 측정할 수 있으나 액체에서는 이 신호가 나오지 않거나 너무 작은 경우가 있다. 특히 유사추진제로 가장 많이 사용되는 물에서는 형광신호가 거의 발생하지 않아 체적을 측정할 수 없다. 따라서 이를 해결하기 위하여 물에 형광물질을 넣어 신호가 발생하도록 한다. 한편 산란신호는 물과 공기의 접촉면에서 강하게 일어나므로 쉽게 측정할 수 있는데 이러한 산란신호와 형광신호를 함께 이용하면 액적이 기화하여 연소할 때 가장 중요한 요소인 SMD를 계측할 수 있다.

형광신호의 감쇠는 측정 시 입사광의 불균형, 카메라 이미지의 원근, 2차 산란 등에 의하여 발생하는데 이중 입사광의 불균형에 의한 것은 셀 측정, 원근에 의한 오차는 affine 변환에 의해 각각 보정된다. 2차 산란의 경우 분부 통과 시 입사광 강도의 저하와 측정 평면 밖의 형광신호에 의한 노이즈 및 형광신호의 감쇠로 나눌 수 있는데 이중 입사광 강도의 저하는 순

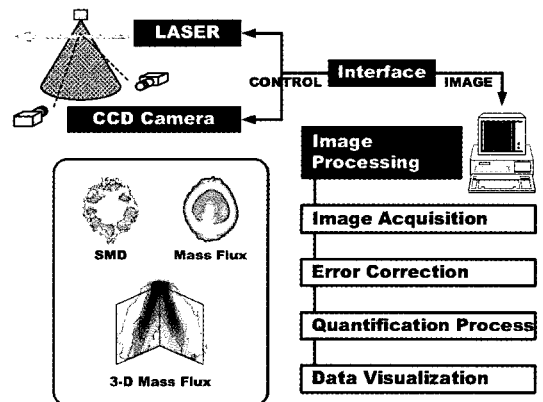


Fig. 5. Optical patternator를 이용한 분부 측정.

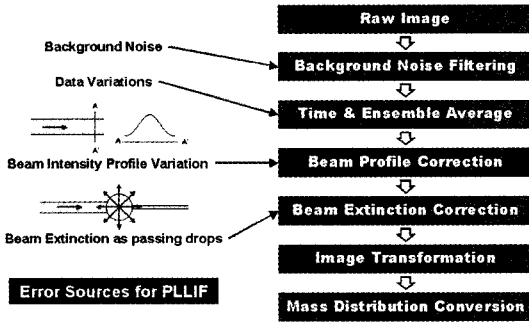


Fig. 6. 획득한 이미지의 정량화 과정.

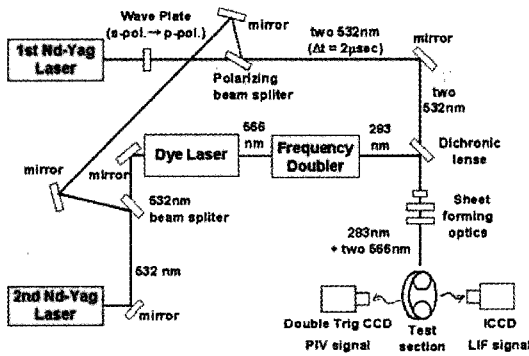


Fig. 7. PIV-OH PLIF 동시측정 기법 개략도.

차적 조사 방법을 이용하여 1996년 Talley 등이 해결하였다. 본 실험실에서는 나머지 두 개의 원인, 즉 측정 평면 밖의 형광신호에 의한 오차와 형광신호의 감쇠에 대한 연구를 수행하고 있다.

2) PIV-OH PLIF 동시측정 기법 개발

연소장에서의 유동 특성과 화학반응 특성을 동시에 계측하기 위한 계측법으로 PIV-PLIF 동시측정기법을 개발하고 있다. 2차원 평면에 대한 동시계측을 시간에 따라 변하는 유동장에 적용함으로써 PIV를 통해 strain rate, OH PLIF을 통해 chemical intensity을 측정하여 strain rate-chemical intensity 상관 관계를 구함으로써 combustion phase diagram을 제시할 수 있다.

또한 최근에는 저NOx 연소기 개발을 위하여 PIV-NO PLIF 기법을 개발하기 위한 노력을 하고 있다.

3) 토모그래피를 이용한 영상처리 기법

고압 분무에 적용 가능한 분무 계측법 개발로써 토모그래피를 이용한 영상처리 기법을 개발하였다. 밀한 분무에서 레이저빔 투과율과 발생하는 산란 혹은

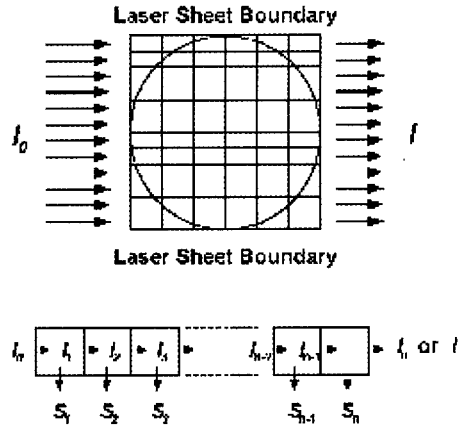


Fig. 8. 토모그래피를 이용한 데이터 처리과정.

형광 신호를 측정하고, 분무장에서의 감쇠에 대한 정보를 이용하여 정량적인 신호 분포를 복원함으로써 유량이 크고 감쇠가 심한 고압의 로켓 인젝터의 특성을 파악하는 데 적용하고 있다.

토모그래피는 레이저빔을 측정평면으로 보내는 광학전달부, 측정평면을 통과하면서 발생하는 신호를 기록하는 측정부, 측정값으로부터 원래 신호를 분석해내는 신호처리부 3부분으로 다음과 같이 구성되어 있다.

광학전달부 : 다중 산란을 최소화하기 위하여 레이저 평면광 대신 레이저빔을 이용한다.

신호측정부 : 레이저빔이 분무를 통과하는 동안 일어난 전체감쇠율을 측정하는 광검출기와 분무에서 일어나는 산란, 형광 신호를 검출하는 CCD/ICCD로 구성되어 있다.

신호처리부 : 측정한 신호를 전달받아 감쇠에 대한 정보를 추출해내고 이를 통해 원래의 신호/영상을 복원해내는 작업을 수행한다.

3. 능동연소제어 연구

1) 액체램제트 엔진의 연소불안정 연구

로켓의 개발 시점인 1950년대부터 이의 해결을 위하여 많은 연구가 수행되었으나 근본적인 mechanism에 대한 이해부족과 완벽한 해결방안의 부재로 수많은 실험을 통한 엔진의 재설계를 통하여(수동연소제어) 통하여 이를 해결하여 왔다. 1990년대 능동연소제어 기법이 소개되면서부터 많은 시간과 돈이 소요되는 수동연소제어방식에서 벗어나려는 연구가 항공

우주분야의 선진국에서 지속적으로 수행되고 있다. 본 연구실에서는 모델 덤프연소기를 제작하여 연소불안정의 mechanism을 학문적으로 접근하여 어떠한 방법으로 secondary fuel을 분사시켜 주어야 하는지에 대한 vortex-heat release interaction에 대한 연구를 주도적으로 수행하였다. 또한 능동연소제어 기법을 이용하여 연소불안정을 저감하는 연구를 수행하고 있다.

2) 능동제어를 이용한 저NOx 연소기 개발

연소과정 중에 발생하는 배출가스 중에서 질소산화물(NOx)은 산성비를 유발하고 동식물 및 인류에 여러 방향으로 해를 끼치기 때문에 전세계적으로 강력한 규제가 이루어지고 있다. 본 연구실에서는 수소 확산화염에서 동축공기를 이용한 NOx 저감에 대한 연구를 진행해왔다. 최근에는 스피커를 통해 외부에서 음파를 가진하여 유동장을 교란하는 방식으로 NOx를 저감하는 연구를 진행 중에 있다. 유동장에 음파를 가진하면 속도장의 교란이 이루어져 난류 강도가 증가하고 공기의 유입량이 증가하여 혼합이 증대되는 이점을 얻을 수 있다. 그 결과, 화염길이와 급격하게 줄어들며, 이에 따라 NOx가 발생하는데 걸리는 화염 체류시간이 크게 감소하여 NOx의 발생을 억제할 수 있게 된다.

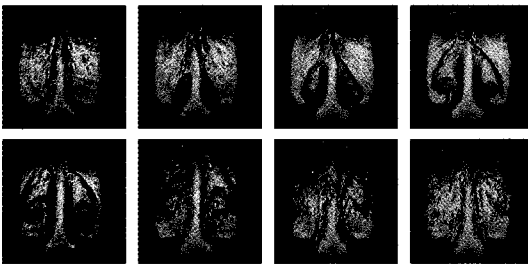


Fig. 9. 덤프연소기에서의 vortex 생성과정.

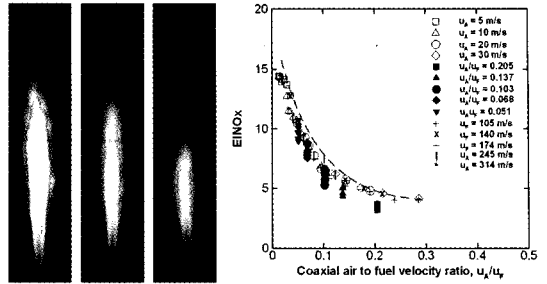


Fig. 10. 음파가진에 따른 화염길이 및 NOx 발생량의 변화.

4. 연구실의 발전비전

21세기에 진입하면서 항공우주분야에 대한 연구는 세계적으로 점점 치열해지고 있다. KSR-III 로켓의 발사성공으로 우리나라에서도 로켓분야에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 지금 진행되고 있는 KSLV 로켓개발의 성공을 위하여 대학, 연구소, 산업체가 협력해야 되는 시점이다. 본 로켓추진 연구실은 우리나라의 항공우주 연구수준을 국제적인 위치로 높이기 위해서 모든 연구팀원들이 열심히 연구하고 있다.



Fig. 11. 실험실 homecoming day 사진.