

서울대학교 기계공학과 동력공학연구실

1. 연구실 구성원 및 활동

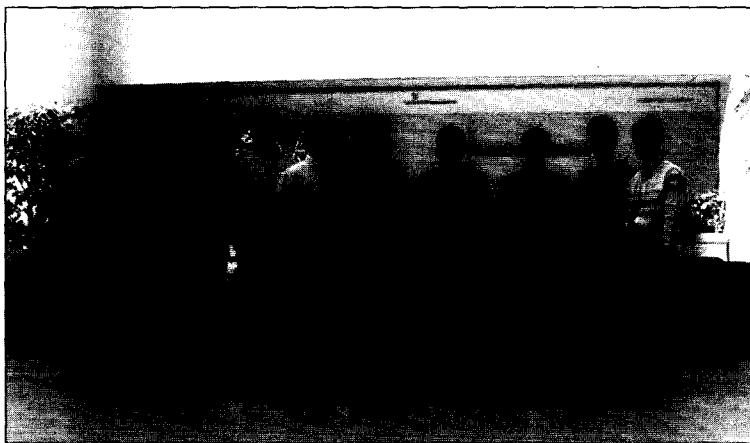
본 연구실은 1980년대 초반부터 1999년 정년 퇴임하신 김응서 교수님의 지도하에 연구활동을 시작하여, 현재는 1997년 본 대학에 부임하신 민경덕 교수님의 지도하에 8명의 석사과정과 5명의 박사과정 학생 및 2명의 박사후연수생으로 다양한 분야의 연구 활동을 전개하고 있다.

현재까지 석사 70명 및 17명의 박사를 배출하여 전국의 각 대학에서 후진 양성과 연구 활동을 수행하거나 여러 자동차관련 기업과 벤처 기업 및 국외 연구소와 대학등에서 핵심적인 역할을 수행

하고 있다. 특히 "서동회"라는 정례적인 모임을 통하여 졸업생들과 재학생들간의 친목과 우의를 증진시킬 수 있도록 하고 있다.

본 연구실은 지난 20여년간 자동차 업체와의 공동연구를 통하여, 국내 업체의 기술 선진화를 앞당기는데 일익을 담당할 수 있는 것을 목표로 메탄올 및 수소 연료 엔진과 관련된 대체 연료 분야, 엔진 계측 및 진단 분야, 디젤 입자상 물질 제거 장치등과 같은 배출물 저감 관련 분야등에 집중적인 연구를 수행하였다.

최근에는 엔진설계시 가상 엔진을 통한 설계의 최적화라는 관점에서 그 중요성이 증대하고 있는



▲ 301동 연구실에서 (뒷줄 오른쪽에서 4번째 민경덕 교수)

시뮬레이션 기법 및 그 모델 개발이라는 시대적 요구에 부응하기 위한 연구에 주안점을 두고 있다.

본 연구실에서 보유하고 있는 주요 장비로는 엔진 시뮬레이션을 위한 상용 코드인 STAR-CD 및 ICE등이 설치된 공학용 워크스테이션 2대 및 이러한 시뮬레이션에 적용될 각종 모델 개발 및 기초 실험을 위하여 1999년 완공된 3개의 엔진 시험 셀과 1개의 리그시험 셀이 설치되어 있다.

엔진시험 셀에는 2대의 단기통 엔진과 2대의 다기통 엔진이 동력계(EC형 2개, AC형 1개, DC형 1개)에 장착되어 있으며 자체 개발한 연소 해석 장치, 배기 가스 측정 장치 및 연소실 압력 측정 장치와 압력 교정계등과 각종 연구에 필요한 각종 장비들이 구비되어 있다. 또한 리그시험 셀에는 자체 설계한 고압용 정적 연소실 및 각종 리그 장치들이 Nd-Yag 및 He-Ne 레이저를 포함한 가시화용 광학 시스템 및 맬번 장치와 더불어 설치되어 있다.

모든 연구실원은 개별적인 연구 주제를 가지고 연구를 수행하고 있으며, 대학원생과 학부생들간의 협동 연구 체계를 강화한 결과 학부 졸업생들의 본 연구실 선호도도 향상되었다. 또한 매주 교수님과 정기 미팅을 통하여 연구 결과 및 연구 진행 방향에 대한 조언을 얻고 연구실원들간의 개별적인 연구 내용도 서로 공유하여 연구 성과의 극대화를 모색하고 있다. 이외에도 정기적인 하계 및 동계 수련회와 다른 연구실과의 체육대회를 통한 연구실 구성원간의 친목 도모 및 체력 단련으로 연구 활동에 활력소가 되고 있으며, 연구실원들 상호간의 "가족" 같은 분위기 속에서 연구활동에 정진하고 있다.

2. 연구 분야 및 연구 실적

본 연구실에서 최근 10년간 수행한 연구 내용들은 수소 엔진용 인젝터 개발 및 엔진 성능 개선

에 관한 연구, 수소 연료 자동차에 관한 연구등과 관련된 대체 연료 분야와 전기 점화 기관의 피스톤에서의 열전달 해석에 관한 연구, 비상용 발전기 디지털 제어 시스템 개발, 자동차용 소음기의 최적 설계에 관한 연구, 엔진 연소 해석기 개발, 크랭크축 각속도 변동, 광섬유 및 연소실 내벽의 순간 온도 변동을 이용한 연소 진단에 관한 연구, 전기 점화 기관에서 자발화 발생 위치 예측 및 압력 측정에 관한 연구등과 관련된 엔진 계측 및 진단 분야와 고압 연료 분사 시스템 해석, 직접 분사식 디젤 엔진에서의 유해 배출물 저감 예측과 실험에 관한 연구, 디젤 기관에서 배출되는 입자상 물질 저감 장치 및 여과량 추정에 관한 연구, 전기 점화 기관의 초회박 연소 특성에 관한 연구, GC를 이용한 연료 및 운전 조건에 따른 개별 탄화 수소 배출 특성에 관한 연구등 배출물 저감과 관련된 연구를 수행하였고 특히 DPF 시스템과 관련해서 특허도 출원하였다.

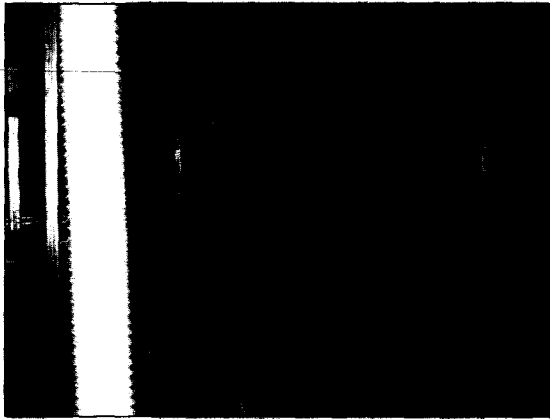
또한 최근 PLIF에 의한 화염내 NO 농도 분포의 측정 및 Raman 산란에 의한 점화 플러그 간극에서의 당량비 측정에 관한 연구도 수행하여, 레이저 진단 기술의 노후우도 축적하고 있는데 이러한 연구 결과로 현재까지 발표된 논문은 국내외 학회지 56편, 국내외 학술회의에 62편등이 있다.

3. 연구 내용

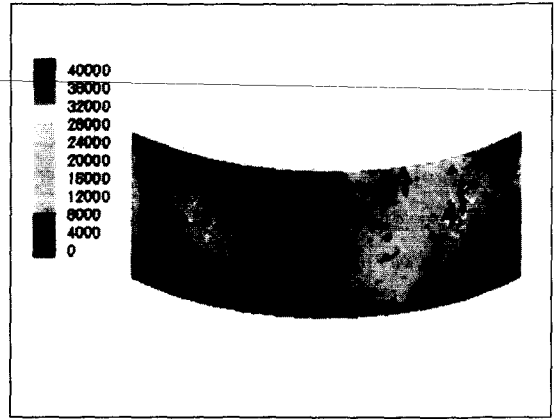
현재 본 연구실에서 진행 중인 연구분야는 크게 레이저 진단, 엔진 CFD 해석, 기초 및 엔진 실험등으로 구성되어 있으며, 각 연구 분야별 진행 중이거나 예정인 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

● 레이저 진단

- ▷ 평면 이미지 기법을 이용한 분무 특성 파악에 관한 연구
- 형광 신호와 Mie 산란 신호를 이용한 평면 이



▲ 엔진 실린더내 액막 두께 측정 리그 실험 장치



▲ 엔진 실린더내 액막 두께 측정 리그 실험 결과

미지 기법으로 355nm 파장의 레이저빔을 광학 장치를 이용하여 평면빔으로 만든 후 측정 위치에 입사시키고 형광과 산란광 두 신호를 동시에 측정하여 신호의 비를 이용, 직접 분사식 가솔린 인젝터에 의한 분무 입경 분포를 측정한 연구를 수행하였고, 현재 디젤 충돌 분무의 입경 분포 측정에 관한 연구를 진행 중이다.

▷ 가솔린 연소실 내에서 연료 액막 두께 측정에 관한 연구

쿼츠에 입사된 레이저가 쿼츠면에 형성된 액막의 두께에 따라 전반사시에 발생하는 형광 신호 강도가 다를 것을 이용한 것으로, 쿼츠 라이너와 상용 엔진 헤드로 구성된 리그 장치에서 정량화와 관련된 연구를 수행하고 있으며, 이를 기반으로 가시화 엔진에 적용하기 위한 작업도 진행하고 있다. 이를 통하여 냉간 시동이나 비정상 운전 시의 연료 액막 거동을 모델링하기 위한 기초 자료로 이용될 수 있다.

▷ EXCIPLEX법에 의한 분무 특성 파악에 의한 연구

액상과 기상에서 각각 형성되는 형광 신호를 이용하여, 직접분사식 가솔린엔진과 디젤엔진에서

분무 온도에 따른 증발 특성과 혼합기 분포 특성 간의 관계를 규명하기 위하여 고압 정적 연소기에서 실험을 수행하고 있으며, 충돌 분무와 자유 분무시 분무 입경 분포와 증발 특성간의 관계도 고찰하여 시뮬레이션 모델의 검증 작업을 수행할 예정이다.

● 엔진 CFD (Computational Fluid Dynamics) 해석

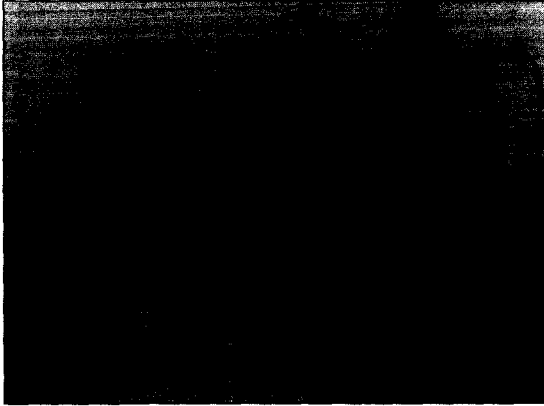
▷ 전기 점화 기관에서 자발화 발생 위치 예측

전기 점화 기관에서 노크의 발생을 예측할 수 있는 프로그램 개발에 관한 연구를 수행하기 위하여, 상용 엔진 연소실 형상의 격자를 구성하여 3차원 연소 모델과 벽면에서의 소염 모델을 Keck 등이 제안한 자발화 축소화학반응기구와 결합시켜 3차원 노크 예측 모델을 개발하여 STAR-CD를 이용한 수치 해석을 수행하였다.

한편 디젤 엔진과 관련하여 KIVA 코드에 자발화 모델과 기존의 연소 모델을 결합시켜 3차원 수치 해석을 수행하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

▷ 가솔린 엔진 배기 포트에서의 탄화 수소 산화 모델링

밸브 운동을 고려할 수 있는 3차원 격자를 구성



▲ AC동력계와 단기통 엔진 실험장치



▲ DC동력계와 대기통 엔진 실험장치

하여 배기 포트내 유동 및 열전달, 산화 과정에 대하여 수치 해석을 수행함으로써 HC 산화 과정을 예측하였다. 산화 모델로 기존의 4-step 모델을 배기 포트 내 산화 과정을 해석하는데 적합하도록 상세화학반응기구에 따라 모델의 계수를 최적화 하였고 이를 통하여 포트내 2차 산화 과정의 예측 가능성을 확인하였으며, 엔진 운전 조건이 포트 내 산화 과정에 미치는 영향을 평가하였다. 이같은 연구 결과를 토대로 현재 배기 포트와 연소실을 통합적으로 고려한 시뮬레이션을 진행중이다.

▷ HSDI 디젤엔진에서 연료액막형성을 고려한 분무충돌모델의 개발

벽면 온도 조건과 연료액막 형성을 고려하여 벽면과 분무의 상호작용을 모델링하였고, 충돌 후 액적의 거동을 We수와 $K(K=We^{1/2}Re^{1/4})$ 수를 이용하여 부착 및 퍼짐(stick and spread), 되튀김(rebound)과 쪼개져서 되튀김(splash)으로 나누었다. 분무충돌 모델과 연료액막모델을 STAR-CD의 부프로그램화하여 고속 직접분사식 디젤엔진 조건에서의 계산을 수행하였으며, 초기 스웰비의 크기에 따라 연료액막의 분포와 연료의 농도 분포를 예측하였다.

▷ 가솔린엔진의 Crevice 내 미연탄화수소의 산화 과정에 대한 수치해석

미연 탄화수소 산화과정의 모사를 위하여 Dagaut의 상세화학반응 기구를 이용해 연소실 내부 조건에 맞도록 최적화한 4-step 산화반응 모델을 사용하여 상용 계산 코드인 STAT-CD에 부프로그램화하여 산화과정을 계산하였고 피스톤 운동을 고려하기 위하여 움직이는 격자를 이용하였다.

▷ 모델링을 통한 가솔린엔진의 윤활유막에 의한 미연탄화수소 배출 영향 규명

연료용해도와 관련되는 헨리 상수를 이용하고 다중 연료 성분을 고려하여 윤활유막에서 미연탄화수소의 동적 거동을 모사할 수 있는 모델을 개발하였다. 이 모델을 이용하여 오일막에서 엔진 회전속도, 흡기압 그리고 윤활유막의 온도 변화에 따른 미연탄화수소 생성에 대한 영향을 파악하였다.

▷ 가솔린엔진 흡기포트 내에서 연료액막유동의 모델링

흡입과정 초기의 Back flow의 영향과 다중연료성분을 고려하여 흡기포트에서의 연료액막유동

에 대한 모델을 개발하였다. 이 모델을 이용하여 냉간 시동이나 비정상 운전시 흡기포트에서의 연료액막거동을 해석하였고 공연비 이탈 방지를 위한 연료 분사량을 예측하였다.

▷ 불균일한 혼합기 분포 조건에서의 연소 모델 개발

Weller 연소 모델을 직접 분사식 가솔린엔진처럼 성층화된 혼합기 분포하에서의 연소에 적용하기 위하여, 먼저 progress variable의 생성항에 사용되는 층류 화염 속도 관계식을 불균일한 혼합기 분포하에서의 관계식으로 대처하여야 한다. 이를 위하여 프로판의 상산화학반응기구를 이용하여 온도, 압력, 당량비 및 당량비 변화율에 따른 층류 화염 속도 관계식을 PREMIX 코드와 COMAC 코드를 이용하여 도출하고 삼지 화염(triple flame)과 확률밀도함수개념을 적용한 연소 모델 개발을 목적으로 한다.

▷ 고온 반응 기구를 포함한 자발화 모델 개발

기존의 자발화 모델에는 Shell모델, Keck모델, Drexel모델 등이 있으나 주로 가솔린엔진에서의 노크를 예측하거나 제한적으로 디젤엔진에서의 자발화에 적용되어 왔다. 그러나 이들 모델들은 저온 반응 기구들만으로 구성되어 있기 때문에, 디젤 연소처럼 국소적인 지역에서의 자발화에 의한 급격한 열발생률이 발생하는 상황에서 적용하기 위해서는 고온 반응 기구도 포함되어야 한다. 또한 이 모델에는 혼합기 분포, 특히 잔류 가스에 따른 자발화 특성도 중요하기 때문에 현재 이들을 고려할 수 있는 모델 개발을 위하여 프로판, 노말 부탄, 노말 헵탄과 이소옥탄등의 상산화학반응기구를 통한 해석을 진행중이며, 이를 이용하여 축소 화학 모델을 개발할 예정이다.

● 기초 및 엔진 실험

▷ 다중 액적 충돌에 의한 수력학적 특성 및 열전달 해석에 관한 연구

기존의 충돌 액적들에 관한 연구는 주로 단일 액적 해석에 주안점을 두고 있으나, 실제의 분무 특성의 모델링에 적용하기 위해서는 다중 액적 충돌 특성의 파악이 중요하다. 본 연구에서는 충돌 액적간의 상호 작용 및 충돌 후 액막 형성 특성을 고찰하기 위하여 액적 발생기 및 충돌 액적을 제어하기 위한 장치를 제작하였고, 고속 카메라를 이용하여 가시화 하였다. 또한 충돌시 형성된 액막 두께를 측정하기 위하여 레이저 유도 형광법을 적용할 예정이다.

▷ 대형 단기통 LPG 엔진의 노킹 특성에 관한 연구

기존의 디젤 연료를 사용하는 대형 기관을 대체할 수 있는 LPG 엔진을 개발함에 있어서 단기통 엔진 시험과 사이클 시뮬레이션을 통하여 LPG 엔진 설계에 필요한 이상 연소 특성을 파악하고 이에 관한 자료를 제공하고자 한다. 이를 위하여 사이클 시뮬레이션 코드는 프로판/부탄의 연료 성분과 연소실 형상을 고려할 수 있도록 개발하였고 현재 자발화 모델 등과 결합시켜 최적의 연소실 형상에 관한 특성을 얻기 위한 연구를 진행하고 있다.

〈배충식편집위원: csbae@sorak.kaist.ac.kr〉