에너지 및 동력공학부문

이 우 방 · 부문회장(한국수력원자력, 본부장) _e-mail : jungday@khnp.co.kr

이 글에서는 지난 2007년도 한 해 동안 국내의 에너지 및 동력공학 분야의 주요 연구동향을 살펴보고 소개하고자 한다. 세부적으로는 내연기관, 가스터빈 및 증기터빈, 열병합 및 복합발전, 보일러 및 발전설비, 연료 및 대체에너지, 연소기기, 공기조화 등의 분야에 대한 연구 동향과 성과를 살펴보고자 한다. 각기 세부 분야의 연구는 학계는 물론 연구소, 업계 등을 통해 심도 있게 이루어졌으며, 관련 기술개발이 폭넓게 이루어졌다. 세부분야별 연구 동향을 소개하면 다음과 같다.

내연기관

날로 심각해져 가는 환경오염이 세계적인 문제로 대두되고 한정된 석유자원의 고갈에 대한 우려가 커짐에 따라, 국제적인 환경규제 강화와 더불어 환경오염의 주범으로 지목받는 차량 유해배출가스 저감과 고효율 자동차의 개발에 대한 요구가 점점 증대되고 있다. 이런 요구조건을 만족시키기 위한 내연기관 부분에서의 연구는 여러 방면에서 활발하게 진행되고 있는데 주요 연구 분야에 따라 크게 가솔린엔진, 디젤엔진, 가스터빈 연소기 부분으로 나눌 수 있다.

가솔린엔진 분야에서는 높은 열효율과 배기 규제를 만족시킬 수 있는 저공해 엔진 기술의 한 가지 방법으로 흡기포트에 연료를 분사하는 기존의 방식과 달리 연료를 실린더 내에 직접 분사하는 GDI(Gasoline Direct Injection)방식의 연구가 재개되고 있다. GDI를 이용한 연소 방식으로는 연료와 공기가 미리 충분히 혼합되어 연소실 내에 균일한 혼합기를 형성시키는 균일 예혼합(homo-geneous charge) 방식과, 전체적으로 희박한 혼합기 분포를 갖는 연소실 내에 부분적으로 농후한 혼합기를 형성하여 연료의 착화를 돕는 성층혼합(stratified charge) 방식으로 나눌 수 있다.

최근에는 신개념 가솔린 연소 방식인 가솔린 자착화(CAI; Controlled Auto Ignition)를 이용한 가연 희박 연소에 대한 연구가 수행되었다. 예혼합 압축착화(HCCI) 방식의 하나인 CAI 연소는 압축착화(CI) 방식과 스파크플러그 점화 방식(SI)의 장점을 모두 갖춘 잠재력 있는 연소기술로서 주목을 받고 있는 실정이다. 이러한 CAI 엔진을 구현하기 위하여 VVT 제어와 내부 EGR 및 흡기온도 제어 등이 사용되었고, 특히 NVO(Negative Valve Overlap)를 이용한 내부 EGR과 압축비 변화 등을 통하여 가솔린 연료의 HCCI 연소를 구현한 연구가 수행되었다.

그러나 CAI 연소의 경우 SI와 CI 엔진에서와 같이 연소시기를 결정하는 점화플러그나 착화를 위한 연료분사장치의 사용이 없다는 점에서 자착화시기를 제어하는 데 기본적으로 큰 어려움이 따르며, 운전영역이 협소하다는 단점이 있다. 엔진으로의 적용에서는 저부하와 중부하 영역에서

CAI연소를 구현하는 부분부하 방식을 기본 개념으로 하고 있으며, 운전영역 확대와 안정적인 연소를 위해 SI연소와 혼합기 성층화를 이용하는 등의 많은 연구가 계속 진행되고 있다.

디젤엔진의 경우 높은 열효율과 낮은 CO_2 배출량과 더불어 연료 경제성과 환경적 측면에서 주목받고 있으나 가솔린엔진에 비해 입자상 물질(PM)과 질소산화물(NOx) 배출량이 많다는 문제를 가지고 있어 이를 해결하기 위한 연구가 다음과 같이 3가지 방법으로 진행되고 있다. 첫째로 고압분사에 의한 연소특성개선(HPI)방식과 분사횟수와 시기조정 그리고 배기가스재순환(EGR) 등을 최적화하여 예혼합 압축착화 운전가능 영역을 최대한 확장할 수 있는 예혼합 압축착화 연소방식(PCCI)이 있으며 둘째로는 연료의 개선을 통한 연구로서 DMM(Dimethoxy methane)이나 DME(Dimethyl-Ether) 등의 함 산소 연료 첨가와 바이오연료의 사용 등이 있다. 마지막으로는 엔진 내의 연소과정이 아닌 배기계에 DPF, NOx 트랩, DeNOx 촉매 등의 후처리장치를 사용하는 것이다. 그 중에서도 함 산소 연료인 DMM을 상용경유에 혼합한 후 디젤기관에 적용함으로써 기관성능 및 배기 배출 특성을 분석하여 함 산소연료의 유용성을 확인하고, 이때 증가하는 NOx를 저감시키기 위한 대책으로 cooled EGR을 병행하여 최종적으로 매연과 NOx의 동시저감 특성을 확인하고자 하는 연구가 진행되었다.

또한 최근에 차세대 가스터빈 발전기술로 주목받고 있는 석탄가스화 복합발전(IGCC) 시스템의 경우 연료로 사용되는 석탄가스(Syngas)는 수소의 농도가 높기 때문에 큰 화염 속도와 짧은 점화 지연기간을 가지며 이러한 Syngas의 연소특성 때문에 예혼합 연소기에서 flashback이나 자발화를 피하기가 용이하지 않기 때문에 대부분의 IGCC발전시스템에서 확산화염 모드 Syngas 가스터빈 연소기에서는 질소(N_2)난 물(H_2O)을 화염장 내부로 직접 분사하여 화염온도를 저감시켜 thermal NOx의 발생을 감소시키고 1단 연소영역에서 fuel-rich한 혼합기 조건에서 연소되게 하여 fuel-NOx도 동시에 저감시키는 연소방식을 채택하고 있다. 그러나 이러한 희석 과정은 많은 양의 물 또는 공기로부터 순산소와 분리한 질소를 필요로 하기 때문에 체적 유량을 현저히 증가시키는 문제점이 있다. 희석으로 인한 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 희박예혼합 가스터빈 연소기에서 사용되던 double-cone burner에서 연료의 주입방법을 수정하여 Syngas 연소에 사용할 수 있게 고안되었다. double-cone burner 이용하여 노즐 출구에서 접선 방향으로 Syngas를 주입하여 노즐 출구로부터 적절히 떨어진 축방향 위치에서 공기와 혼합이 완료되어 선회유동에 의해 공기역학적으로 형성된 재순환 영역에서 화염이 안정화된다. 이렇게 연료를 vortex break-down 영역에 주입하면 공기와 급격한 혼합이 일어나기 때문에 강한 확산화염 모드가 형성되는 것을 방지할 수 있으며 이러한 double-cone burner의 경우 연료가 예혼합되지 않은 상태에서 고속으로 유입되기 때문에 flashback이나 자발화는 일어나지 않는 이점이 있다. 또 다른 형태의 가스터빈 연소기인 Low-swirl injector(LSI) 연소기의 화염 안정화 메커니즘은 기존의 dry-low-NOx(DLN) 희박예혼합 가스터빈엔진에 장착되어 있는 전형적인 high-swirl injector(HSI) 연소기와 전혀 다른 원리에 의해 작동한다. LSI 연소기에서 생성된 부상화염은 확산되는 유동장에서 자유전파하는 난류 화염 속도의 개념에 의해 안정화된다. LSI 연소기에서 생성된 난류부상화염은 예혼합기의 속도를 증가시키는 경우에도 부상화염의 안정성이 뛰어난 특성을 가자고 있다. 이러한 LSI 연소기는 희박혼합기의 가연한계가 상대적으로 넓으며 높은 난류강도 조건에서도 탁월한 연소 안정성을 가지고 있으며 연소영역에서 재순환유동이 생성되지 않

기 때문에 체류시간이 상대적으로 단축되어 저 NOx 배출특성을 가지고 있기 때문에 이러한 연소기술이 실용화되는 경우 기존의 희박예혼합 가스터빈엔진에 장착되어 있는 HSI 연소기를 대체할 수도 있으며 Syngas를 사용하는 석탄가스화 복합발전 가스터빈 연소기에도 적용할 수 있으리라 사료된다.

이처럼 무공해 고효율 엔진에 대한 지속적인 연구와 성장이 예상됨에 따라, 선진국의 자동차 산업과 마찬가지로 국가 차원의 전폭적인 투자 및 공동 프로젝트 추진, 각종 세제 혜택 등을 통하여 국가 경쟁력을 높여야 하고, 장기적으로 소재 및 부품업체의 대형화, 핵심프로젝트 연구개발에 대한 국가적인 집중 지원책 마련하여 연구인력 확충 및 산·학·연간 인력교류, 취약기술분야(정보통신, 지능형 교통시스템 등)의 집중화 육성이 동시에 필요할 것으로 판단된다.

(김용모, 한양대학교)

가스터빈 및 증기터빈

가스터빈 엔진은 성능 및 효율 향상을 위해서는 터빈입구로 유입되는 연소 기체의 온도를 증가시키는 것이 필수적이다. 이에 지속적으로 가스터빈 입구의 유입 기체 온도를 증가시키고자 하는 연구가 이루어져왔으며, 이로 인하여 가스터빈 엔진의 블레이드에 걸리는 열부하는 계속 증가하는 추세이다. 이러한 높은 열부하로부터 블레이드를 보호하기 위해 지난 한 해 동안에도 다양한 냉각 방법이 연구되어 보고되었다.

고온고압의 가스가 터빈 내 에 유입되면서 통로 내의 통로와류와 말굽와류 등과 같은 복잡한 3차원 유동이 발생하게 된다. 이러한 복잡한 3차원 유동은 터빈의 공력 손실을 발생시킬 뿐만 아니라 고온의 연소가스가 터빈 구성요소간의 불균일한 열전달을 야기시켜 터빈의 수명을 단축시키고 효율을 떨어뜨린다. 이러한 공력 손실 및 열전달 특성을 개선함으로써 터빈의 성능과 수명을 향상시키는 방법 중 하나로 끝벽의 형상을 바꾸는 방법이 제안되어 연구가 진행되고 있다.

터빈 블레이드의 끝단 영역은 극한 조건에서 작동되기 때문에, 내구성 향상을 위하여 다양한 냉각 방법이 블레이드 끝단 부근 및 슈라우드에 적용되어 왔다. 그러나 최근에는 보다 효과적인 냉각방법 개발 및 개선을 위해서 블레이드와 슈라우드에서의 국소적인 열전달 특성을 고찰하는 데에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다.

한편, 터빈 블레이드를 보호하고 부품의 표면온도를 낮추기 위해 모재 표면에 열차폐 코팅(TBC; Thermal Barrier Coating)이 적용되고 있다. 구체적으로는 가스터빈 1단 블레이드에 적용되는 LVPS(Low Vacuum Plasma Coating)본드코팅 방식과 DVC(Dense Vertically Cracked)탑코팅 방식을 이용하여, 열화 온도 및 유지 시간의 변화에 따른 산화물(TGO; Thermally Grown Oxide)의 성장 거동 및 미세조직의 변화 관찰을 통한 열차폐 코팅의 열적 열화 특성을 보여주는 연구가 이루어졌다.

블레이드 보호의 또 다른 방법으로서 블레이드 내부에 적용되는 내부유로냉각 기법에 관한 연구도 많이 이루어져 왔다. 그러나 열전달을 증진시키는 효과는 있지만 압력 손실 및 국소적 열전달 문제를 야기시키는 단점이 지적되었고, 이에 최근에는 딤플을 열전달 촉진체로 이용하는 연구가 진행되어 보고되었다. 이러한 내부유로냉각과 함께 막냉각을 고려한 연구 또한 이루어지고 있다. 특히 유출홀과 요철의 형상을 변화시켜가며 열전달 특성의 고찰과 가시화를 통해 유동 특성에 대한 이해를 위한 실험적 연구가 진행되고 있다.

최근 에너지 고갈 문제와 환경문제 등이 부각되면서 저공해, 고효율 발전시스템의 도입이 갈수록 중요해지고 있다. 이러한 환경변화에 부합하는 것으로서 연료전지기술, 가스터빈의 희박 예혼합 연소기술, 순산소 연소기술, DME나 Syngas와 같은 신연료

를 사용한 연소기술을 해석적으로 분석하는 연구가 진행되고 있다. 이에 더하여 에너지 고갈문제 해결 차원에서 연료전지와 가스터빈을 결합하여 시너지효과를 내기 위한 하이브리드 시스템 개발이 선진국을 중심으로 국가과제로서 활발하게 이루어지고 있다. 특히 가압형 고체 산화물 연료전지(SOFC; Solid Oxide Fuel Cell)를 기반으로 하는 하이브리드 시스템 개발이 가장 먼저 이루어지고 있으며, 시스템 설계에 도움이 되는 다양한 해석들이 수행되고 있다. 대부분의 설계 해석들은 SOFC와 가스터빈을 비롯하여 모든 구성부를 원하는 하이브리드 시스템 성능에 맞게 새로 설계한다는 가정 하에 이루어진 것이다. 그러나 현실적으로 연료전지는 셀의 적층에 의한 스택(stack) 크기를 바꾸어서 다른 용량으로 설계하는 것이 가능하나, 가스터빈은 개발초기 단계에서 새로운 용량의 엔진을 설계하여 개발하는 것이 비용측면에서나 개발 일정 측면에서 적합하지 않은 경우가 많다. 따라서 가스터빈은 기존의 엔진을 그대로 사용하게 되기가 쉽다. 따라서 이와 같이 가스터빈은 기존의 것을 사용하고, 이를 기반으로 연료전지를 설계하여 하이브리드 시스템을 구성하는 방법의 보다 현실적인 설계를 대상으로 연구가 이루어지고 있다.

(조형희, 연세대학교)

열병합 및 복합발전

고유가시대와 친환경 발전을 강조하는 시대를 맞이함에 따라 에너지를 절약하기 위해 발전 기관의 효율을 더욱 높이기 위한 연구, 배기가스의 이산화탄소 감축을 위한 연구 그리고 수소 연료전지와 가스터빈의 복합발전 등에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

발전효율이 약 40% 정도에 머무는 가스터빈발전에서 발생하는 고온의 배기가스의 폐열을 이용하는 증기터빈에 대한 연구가 활발하게 연구되고 있다. 구체적으로는 증기터빈을 이용한 화력발전에 사용되는 중요 부품인 Bypass Control Valve에 대한 복잡한 내부의 유동에 대한 수치해석적 연구가 진행되어 보고되었다. 이러한 연구를 기반으로 하여 수입에 의존하는 증기터빈의 중요부품들의 점진적 국산화가 이루어지고 있다.

한편 한국에너지연구원에서는 지난 한 해, 발전 기관의 효율 증가 및 배기가스 중 이산화탄소를 줄이기 위하여 순산소 재순환 연소를 채택한 산업용 보일러에 대한 연구를 실시하였다. 이를 통해 순산소 재순환 연소 기술을 이용하면 더 높은 온도에서 보일러를 작동시켜 효율을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라, 배기가스 중 이산화탄소 및 질소산화물의 비율을 크게 줄일 수 있음을 보여주었다.

가스터빈과 연료전지를 혼합한 복합발전에 관한 연구도 지속적으로 활발하게 수행되었다. 연료전지와 가스터빈을 결합한 시스템을 이용해 스팀을 재생하고 이를 가스터빈 연소기에 분사한 경우, 터빈의 출력비중이 높은 시스템에서 스팀분사로 인한 시스템 효율 상승이 크게 나타난다는 것이 확인되었다. 또한, 기존의 복합발전에 주로 사용되던 고체산화물 연료전지뿐만 아니라 상대적으로 낮은 온도에서 작동되는 고분자전해질 연료전지와 가스터빈의 복합발전에 대한 연구도 수행되었다. 고체산화물 연료전지를 이용한 복합발전 시스템과 고분자전해질 연료전지를 이용한 복합발전 시스템에 대한 성능을 비교한 연구가 이루어졌으며, 비교결과를 통해서 두 복합발전 시스템은 기존의 단일 가스터빈 발전시스템보다 높은 효율을 나타내지만, 고체산화물 연료전지와 가스터빈을 이용한 복합발전이 발전시스템의 효율이나 구성 측면에서 더 유리하다는 점이 확인되었다.

(조형희, 연세대학교)

보일러 및 발전설비

최근 배기가스 배출규정이 강화되고 에너지 자원의 부족과 가격 상승에 따라 발전 설비의 시스템 효율 증가와 배기가스 저감

을 동시에 구현 가능한 실시간 성능 감시 시스템이 발전소에 보급되고 있다. 그 중 응답속도가 빠르고 화염의 유도에 영향을 미치지 않는 비접촉식 계측방법을 적용한 경우 가스화염 및 경유화염에서 과잉공기비에 따른 Chemilumine-scence의 특징의 변화에 대한 실험적인 기초연구와 그 방법에 대한 연구가 수행되었다. 또한 현재 사용되고 있는 실시간 성능감시 시스템의 신뢰성 분석에 대한 연구가 진행되었다.

한편 보일러 부분에서도 성능향상과 공해물질 배출을 줄이는 방법에 대한 연구가 진행되었다. 기존의 방법과 달리 증발관을 직접 화염으로 가열하여 열효율을 높이고 체적을 줄일 수 있는 무연소실 개념의 관군 연소 보일러 개발에 대한 연구가 행해졌고, 이러한 관군 연소 보일러의 새로운 열 설계 프로그램 개발에 대한 연구가 진행되었다. 또한 이산화탄소 저감을 위한 연구로 0.5MW급 순산소 재순환 연소를 채택한 이산화탄소 회수형 보일러 내에서의 연소 특성, 연소실의 열전달, 배기가스의 이산화탄소 고농도화 특성에 대한 연구가 수행되었다. 그리고 NOx 배출물의 저감을 위해 FGR(Flu Gas Recirculation)을 보일러에 적용한 경우에 대해서 FGR률 변화가 배기 배출물에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다.

열교환기 부분에서는 효율적인 열교환기 제작을 위한 여러 연구들이 수행되었다. 구체적으로 살펴보면, 관경 0.5mm의 평판휜의 열전달 및 압력손실에 대한 연구와 원형관-평판휜 형상의 밀집형 열교환기 내 공기의 유동 및 열전달 특성에 대한 수치 해석적 연구가 수행되었고, 기체-액체용 열교환기에 사용할 수 있는 공랭식 단일굴곡 판형열교환기의 제작과 성능 시험에 대한 연구와 알루미늄 열교환기의 경사각에 대한 연구가 수행되었다. 그리고 단면적이 좁은 틈새 공간을 가지는 수직 환상 공간 내부에서의 풀비등 열전달에 하부 유입 유로가 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다.

열교환기 관련 연구로서, 히트파이프에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 전자통신 시스템 분야에 적용하기 위한 냉각기술로서, 히트 파이프를 적용한 경우에 대한 열교환기 설계와 그 성능 시험 및 수치 해석적 연구가 수행되었다. 또한 반도체 웨이퍼 공정에 적용되는 가열 플레이트에 대한 대안으로서 히트 파이프가 제안되었으며 그에 대한 작동유체 주입량에 따른 특성과 공정 적용 온도 구간에 대한 측정과 표면온도 측정 시험을 통한 최적설계에 대한 연구가 수행되었다.

한편, 다양한 발전 설비 시스템에 관한 연구들도 많이 이루어졌다. 이들을 살펴보면, 먼저 신 · 재생 에너지 시스템인 지열원 열펌프 시스템(GSHP; Ground Source Heat Pump)에 사용되는 수직형 방식의 지중 열교환기에 대한 연구가 수행되었다. 지열원 열펌프 전체 시스템의 성능과 초기 설치비를 결정짓는 주요한 요인으로서 작용하는 지중 열교환기의 설계와 성능 향상을 위한 기초자료로서 국내 네 지역(천안, 대전, 대구, 전남 광주)에 설치된 지중 열교환기에 대한 현장 열응답을 측정하고 계산결과와 비교한 연구가 수행되었다.

또한 청정 에너지원인 태양열을 이용한 발전시스템에 대한 연구로서, 흡수기 부분에 용융염(molten-salt)의 강제순환방식과 히트 파이프를 이용한 방식을 적용한 경우의 열흡수 효율을 비교하는 실험이 수행되어 보고되었다.

(조형희, 연세대학교)

연료 및 대체에너지

최근 내연기관의 낮은 효율과 공해문제, 원자력발전의 폐기물 처리문제는 큰 사회적 문제로 대두되고 있으며 이로 인하여 고효율 청정에너지 변환장치인 연료전지의 매력은 날이 갈수록 더 해가고 있는 실정이다. 연료전지는 연료(수소, 메탄올 등) 및 공기의 화학에너지를 전기화학적 반응에 의해 전기 및 열로 직접 변환시키는 장치로 기존의 발전기술과는 달리 연소과정이나 구동장치가 없으므

로 효율이 높을 뿐만 아니라 환경 문제를 유발하지 않는 새로운 개념의 에너지 변환 기술이다. 또한 고분자 전해질 연료전지(PEFC)는 저온에서 운전되며 휴대성을 확보할 수 있다는 장점으로 인하여 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

먼저 다양하게 분류되는 연료전지 시스템 별로 연구가 많이 진행되었다. 고분자 전해질 연료전지(PEFC)의 수소극 공급모드를 dead-end, flow-through, 그리고 재순환모드로 변화시키면서 시간의 흐름과 관련된 성능 특성 연구를 통해 수소극 내의 물 축적이 성능감소의 원인임을 지적하고, Dead-end 모드에서 성능의 감소를 야기하는 수소극 내의 물 축적은 외부가습보다는 공기극으로부터의 역확산이 보다 주요한 원인이 되는 것을 확인하는 연구가 보고되었다. 고분자전해질 연료전지의 전해질 막을 통한 물의 이동의 영향에 관한 연구도 이루어졌으며, 전산해석을 통해 전해질을 통한 물의 이동과 전해질 전도도 및 전극손실 변화와의 관계를 파악할 수 있었다. 또한 전기화학반응에 의한 열생성과 관련하여 열전달 특성을 평가하기 위한 연구도 이루어졌다. 전압을 변화시켰을 때에 가장 민감한 변화를 보이는 irreversible에 의한 손실 때문에 전압에 따른 온도변화가 크게 영향을 받는다. 각 전압에 서 누셀수를 살펴보면 전압이 낮아질수록 반응량이 증가하여 전류밀도가 증가하므로 채널에 더 큰 열에너지가 유입되어 증가하게 된다는 점을 확인할 수 있었다. 그리고 고분자 전해질 연료전지의 외부가습 조건에 따른 정상상태 및 비정상상태 성능특성 연구도 이루어졌다.

고체산화물연료전지에 대해서는, 단일채널을 가진 단위전지에 대해 연결자 소재, 반응가스의 유입방향, 입구온도와 관련한 조건을 적용하여 열 분포 및 성능특성을 평가한 연구가 이루어졌으며, 또한 효율을 높이기 위한 연구로서 내부 개질 반응에 의한 운전을 통해 발생하는 탄소 침적을 억제하기 위한 연구가 이루어졌다. 결과를 통해 안정적인 직접 내부개질 반응을 통한 운전을 위해 반드시 internal steam reforming 반응이 활성화되어야 하며, 이를 위하여 연료와 함께 물을 공급해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

PEM 연료전지 및 하이브리드 시스템의 설계 변수에 대한 연구도 이루어졌다. PEMFC를 기반으로 두 가지 개질방법(SR, ATR)으로 설계되는 10kW급의 소형 발전시스템을 모델링하여 주요 설계 파라미터 변화에 대한 시스템의 성능을 비교, PEMFC에서 하이브리드화에 의한 성능 향상 여부를 확인하기 위한 해석 연구가 이루어졌다. ATR-하이브리드 시스템에서는 연소기에 추가로 연료가 공급되지 않기 때문에 ATR-PEMFC시스템에 비해 다소의 효율향상이 가능하다. 하지만 MCFC, SOFC 하이브리드 시스템과 비교해서는 효율 향상효과가 작다. 따라서 가압형 연료전지 시스템 설계 등 다양한 구성방법을 통하여 PEMFC-하이브리드 시스템 최적화에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이 밖에도 일반적인 연료전지 관련 분야와 관련하여 다양한 연구들이 이루어졌다. 일산화탄소 저감을 위한 개질가스의 전이반응 연구가 이루어졌으며, 대면적 셀 고분자 막전해질 연료전지의 열관리를 위한 수치 해석모델 개발이 이루어졌다. 시스템 관점의 해석을 위해 냉각 계통에 대한 연계 해석을 통해 냉각수 유량과 온도에 대한 소요 동력의 최적화를 시도하였으며, 냉각계통이 최소 소요 동력을 가지고 있으면서, 연료전지가 최대 출력을 내는 점을 이용해 연료전지의 냉각수 온도에 대한최적 운전 조건을 제시하였다. 연료전지용 냉각채널의 성능 특성 평가도 이루어졌으며, 냉각 성능과 압력 강하 성능을 실험을 통해 살펴보았다. 동일 온도 조건에서 유량의 증가에 따른 압력 강하 성능을 평가하여, 연료전지 스택의 신뢰성 확보를 위해 냉각판 제작 시 최고 온도 제어와 내부의 균일한 온도유지가 중요하며 압력강하에 대한 성능도 중요한 함수라는 것을 확인하였다.

앞서 살펴본 연료전지 관련 연구에 더 하여, 대체에너지에 대한 연구도 국내외적으로 매우 활발히 이루어지고 있다. 대체에너지 중 하나인 태양에너지는 자원의 무한성과 청정에너지라는 장점을 지니고 있고, 수소는 환경 친화적인 연료로서 화석연료의 대체 에너지원으로 각광받고 있으며 환경오염에 대한 대책으로 중요성을 더 해가고 있다. 그리고 인류가 직면한 에너지 및 환경 문제를 극복하는 중요한 대안 기술로 수요처에 산재해 있는 에너지 자원, 각종 분산전원 기술 및 수요 측의 부하관리를 포괄하는 에너지 공급사슬 및 운영을 최적화한 토털 에너지 시스템이 부상되고 있다.

구체적으로 이루어진 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 풍력을 이용한 발전과 관련하여, 개별 블레이드 피치 제어 방식을 이용한 수직축 풍력발전기의 성능 해석 및 시스템 구현이 이루어졌다. 풍향과 풍속, 로터 회전수의 변화에 따라 최적의 피치각 변화 경로를 찾아 성능을 향상시켰으며 실험을 통해 피치각 제어로 낮은 TSR에서의 자가 구동과 함께 실제 전기를 생산하고 로터 출력을 구함으로써 운용 가능성을 확인하였다.

태양열을 이용한 연구로서, 실내 설정온도에 따른 태양열 냉난방 시스템의 동적 거동 해석 연구도 이루어졌다. TRNSYS (Transient System Simulation)를 이용하여 난방설정온도, 급탕설정온도 및 축열조 용량이 시스템의 태양열 의존도에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 시뮬레이션 해석이 수행되었고, 축열탱크의 용량은 태양열 의존율의 편차와 반비례하며 이는 시스템을 보다 안정화하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

스마트 에너지 시스템 최적설계 및 적용사례도 찾아 볼 수 있었다. 스마트 에너지 시스템의 개념을 아파트 열병합 발전의 도입에 적용하고 8개 아파트 단지의 운영 결과를 검토해 본 결과, 열병합 발전 시스템이 도입하기 위해 최적 운전모드 분석을 통한 경제성 평가방법을 사용하여 예측된 결과와 실제 열병합 발전운영 사례가 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 이를 신·재생에너지를 포함한 다양한 에너지 자원, 시스템 및 수요를 포괄하는 스마트 에너지 시스템의 최적 설계를 위한 중요한 도구가 될 수 있음을 확인할 수 있다.

(조형희, 연세대학교)

원자력 에너지

현재 세계적으로 고유가로 인한 막대한 경제적 부담과 환경오염으로 인한 지구촌 재앙을 해결할 수 있는 최적의 대안으로 원자력발전 분야가 중요 관심의 대상이 되고 또한 각광을 받고 있다. 우리나라는 총 20기의 원자력발전소를 운영하고 있고, 6기의 신규 원자력발전소를 건설 중에 있는 세계적인 원자력 주도국 중 하나이다. 이에 따라 정부를 비롯해 발전사업자인 한전, 한국수력원자력(주) 등도 이에 대한 정책을 수립하고 있으며 많은 투자와 연구를 통해 기술을 개발하고 있다. 이와 관련하여 원자력 분야에서는 원전 운영관련 기술, 안전해석 기술, 원자력 이용 수소생산기술, 가동원전 주기적 안전성평가 및 수명 관리기술, 기기성능 향상기술, 노심설계/보호 및 감시기술 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

원전 운영 관련기술 분야에서는 디지털 기반 첨단 주제어실(MCR)의 설계 가상현실 기술을 이용하여 가상공간(Cyber Space) 내에 주제어실 및 관련 설비를 구축하고 인간공학적인 검증 및 가상 주제어실 설계검증시스템(VMDVS)의 개발에 대한 연구가 수행되었다. 또한 신규 디지털 I&C 시스템들에 대한 종합적인 연구개발 환경과 체계적인 실험을 하기 위한 I&C 시스템 연구 및 시험용 인프라 설비를 구축하는 연구가 전력산업기술 기반조성사업으로 수행되고 있다. 그리고 안전주입 시 비상노심 냉각계통의 일부로서 주증기 배관 파단사고 시 사고 초기에 안전주입펌프에 의해 붕산수를 주입하여 노심 출력급증을 방지하고 지속적으로 재장전수저장탱크(RWST)로부터 붕

산수를 공급하도록 설계된 붕산수 저장탱크(BIT)를 제거하고 RWST만으로 사고를 제어할 수 있는지에 대한 연구, 리스크 정보를 활용한 원전 운영기술과 화재방호 및 안전기술에 대한 연구가 수행되고 있다.

안전해석 분야의 경우 원전의 안전해석 기술기준이 원전 도입 당시 전수받은 기술기준을 사용하고 있으나 일부는 도입국의 사용제한으로 그 사용이 제약을 받고 있으며 지속적인 사용을 위해서는 막대한 기술료를 지불해야 하는 어려움을 해결하고 국내 원전기술의 해외진출을 용이하게 하기 위한 우리나라가 독자적인 소유권을 갖는 원전 안전해석 기술기준 개발에 대한 연구와 가압경수로, 비등형경수로 및 가압중수로 시스템과 개념을 대부분 적용하면서 물의 임계점 이상의 고온/고압의 초임계압수를 원자로 냉각재로 사용하는 새로운 개념의 초임계압수경수로 개발 및 월성원자력1호기 안전해석에 대한 연구를 수행되고 있다.

온실가스 감축에 대비하고 크린 에너지 등 산업용으로 많은 수소가 이용되고 있음을 고려할 때, 원자력을 이용한 수소생산 기술의 필요성이 증대되고 있는 시점에 수소생산 시스템 기초기술을 확보하고 기반 기술을 개발하기 위해 연구와 초고온가스로-수소생산 기술을 연계한 계통기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재 20기의 원전이 운영 중인 실정에서 가동 중인 원전에 대한 주기적인 안전성 평가 및 운전수명이 종료될 원전에 대한 수명관리 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 원전의 지진에 의한 고온고압 배관의 파단사고로 안전정지 및 사고완화 기능을 수행하는 기기들의 정상적인 작동여부를 검증하기 위한 기기 내환경검증 개발, 고온고압의 수화학적 환경에서 운전되는 1차측 기기의 경우 피로에 따른 환경피로 평가기술 개발, 원전 배관의 감육에 기인한 배관파단을 방지하기 위한 감육배관 관리기술 개발, 울진1,2호기 원자로냉각재계통 주배관 파단전누설 적용 기술개발, 원전의 Alloy 600 합금계열 이종금속 용접부의 1차냉각수 응력부식균열(PWSCC)에 대한 안전성평가 및 해당 용접부 잔류응력 평가기술 개발, 고리1호기 계속운전 관련 주요기기 수명평가, 원전 주요기기 피로감시 시스템 개발, 원전배관 이종금속용접부 비파괴검사 기량검증 기술, 저압터빈 동익자동 비파괴검사기술 개발에 대한 연구가 진행되었다.

기기 성능 향상기술 분야에서는 각종 밸브 중 모터구동밸브(MOV)의 설계기준 분석, 진단시험 수행 및 결과분석, 최종평가를 위한 밸브 성능평가 및 진단기술 개발, ASME, KEPIC 등의 기술기준에서 요구하는 밸브/펌프 등 원전용 안전성 관련 유압기기의 성능시험을 위한 유체기기 성능시험 및 인증체계 구축, 개량형 FARE (Flow Assisted Ram Extension) 기구 적용 기술, 기기 예측 진단기술에 대한 연구가 진행되었다.

한편 노심설계/보호 및 감시기술 분야에서는 캐나다전력공사(AECL)로부터 도입된 국부과출력 보호계통 설계 전산코드 및 기술이 월성원전 1호기 ROPT 설정치 인허가 등에 성공적으로 활용된 후 기술개선과 독자기술로 자립하기 위한 연구 활동이 진행되고 있다.

(전진수, 한국기계연구원 재료연구소)

연소기기

공업용 버너, 가스터빈, 내연기관과 같은 실용 연소기기의 경우 최근 대기오염에 관한 환경규제 강화와 치솟는 국제유가로 인하여 저공해, 고효율 연소기 개발에 관한 연구가 지속적으로 요구되고 있다. 이와 관련하여 2007년 한 해 동안 연소기기 관련 연구의 경향은 크게 이산화탄소(CO_2)와 질소산화물(NOx) 배출저감에 대한 연구로 대표될 수 있다. 1997년 교토의정서 발효 이후 점차 강화되고 있는 CO_2 규제에 대처하기 위하여, 효율이 높은 디젤기관과 그 주변장치 개선에 대한 연구, 그리고 바이오 디젤이나 수소와 같이 신재생에너지 사용에 따른 효과 등에 대해 활발히 연구가 진행되었다. 또한 NOx

배출 저감을 위하여 기존의 확산 화염에 비해 균일한 온도분포를 갖는 예혼합 화염에 대한 연구가 다수의 기관에서 수행되었다. 발표된 논문은 대한기계학회논문집 14편, 한국연소학회 논문집 7편, 한국자동차공학회논문집 10편 등 총 31편이 있다.

CO_2 배출을 감소시키기 위해서는 그 만큼 열효율이 높아야 한다. 실용 연소기기의 경우 효율성, 내구성, 신뢰성 등에서 강점을 가지는 동시에 CO2 배출이 적은 디젤기관이 각광을 받고 있다. 그러나 디젤기관은 배기 배출물 측면에서는 많은 문제점을 갖고 있다. 따라서 기존 디젤기관의 큰 틀은 유지하면서 친환경 연료 사용, 인젝터 등 주변장치 변경 등에 관한 연구가 시도되었다. 한양대학교에서는 연료의 미립화에 영향을 주는 노즐 오리피스 형상 및 형상비 최적화 연구와 더불어 친환경 에너지인 바이오 디젤유를 직접 분사식 디젤엔진에 적용한 연구를 수행하였고, 인하대학교에서는 PM배출이 거의 없고 CO_2 배출량이 적은 Dimethyl eher(DME, CH_3-O-CH_3)를 사용한 연구를 수행하였다. 특히 DME의 경우 높은 열효율, 높은 세탄가, 낮은 자발화 온도, 저장 및 보관의 용이 등으로 인해 디젤기관의 대체 연료로서 실용화 가능성이 크다고 할 수 있다. 부산대학교에서는 가솔린 직접분사 엔진 (GDI; Gasoline Direct Injection)을 대상으로 부분부하 영역에서 점화 플러그 주위에 농후한 혼합기를 분포시킴으로써 성층화에 의한 초희박연소 실현을 통해 연비향상 및 배출물 저감에 대한 연구를 수행하였다.

실용 연소기에 적용된 연소방식은 기존의 확산화염 대신 예혼합화염이 주로 사용되고 있다. 예혼합화염의 경우 짧은 화염길이와 당량비의 조절을 통한 낮은 화염온도로 인하여 NOx를 크게 감소 시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 연소 시 발생하는 연소소음과 연소 불안정성 때문에 운전조건이 좁고, 전체 시스템을 안정적으로 사용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이에 대하여 인하대학교에서는 연료/공기 혼합제어 기술(당량비 변화) 등을 이용하여 화염 안정에 관한 연구를 수행하였고, 한국과학기술원에서는 연소기 내의 연소에 따른 압력변동이 당량비 변동에 미치는 영향 및 불안정한 연소 모드 발생 메커니즘을 밝히는 연구를 수행하였다. 또한 부경대학교에서는 예혼합 희박 연소 시 상대적으로 낮은 온도에서 연소되는 탄화수소의 연소 활성화에 기여하도록 미량의 수소를 첨가함으로써 연소안정성을 높임과 동시에 FGR(Flue Gas Recirculation) 가스 재순환을 통해 NOx를 저감하는 연구를 수행하였다.

그 외의 산업용 연소기기의 경우, 부산대학교에서 높은 연소강도와 낮은 배기배출물 특성을 가지는 세라믹 매트나 메탈 화이버 등의 다공물질을 이용한 다공성 복사 버너에 관해 연구를 수행하였고, 포항산업과학연구원에서는 연소열에 의해 가열된 복사관에서 방사되는 복사열로 피가열물이 가열되는 복사관 버너에 대해 연소 맥동을 이용하여 NOx를 저감하는 연구를 수행하였다. 또한 한국기계연구원에서는 발전소 및 중화학 공장에 설치된 대형 연소기기에서 발생되는 NOx를 저감하기 위하여 수소와 탄화수소 혼합을 통해 화염의 안정화 및 NOx와 CO_2의 동시 저감에 대한 연구를 수행하였고, 부산대학교에서는 방사성 폐기물의 유리화 공정에 사용되는 유도 가열식 저온로에서 일정하고 지속적인 버블링을 통한 고점성 액화 유리와 연소된 방사성 폐기물의 균일한 혼합을 이룰 수 있는 효율적인 버블링 방법에 대한 연구를 수행하였다. 그리고 소형 연소기의 연구에 있어서는 중앙대학교에서 고온과 저온부로 나뉘는 열전모듈을 이용한 초소형 발전시스템인 평판형 열재생 연소기에 대한 연구를 수행하였고, 부경대학교에서는 마이크로 연소기의 연료공기 혼합특성 및 유동장 정보를 얻기 위한 수치해석 연구를 수행하였다.

이와 같이 2007년도 연소기기의 연구경향은 에너지 효율향상 및 배기저감을 위해 청정연료 사

용에 따른 연소특성 향상, NOx 저감기술의 확보와 관련된 연구가 진행되었으며, 향후에도 이 분야에 대한 연구는 꾸준히 이루어질 것으로 예상된다.

(민경덕, 서울대학교)

공기조화

2007년도 공기조화 연구 분야에서는 환경보호, 에너지 절약, 그리고 삶의 질 향상을 목적으로 하는 다양한 연구들이 수행되었다. 친환경적인 연구의 일환으로 이산화탄소를 냉매로하는 냉동공조 기기에 적용관한 연구가 수행되었다. 공기 대 공기 방식의 열펌프에서 냉매충전량, 압축기 회전수, EEV개도에 따른 난방성능, 그리고 외기온도을 고찰함으로써 사이클의 운전변수에 따른 사이클 특성에 관한 연구가 진행되었다. 무차원화된 최적의 충전량은 모든 압축기 주파수에 대하여 0.226으로 나타났으며 압축기 주파수가 증가할수록 시스템 성능은 감소하며 같은 주파수 변화에서 EEV개도가 커질수록 성능의 감소폭은 줄어드는 것으로 확인되었다. 또한 외기온도가 증가할수록 난방성능은 선형적으로 증가함이 확인되었다.

한편, 최근 화석연료로 인한 환경문제를 줄이기 위하여 폐기물을 에너지 자원화 하는 연구가 활발히 진행 중이며 그 중에서 폐기물의 열분해 가스화에 관한 연구가 수행되었다. RPF를 열분해시켰을 때 발생되는 가스의 GC분석을 통해 열분해가스의 화학평형을 계산하여 H_2, CO의 양을 최대로 얻을 수 있는 조건을 찾아 제시하였다. 에너지 재활용 측면에서 폐열을 구동원으로 사용하고, 냉매로서 물을 사용하는 친환경적인 시스템으로 흡착식 냉동기에 관한 연구도 수행되었다. 실리카겔-물계 흡착식 냉동기 시스템의 특성을 평가하기 위해서 Fortran을 이용 한 사이클 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 시스템의 작동조건에 따른 성능특성을 정량적으로 평가하였다.

최근 반도체 공정이 널리 이용됨에 따라 그에 필요한 클린룸 내 시스템 및 설비에 대한 성능 개선 차원의 연구도 이루어졌다. 먼저 클린룸용 에어와셔 시스템의 성능 개선을 위한 연구가 보고되었다. 공기 중의 가스 상태 오염물 제거를 위해 에어와셔를 설치하되 그 가스제거율을 향상시키기 위한 방법으로 에어와셔의 전단부에 온수접촉 열교환기를 투입하여 유입된 외기에 1차로 가열 가습을 행하고 2차로 에어와셔에서 냉각 응축시켜 줌으로써 노즐에서 분무된 물 미스트(mist) 외에 수증기 응축의 부가적인 제거효과에 의한 화학가스 오염물의 제거율을 알아보는 연구가 수행되었다. 그 결과 수용성 물질인 NH에 대해서 온수 접촉 교환기 온도를 증가시키면 전반적으로 제거효율이 증가된다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 반도체 공정에 사용되는 노광기를 대상으로 한 연구도 수행되었다. 급·배기의 위치 및 유량 등의 변화에 따라 입자농도 측정실험을 하였고 동일한 구조에 대하여 3차원 기류에 대한 CFD 계산을 수행함으로써 오염도를 평가 및 예측할 수 있는 방법을 제안하였고, 실험과 CFD 결과를 비교함으로써 통해 기류 이용평가지표보다 국소평균공기연령이 우수한 평가지표임을 확인하였다.

이러한 연구에 더 하여 자동차용 이산화탄소 냉방 시스템의 정상상태 및 동적 특성에 관한 연구도 수행되었다. 이산화탄소를 냉매로 하는 자동차용 냉난방 시스템을 구축하기 위해 차량용 이산화탄소 압축기와 마이크로 채널 타입의 가스쿨러 및 증발기, 팽창 장치를 비롯한 고압용 구성요소들을 사용하여 이산화탄소 열펌프 시스템을 설계한 연구가 이루어졌다. 정상 상태 조건에서는 압축기 회전 속도, 외기온도, 그리고 실내온도와 풍량 변화에 따른 냉방용량과 COP의 변화를 측정하였고 동적 특성을 살펴보기 위해서 초기 열부하에 따른 시스템의 초기 냉방 성능 실험을 수행하여 초기 열부하가 클수록 차 실내 온도가 목표 온도에 도달하는 데에 소요되는 시간이 길어지는 것을 확인할 수 있었다.

(조형희, 연세대학교)