

글 ■ 지 평 삼 부문위원장(한국남동발전(주) 기술본부장)

e-mail ■ jjps@kosep.co.kr

2002년도 에너지 및 동력공학 분야의 주요 연구동향을 요약하여 소개한다. 내연기관, 가스터빈 및 증기터빈, 열병합 및 복합발전, 보일러 및 발전설비, 소각로, 연소기, 원자력 에너지, 공기조화 등 각 세부분야에 있어서 심도 있는 연구 및 기술 개발이 폭넓게 이루어졌으며, 각 세부분야별 연구 동향을 소개하면 다음과 같다.

내연기관

내연기관 관련 분야에서 고효율과 저공해 엔진의 개발에 관한 연구는 꾸준히 계속되고 있다. 우리나라의 경우 자동차의 보유 대수가 2003년 1월 현재 약 1,400만 대를 돌파하여 배출 가스에 의한 환경오염은 더욱 심각한 공해문제로 되어 유해물질 저감을 위한 연소 기술의 획기적인 대책 수립이 매우 시급한 과제로 되고 있다. 이러한 자동차에 의한 환경오염 문제에 대응하기 위하여 세계 주요 자동차 생산국에서는 배출가스에 의한 규제를 더욱 강화하고 있다. 자동차의 배출가스 중에는 지구 온난화의 원인이 되고 있는 CO₂를 비롯하여 질소 산화물(NOx), 입자상물질(PM) 등의 유해물질의 저감 기술은 매우 중요한 연구 과제가 되고 있다. 자동차와 관련된 지구, 환경문제는 기존의 유해 배기가스에서 지구온난화와 관련된 이산화탄소(CO₂), CFC 등의 온실가스 발생은 물론 산성비, 오존층 파괴 등의 문제로까지 확대되었다. 특히, 지구온난화 가스 중 80% 이상을 차지하는 CO₂는 수송부문에서 약 18%가 배출되는 것으로 알려져 있으며, EU환경각료 이사회는 UN기후 협약에 의거 승용차의 CO₂배출량을 2005~2010년까지 120g/km로 감축할 것을 요구하고 있다. 자동차의 CO₂ 감축을 위한 기술로는 크게 차량측면, 엔진본체, 변속기 등의 기술범위로 대별할 수 있으며, 또한 사용연료 자체를 바꿔주는 대체연료 자동차 기술 등이 있다. 이중 엔진본체의 연비 개

선 기술로는 선진국에서는 많이 보급되어 있는 고압분사 디젤승용차의 보급확대와 가솔린 직접분사(GDI)엔진기술, 그리고 연구개발단계에 있는 균일 예혼합 압축착화(HCCI) 기관 등이 CO₂ 감축과 공해물질 배출저감에 크게 기여할 것으로 예상된다.

잘 알려진 바와 같이 디젤엔진은 가솔린 엔진에 비하여 연비가 20% 이상 우수하며, 지구온난화 가스인 CO₂가스도 현저히 적게 배출한다. 선진국에서는 향후 자동차 연소기술에서 출력당 CO₂ 배출량이 가장 중요한 경쟁요인으로 작용할 것으로 인식되고 있으며, 이미 유럽국가들을 중심으로 디젤승용차의 보급이 크게 증가하는 추세에 있다. 특히 경유 자동차로부터 나오는 배출물의 대기 오염 비율이 전체 오염의 약 70%를 차지하고 있는 현시점에서 점차 강화되고 있는 배출가스 규제와 연비 성능 향상에 대한 요구에 부응할 수 있는 엔진 연소 시스템 기술의 개선이 절실히 필요한 실정이다. 그러나 디젤 기관은 연소실 내에 균일한 혼합기가 형성되지 못하고 국부적으로 농후한 혼합기가 생성되어 NOx와 PM생성 등이 대체적으로 가솔린 엔진에 비해 PM(입자상물질)의 배출치가 높기 때문에 디젤엔진 승용차의 보급을 위해서는 디젤의 입자상물질을 대폭 저감시킬 필요가 있다. 최근에 와서 이러한 PM의 배출을 현저하게 저감시킬 수 있는 예혼합 압축착화(HCCI) 등과 같은 연소기술과 매연여과장치 기술(DPF : Diesel Particulate Filter Trap)기술 등과 같은 연소



후처리 기술에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

연소후 처리기술과는 달리 HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition) 연소방법은 디젤엔진의 연소 과정을 개선하여 NOx와 PM을 동시에 줄일 수 있는 연소기술이다. 이러한 HCCI 연소방법으로는 단일연료를 압축행정 초기에 분사하여 균일한 혼합기를 생성하는 방법, 옥탄가가 서로 다른 두 종류의 연료를 혼합하여 예혼합 압축착화를 실현하는 방법 등이 있으나, 이러한 연료공급 방식은 여러가지 문제들을 내포하고 있다. 분사시기를 변화시킨 직접분사식 예혼합 압축착화 연소 방식의 경우 압축행정 초기에 연료를 분사하므로 실린더 라이너 부근이나 피스톤 캐비티에 연료가 과도하게 부착되는 등의 문제점이 있으며, 흡기관에 연료를 분사하는 경우에는 두 종류의 연료 중 높은 옥탄가를 가진 연료의 경우 자기 착화성이 나쁘므로 혼합 연료의 혼합 비율에 따라서는 스파크 점화의 경우보다 더 많은 양의 HC가 배출되는 등과 같은 해결하여야 할 문제점들도 내포하고 있다. 일본의 경우에는 Aoyama 등은 NOx와 Soot를 동시에 저감하기 위하여 2종 연료를 사용하여 예혼합 연소를 이루도록 하는 가솔린 예혼합 압축착화 기관을 구축하여 실험적으로 연구하였다. 그 결과 예혼합기 압축착화 기관의 연소 배출물이 디젤 직분식에 비하여 현저하게 개선되는 결과를 얻었다. 또한 단일 인젝터에 점화용 연료와 주 연료를 동시에 분사하는 시스템을 구성하여 더 높은 착화 안정성을 실현시키는 연구를 수행하고 있다. 이밖에도 EGR 적용시의 예혼합 압축착화 연소특성에 대한 연구, Natural gas, Methanol, LPG, DME 등 여러가지 연료를 이용하여 예혼합 압축착화를 시도하여 그 실현 가능성을 검토하고 있다. 최근에는 핀들 스월 방식의 인젝터에 단일연료로서 가솔린을 사용하여 보다 균일 예혼합기를 형성한 후 압축착화를 수행함과

동시에 가변 밸브 타이밍을 적용하여 착화시기를 조절하는 연구, 과급이나 가변 압축비를 이용하여 압축착화를 시도하는 연구 및 피스톤의 압축과 팽창과정에서의 화학적 조성 변화에 따른 착화시기 조절에 대한 연구가 수행되고 있다. 미국 및 유럽의 경우에는, 단기통 엔진에 직분식 가솔린 인젝터를 사용하여 예혼합 압축 착화를 실현한 연구와 4행정 다 실린더 가솔린 엔진의 자연착화를 시도하여 연소 성능을 여러 가지 운전 조건에 대하여 실험적으로 규명한 연구, 예혼합 압축착화의 연소 안정 및 화염 전파과정을 분석하기 위한 연소 가시화 연구 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내에서는 일부 자동차 제작사, 한양대학교와 KAIST 등에서 예혼합 압축착화 엔진의 연소 시스템 기술 개발과 배출물 저감에 적용하기 위한 HCCI 엔진 연소에 대한 실험적 연구가 활발히 이루어지고 있다.

또한 HCCI엔진의 연소과정 및 점화시기를 예측하기 위한 모델링에 대한 많은 연구들이 국제적으로 진행되고 있다. 이러한 HCCI 엔진의 연소특성은 chemical kinetics에 의해 주로 지배되며, 난류와 화학반응의 상호작용은 고온가스와 엔진의 crevice 및 엔진벽면 열경계층에서의 저온가스와의 난류혼합에 의해 HCCI 엔진의 연소과정에 영향을 미치게 된다. HCCI 엔진에 대한 기존의 많은 실험결과들이 있으나, HCCI 엔진의 연소과정에 대한 상세한 모델링은 아직 확립되지 않은 상태에 있다. 위에서 언급한 바와 같이 HCCI 엔진의 연소특성은 chemical kinetics에 의해 크게 영향을 받기 때문에 HCCI 엔진연소의 모델링은 상세화학반응 모델을 필히 사용해야 하며, 직접수치모범(direct numerical simulation)은 과도한 수치계산이 소요되기 때문에 HCCI 엔진의 연소특성을 해석하는데 적용하는 것은 거의 불가능하다. 이러한 이유로 HCCI 엔진에 대한 연소과정에 대한 해석은 유체 유동장을 단순화시킨 single-zone 모델들을

사용하고 있으나, Single-zone 모델은 실린더 최대 압력을 과대예측하고 미연 탄화수소(UHC)와 일산화탄소의 배출량을 현저하게 과소 예측하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 열경계층 등의 영향을 고려할 수 있는 Multi-zone 모델들이 제안되고 있으며, 이러한 CFD코드와 연계하여 사용할 수 있으며, 노킹현상의 해석에도 적용할 수 있는 이점이 있다. 그러나 Multi-zone 모델은 HCCI 엔진에서 유한한 공기/연료 혼합율로 인한 공기와 연료의 Unmixedness로 인한 당량비와 온도의 비균일성 및 난류난동이 연소특성에 미치는 영향을 무시한다. 이러한 HCCI 엔진의 저온 경계층내의 국부적인 비균일성으로 인한 Micromixing, 유한한 공기/연료 혼합률로 인한 공기와 연료의 Unmixedness로 인한 당량비와 온도의 비균일성, 스칼라 난류난동, 그리고 Large-scale Mixing 등이 HCCI 엔진의 연소과정 및 공해물질 생성특성에 미치는 영향을 고려하기 위한 연구들이 국내외에서 수행되고 있다.

또한 기존 디젤엔진에서 PM의 저감기술로는 연소후 과정에서 매연을 Filter로 포집하여 연소시키는 매연여과장치 기술(DPF)이 가장 현실적인 대안으로 알려져 있다. 이러한 기술이 실제적으로 적용되기 위해서는 낮은 온도가 포집된 PM을 태울 수 있고 내구성이 좋고 적응성이 넓어야 한다. 최근에는 대형 및 중소형 디젤엔진의 넓은 운전 조건에 적용할 수 있고 저온에서 PM을 연소하기 위해 촉매나 첨가제를 사용하는 Passive Active Combination 방식을 DPF기술을 개발하는 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서는 한국기계연구원, 명지대학교 그리고 연세대학교 등에서 DPF개발 관련 연구를 체계적으로 수행하고 있다.

이외에도 전기자동차, 하이브리드 자동차(HEV), 연료전지자동차(FCEV) 및 천연가스(CNG)자동차, DME(DiMethyl Ether)연료를 사용하는 디젤엔진을

포함한 대체연료자동차 엔진에 대한 개발의 실용화가 중요한 과제이다. 가솔린 엔진의 연비 성능을 향상시키기 위하여 SCV를 이용한 희박연소 특성에 관련된 논문들과 직분식 가솔린 엔진에 적합한 분무 및 연소특성을 파악한 논문들이 작년 한 해 동안 다수 발표되었으며, 고속직분식 디젤 엔진의 연소성능에 중요한 영향을 미치는 고압 인젝터의 분무충돌 특성에 관한 논문들과 EGR 및 과급을 이용하여 디젤엔진의 배기 및 연소특성에 관한 논문들이 여러 연구기관에서 발표되었다. 이와 같이 자동차용 저공해 및 저연비 엔진기술에 관한 연구는 꾸준히 발표되고 있으며, 향후에도 이 분야 대한 관심은 더욱 고조될 것으로 기대된다. [김용모, 한양대학교]

가스터빈 및 증기터빈

최근 들어 환경에 대한 영향 및 고효율, 소형 발전 설비에 대한 관심이 고조되면서 높은 효율을 내면서 비교적 친환경적인 가스터빈이 많은 주목을 받고 있다. 기존에 항공기용 엔진이나 대형 발전 시스템 등에 한정적으로 사용되던 가스터빈은 높은 효율의 복합화력 발전뿐만 아니라 단위 건물의 열병합 발전, 하이브리드 시스템 등으로 그 활용 범위가 점차 넓어지고 있으며, 이러한 추세에 따라 가스터빈의 효율을 향상시키기 위한 연구 및 가스터빈 작동 전반에 관한 연구들이 수행되고 있다.

가스터빈의 효율 향상을 위하여 고온의 연소기로부터 터빈 블레이드를 보호하기 위한 냉각 방법들에 대한 연구들이 지속적으로 이루어졌다. 냉각유체를 터빈 블레이드 표면에 분사하여 블레이드 표면을 보호하는 막냉각에 관해 발표된 연구들을 살펴보면 원형 홀에 한정되어 있던 기존 연구에서 벗어나 홀의 형상을 직사각으로 변형한 경우들에 대해 연구가 수행되었다. 원형홀, 단순



직사각형, 출구면적을 넓힌 확장 직사각형에 대한 결과들로부터 확장 직사각형의 경우가 분사울에 관계없이 확장 부분에서 냉각유체의 운동량 감소를 통하여 가장 좋은 막냉각 효율을 나타내는 것으로 보고되었다. 또한 사각형 및 확장 사각형으로 이루어진 2열 및 3열에서의 막냉각 성능에 관한 연구도 수행되어 원형홀 배열의 연구 결과와 함께 비교되었다. 막냉각으로 보호되는 블레이드 표면에 국한되지 않고 정사각 형상의 단면을 갖는 막냉각을 내부에서의 열전달 특성에 관한 실험 및 수치해석도 수행되었다. 이와 함께 가스터빈 블레이드 표면에 대한 열부하 파악 및 냉각기술의 기초자료를 얻기 위한 연구로서 발전용 가스터빈 1단 블레이드의 압력면과 흡입면 전체 영역에 대한 열전달 계수 측정결과가 보고되었다.

상대적으로 높은 열부하가 걸리는 터빈 블레이드와 연소기 내벽을 효과적으로 냉각할 수 있는 충돌제트 냉각에 대한 연구도 수행되었다. 분사홀과 유출홀의 여러가지 배열 변화와 두 판 사이의 간격변화가 열전달 특성에 미치는 영향이 체계적으로 연구되어, 엇갈림 배열의 경우 유출홀의 크기가 고정된 상태에서 분사 제트의 크기 변화는 동일 유량에서 분사 제트의 운동량을 변화시켜 열전달 분포에 크게 영향을 주며 면적비가 증가할수록 높은 열전달 계수를 얻은 결과가 발표되었다.

터빈 블레이드 내부에서 열전달을 향상시키기 위한 연구로 실제 가스터빈이 작동하는 환경에 상응하는 다양한 회전수를 갖는 블레이드 내부관의 열전달 특성에 대한 연구가 수행되었다. 코리올리효과에 의하여 블레이드 전·후연간 열전달 차이가 발생하고, 회전수가 증가함에 따라 두 경우 모두 전연면 곡관부 끝단과 후연면 곡관부 출구 및 2차유로 입구 내벽근처에서 열전달이 국소적으로 상승하는 효과가 공통적으로 나타나며, 이로부터 높은 회전수에서는 요철에 의한 열전달

촉진효과보다 회전에 의한 효과가 더욱 우세하게 나타난다고 보고되었다.

가스터빈 블레이드에 대한 개별적인 냉각방법들에 관한 연구 이외에도 가스터빈에 관한 다양한 연구가 수행되었다. 소형 가스터빈과 SOFC를 결합한 가압형 하이브리드 시스템 및 상압형 MCFC와 가스터빈을 결합한 하이브리드 시스템을 대상으로 하여, 연료전지의 주요한 설계인자인 전류밀도, 수증기/연료비, 연료 이용률 등과 가스터빈의 주요 설계 변수인 압축비, 터빈 입구온도 등 주요 설계 변수의 변화에 따른 하이브리드 시스템의 성능 특성에 관한 연구가 수행되었다. 그밖에도 복합화력발전 하부시스템 설계시 필요한 다양한 열 성능해석에 활용 가능한 계산과정을 구성하고 이를 이용하여 주요 설계 파라미터들이 열성능에 미치는 영향을 분석한 연구가 수행되었으며, 단순 사이클 가스터빈을 대상으로 하여 설계 성능과 부분부하 성능간의 상관관계를 분석한 연구 결과도 보고되었다. 선형 터빈 캐스케이드 내에 다양한 높이의 경계층 팬스가 설치된 경우, 발생하는 3차원 난류유동 및 흡입면의 열전달 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위한 수치해석도 수행되었다. 또한 터빈의 정익과 동익의 비정상 상호작용에 대한 해석을 위해, 병렬 해석기법을 이용한 1단 터빈에 대한 3차원 비정상 해석 코드가 개발되어 발표되었으며, 국내에서 운용하고 있는 건식 저NOx 발전용 가스터빈의 연소기를 대상으로 연소모드 변환과정에서 연료노즐 별 연료분사 스케줄을 1차원으로 해석하여 상용코드에서 비정상 3차원 해석을 위한 경계조건으로 입력하는 기법을 개발한 연구도 수행되었다.

가스터빈 및 증기터빈에 대한 연구는 가스터빈 블레이드의 냉각 방법에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 이와 더불어 가스터빈 성능 설계에 관한 전반적인 연구들도 활발히 수행되고 있다. [조형희, 연세대학교]

열병합 및 복합발전

지구 환경 문제에 적극적으로 대응하며 에너지 사용의 효율 극대화를 위하여 환경 친화적 고효율 발전 방식의 국내 도입 필요성이 대두되고 있다. 또한, 국내의 전력 시장의 경쟁체제 하에서 경쟁력 확보를 위해 핵심 요소인 발전 원가 절감이 큰 관심의 대상이 되었으며, 이를 도모하기 위해 발전설비의 최적 운전성능 유지를 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 이에 에너지와 환경문제의 해결방안으로 열병합 발전 시스템 및 복합화력 발전 시스템 설계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

복합발전 시스템은 가압된 보일러 내에서 연료를 탈황제와 함께 유동화 상태에서 연소시켜 보일러에서의 연소열을 회수, 증기터빈을 구동하기 위한 증기를 생산하고 보일러에서 배출되는 고압의 연소 가스로부터 함유된 분진을 제거한 후 가스터빈 구동에 사용하여 전력을 생산하는 고효율 발전 방식이다. 이러한 복합발전 시스템에 대한 연구로서 복합발전의 성능을 해석할 수 있는 모델들이 개발되어 설계 조건과 실제 가동 조건에서 시뮬레이션 되었다. 또한 실시간으로 운전 데이터를 취득하고, 발전소의 운전성능 평가와 설비의 이상 유무 상태를 온라인으로 감시하여 최적의 운전상태를 유지할 수 있는 온라인 성능감시 시스템을 개발, 사용함으로써 성능열화를 지속적으로 감시, 설비 결함을 조기에 발견하고 조치하도록 하였다. 그리고 개발된 온라인 성능감시 시스템의 도입을 위하여 발전플랜트의 모델을 구성하고 평가하는 연구도 함께 진행되었다.

열병합 발전이란 하나의 열원으로 서로 다른 두 가지 유형의 에너지 즉, 열과 전기를 동시에 생산하는 종합시스템이다. 열병합 발전 설비는 여러가지 에너지를 동시에 생산하는 고효율 발전 설비로서 기존의 전용 발전시스템은 일반적으로

30~40%의 효율을 갖지만 열병합 발전의 경우 기술적으로 90%의 효율이 가능하다. 이에 열병합 발전 시스템의 비용구조를 MOPSA라고 하는 열경제학적 방법을 사용하여 알아보는 연구가 진행되었는데, 이로부터 열병합 발전시스템의 비용구조는 기기에서 발생하는 비가역성과 관계가 있다는 사실을 알게 되었다.

이러한 열병합 발전 시스템의 구동기기로는 가스터빈, 디젤엔진, 연료전지 등이 있으며, 특히 연료전지는 초소형 구동기기로 많은 관심을 끌며 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 고체 산화물 연료전지 시스템의 열역학적 성능을 해석하고 그 특성을 분석하는 연구와 함께, 실제 공기판 유로를 설계하기 위한 유동 해석과 실험도 진행되고 있다. 또한 가스터빈과 연료전지의 하이브리드 시스템을 설계하고 그 성능을 해석함으로써 고효율과 고신뢰성의 시스템 개발을 위한 연구가 진행되었다. [조형희, 연세대학교]

보일러 및 발전설비

에너지 효율을 높이기 위한 연구가 다양한 방면에서 진행되고 있다. 연소 특성 파악을 통해 효율을 높이려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 발전설비의 성능해석과 운전부하의 특성 연구를 통한 시스템 적인 측면에서의 접근이 크게 증가하였다. 또한 새로운 에너지원으로 주목받고 있는 연료전지에 대한 연구가 다양한 측면에서 이루어졌다.

연소와 관련해서는 여전히 오염물질의 발생을 줄이기 위한 연구가 많이 이루어졌다. 최근 질소산화물 저감을 위한 희박 연소가 각광 받고 있으므로, 이에 따른 연소불안정을 해결하기 위해 부하 변동에 따른 급격한 연소상태의 변화나 연료의 다변화에 따른 연소상황의 변화를 센서를 이용, 연소 상황을 실시간으로 관리 및 진단하여,



능동적으로 연소진동을 제어하기 위한 연구가 이루어졌다. 또한, 연소모드 변환과 같은 과도상태의 현상을 3차원으로 해석하기 위해 국내 운용되고 있는 건식 발전용 가스터빈의 연소기를 대상으로 연소모드 변환과정에서의 경계조건을 1차원적으로 해석한 후, 이를 상용코드의 비정상 3차원 해석을 위한 경계조건으로 입력하는 기법에 대한 연구가 진행되었다.

오염물질 배출이 많은 저 휘발성의 액체연료의 경우, 연료분무 전 물과 유화시킴으로써 높은 비점 범위로 인한 불완전 연소특성을 유화연료의 2차 미립화로 개선, 고상의 미연탄소분을 상당부분 저감시킬 수 있으므로, 이를 이용한 저공해 연소 기술의 연구 또한 꾸준히 진행되고 있다. 이 외에도 발전용 보일러의 연소특성을 수치해석을 이용하여 예측하고, 이를 기존의 실험 결과와 비교해, 수치해석을 통한 연소해석 알고리즘을 개발하기 위한 연구가 이루어졌다.

발전 설비의 최적 운전성능 유지를 위해, 발전 설비의 시스템적인 접근을 통한 연구도 많이 진행되었다. 실시간으로 운전 데이터를 취득하여 발전소의 운전 성능평가는 물론 설비의 이상유무 상태를 온라인으로 상시 감시하여 최적의 운전상태를 유지하는 발전소 성능감시 시스템에 대한 개발이 복합발전 시스템의 운전효율 및 오염물질 저감, 그리고 설계성능 해석 등에 대하여 이루어졌다.

발전 설비는 항상 최적화된 설계조건에서만 가동되지 않는다. 이에 따라, 발전 설비의 부분부하 운전이 발전성능에 미치는 영향에 대해서도 연구되어졌다. 가스터빈에 대하여 설계성능과 부분부하 성능 사이의 상관관계에 대한 연구가 실제적인 가스터빈들에 대하여 이루어졌으며, 탈설계 조건에서 한국표준원전 증기발전기의 열수력 및 유체탄성 불안정성에 대한 해석이 이루어졌다. 또한 화력 발전소의 운전 변수의 변화가 아임계압 보

일러와 초임계압 보일러의 효율 및 오염물질 배출에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구와 온수를 이용한 열전 발전기에서 유량의 변화에 의한 영향이 연구되어졌다.

환경오염과 에너지 절약에 대한 관심이 높아지면서, 열기관에 비해 공해요인이 적고 효율이 높은 연료전지에 대한 연구가 크게 증가하였다. 연료전지는 사용되는 전해질의 종류에 따라 고분자 전해질형, 인산형, 용융탄산염, 고체산화물형 그리고 알칼리형의 다섯 가지로 구분될 수 있는데 보일러 및 발전설비 분야에서는 이중 작동온도가 높아 가스터빈과의 혼합형 발전 사이클을 이용해 높은 효율을 얻을 수 있어 최근 급속한 기술개발이 이루어지고 있는 고체산화물 연료전지(SOFC)에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 고체산화물 연료전지의 열역학적 성능해석과 성능 특성 분석 및 연료전지 자체의 특성에 대한 연구 등 연료전지 자체에 대한 연구 이외에도, 가스터빈과의 혼합형 발전 설비에 대하여, 연료전지의 주요 설계인자인 전류밀도, 수증기/연료비, 연료이용률 등과 가스터빈의 주요 설계변수인 압축비, 터빈입구 온도 등의 변화에 따른 혼합형 발전 설비의 성능 해석을 통해 최적의 설계변수를 찾기 위한 연구가 진행되었다. 고체산화물 연료전지에 비해 개발역사가 길고, 혼합형 발전 설비 구성이 가능한 용융탄산염(MCFC) 연료전지를 이용한 상압형 혼합 발전 시스템에 대해서도 주요 설계인자가 효율과 출력에 미치는 영향이 연구되었다.

혼합형 발전 시스템을 위한 연료전지 외에도 작동온도가 낮아 시동시간이 짧고, 전류밀도 및 출력 밀도가 상대적으로 높아 가정용 분산발전 시스템에 적합한 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)에 대한 연구가 진행되었다. 연료전지의 성능은 전지판에서 균일하게 전력을 최대한로 발생할 수 있을 때 우수한 성능을 나타낼 수 있는데 전류판 내부 밀도는 분리판의 내부 유동과 밀접한 연관

성을 가지므로 이에 대한 설계 및 해석을 위한 연구가 이루어졌으며, 이에 대한 실험이 함께 이루어졌다.[조형희, 연세대학교]

소각로

2002년도 폐기물학회는 춘·추계학술 발표행사를 거행하였으며, 춘·추 모두 한·일 폐기물학회 공동 Symposium을 개최하였다. 학술발표는 유기성 자원화, 소각/열분해, 매립, 관리/정책, 무기성 자원화, 토양오염분과와 한·일 Session으로 나누었으며, 이 글에서는 학회 중심으로 지난 한 해 동안 소개된 폐기물의 소각기술 개발 내용을 요약하여 소개한다.

폐기물을 소각로에서 처리할 경우, 직접 소각시키는 방법에서 발생하는 다이옥신과 같은 유해물질의 양을 줄이기 위하여, 열분해 방식의 기술개발 연구결과가 발표되고 비중이 높은 편이었다. 이와 같이 열분해 방식이 도입된 이유로서는 열에 의한 고분자류의 분해 속도가 빠르기 때문에 소각과정에서 이를 제대로 제어하지 못해 유해물질 발생을 억제하지 못한다는 점에 있다. 한편으로는 고열량의 고분자 폐기물을 열처리하는 과정에서 나오는 높은 열을 보다 효과적으로 많이 회수하는 것도 하나의 목적이 되고 있다. 소각재까지 고려하여, 열분해 용융기술은 독일, 일본 등에서 집중적으로 개발되고 있으나, 국내에서는 아직 활발한 연구가 진행되지 못한 상황하에서 국내 생활폐기물 특성에 맞추어, 가동 그레이트방식의 열분해로에서 설정온도에 따라 형성되는 열분해로의 내부 온도와 생성물내의 미연분 및 중금속 성분을 분석한 연구 결과를 소개되었다. 열분해를 위해서는 400°C~500°C 에서 탄화가 잘 이뤄지고, 고온에서는 가스화 현상이 나타나며, 열분해 과정 중 중금속 성분은 폐기물 상태에서와 거의 동등하며, 납의 경우 열분해 온도 범위에서 상당한 범

위의 온도 의존성이 나타나는 것으로 소개하였다.

생활 폐기물 열분해 잔류물질의 용융특성에 있어서는 잔류산화물의 염기도는 1.0을 조금 상회하고, 용융에 필요한 보조 에너지를 최소화하기 위해서는 열분해 공정에 공급되는 공기량을 낮추고 열분해 온도를 낮춤으로써 고체 탄소분의 발생량을 높여야 함을 주장하고 있다. 폐기물 고체연료(RDF)의 유동층 연소특성 실험 및 연소시 이 배출 거동 특성 연구가 실험실 규모로 하여 연구가 초기 단계에서 진행되어, 최적 연소조건 도출을 위한 RDF의 투입량과 공기 공급량의 설정, RDF량에 따른 Ca(OH)₂량의 변화에 따른 비산재에 함유되어 있는 Cl 의 함량을 측정된 내용이 소개되어 생활 폐기물의 RDF최적 연소 방안이 기대되고 있다.

슬러지는 하수 종말 처리시설과 공단 폐수 종말 처리시설 그리고 1종 폐수 업소에서 배출되는 유기성 슬러지의 직매립이 금지됨(실제 2003년까지 유예기간)에 따라, 또 해양 투기도 금지하고 있어 슬러지를 환경적으로 무해화 처리, 처리후 잔류물의 재활용 등의 기술이 요청되고 있는 가운데 단기적으로는 소각처리 및 연료화, 퇴비화로의 재활용이 전망되고 있다. 하수 슬러지를 고온 용융시켜 불연물은 재활용이 가능한 슬래그로 전환하고 가연분은 고온에서 소각하여 무해화 시키는 용융로를 활용하여 하수 슬러지를 안정적인 슬래그화를 위한 신뢰성 제고 90% 이상과 감량을 99% 이상 달성 결과를 제시하였다. 또한 제지 슬러지의 유동층 소각기술연구에서 연소 운전시 슬러지의 투입률과 함수율은 소각특성에 미치는 중요한 인자이기 때문에 제지 슬러지를 대상으로 한 연구 결과중 함수율 50%와 45% 사이에서 소각 가능 투입률이 급격히 달라지는데 연소 과정 중 건조 단계에서 함수율이 높은 쪽에서는 수분 증발량에 과다한 에너지가 소비됨을 제시하고 있다. 이러한 슬러지 연구를 통해 슬러지 소각처리 기술 정립과 상용화 시기가 다가오고 있음을 예



상할 수 있다.[최갑석, 한국기계연구원]

연소기기

연소기기는 공업로 및 보일러 등에 사용되는 버너 및 가스터빈 연소기 등으로 구분할 수 있으며, 에너지 절약 및 저공해 연소기술에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 특히 최근에는 기후협약에 따른 온실가스 저감과 관련된 연소기술에 대한 연구가 주목을 받고 있다.

저공해 연소기술은 주로 저 NOx 연소기술에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있으며, 환경규제가 강화됨에 따라 이에 대한 요구는 급속히 증가하고 있다. 저NOx 연소기술로는 농담연소, 연료 및 공기 다단연소, 재연소, 배기가스 재순환, 산소연소, 진동연소, SCR, SNCR, 그리고 플라즈마 탈질 기술 등을 들 수 있다. 현재, 국내의 경우 저NOx 연소기의 개발에 대한 연구는 한국기계연구원, 생산기술연구원, 한국에너지기술연구원 및 고등기술연구원 등에서 진행되고 있으며, 저NOx 연소시스템의 레이저 계측 및 설계해석 기술은 서울대학교와 한양대학교에서 체계적으로 개발하였다. 이러한 산학연 연구결과 중 일부는 상용화되고 있으나, 아직까지 산업계에서는 많은 경우 버너를 수입하여 사용하고 있으며, 많은 경우 설계제작 시에도 단순히 경험에 의존하고 있는 상태이다. 따라서, 저NOx 버너 개발에 대한 연구를 보다 활성화시키고 국내 기술이 현장에 적용될 수 있도록 하기 위해서는 제도적인 지원이 절실히 필요한 실정이다. 최근에는 규제가 더욱 더 강화됨에 따라 저NOx 버너와 SCR 또는 SNCR 등을 혼합하여 NOx를 저감하는 방법 등이 시도되고 있다. 한국기계연구원에서는 플라즈마 탈질기술을 체계적으로 연구하고 있으며 최근에는 플라즈마/SCR 복합공정 기술을 개발하고 있다. 특히 한국에너지기술연구원에서는 SOx와 NOx를 동시에 제거할

수 있는 “산화제/ACF를 이용한 동시제거 기술”과 연소과정에서 발생하는 이산화탄소의 분리공정을 생각할 수 있는 “매체순환식 연소기술(CLC : Chemical Looping Combustion)”을 개발하고 있다. 산화제/ACF를 이용한 동시제거 기술에서 SOx는 석회석 등 알칼리 반응제를 이용하여 제거하고 NO는 NaClOx 등의 기능성 산화제와 ACF (Activated Carbon Fiber)를 이용하여 NO₂를 산화하여 질산염형태로 NOx를 제거하는 방식이다. 매체순환식 연소기술은 공기반응기(산화반응기)에서는 금속입자(M)가 공기중의 산소에 의해 산화되어 금속산화물(MO)이 형성되고, 이 금속산화물은 환원반응기로 순환되어 연료연소기(환원반응기)에서는 금속산화물 입자가 기체연료(CH₄, H₂, CO or C_nH_{2n+2})와 반응하여 다시 금속입자로 환원되면서 CO₂와 H₂O만을 생성시키는 원리를 이용하여 연소과정에서 발생하는 이산화탄소의 분리공정을 원천적으로 생각할 수 있는 기술이다.

에너지 절약 및 고효율 연소기술로는 축열을 포함한 고온 공기 연소기술, 촉매 연소기술 등에 연구가 수행되고 있다. 또한 온실가스 저감 및 순산소 연소기술에 체계적인 연구가 수행중이거나 수행 예정으로 되어 있다. 순산소 연소기술은 산소부화연소(OEC : Oxygen Enriched Combustion)의 극단적인 형태로서, 열효율의 제고 및 CO₂가스 저감기술과 맞물려서 전 세계적으로 활발하게 기술 개발이 진행되고 있다. 순산소 연소를 채택함에 따른 경제적 이익은 연소효율을 제고하여 에너지 비용을 절감할 수 있고, 에너지의 밀도가 높기 때문에 생산성의 향상을 가져올 수 있으며, 청정연료와 순산소를 연소시키므로 대기오염물질의 배출이 거의 없어 배연가스의 후처리비용을 절감할 수 있다. 그러나 순산소 제조비용 및 추가적인 시설투자비 때문에 경제성을 확보할 수 있는 분야가 전기와 같은 고가의 에너지를 투입하여 고온을 얻는 것이 필수적이었던 용융로와 같은 상태

적으로 좁은 범위에 한정되어 있는 실정이나 에너지 고갈시 중요한 역할을 할 것으로 기대되는 매립지 가스등과 같이 CO₂ 함유율이 높은 저급 연료의 연소기에 확립된 기술을 확대 적용할 수 있어 향후 CO₂ 저감에 더욱 폭넓은 역할을 할 것으로 기대된다. 이러한 CO₂ 저감기술 및 차세대 신기술의 상용화를 위해서는 순산소 연소, 산소제조, CO₂ 회수, 내열재료 및 성형기술을 포함한 설비시스템 차원의 핵심요소기술, 시스템 기술 및 응용기술에 대한 개발이 체계적으로 수행될 필요가 있다. 또한 기후변화협약에 따른 온실가스 저감을 이행하지 못할 경우 국가적으로 막대한 손실을 초래하게 되고 이러한 기술 개발의 성패 여부에 따라 기존 설비들을 포함하는 각종 연소 시스템 가동 중단은 물론 수출에 심대한 타격을 받을 것으로 예상되기 때문에 환경, 경제 및 기술적으로 국가적 차원에서 대응방안을 마련하여야 할 필요성이 있다. 이러한 필요성 때문에 국내에서는 CO₂ 저감 관련 기술의 체계적인 개발을 위하여 프론티어 사업을 추진 중에 있으며, 한국과학기술원의 ERC를 중심으로 이에 대한 기초연구를 진행 중에 있으며, 연료-산소-CO₂ 연소기술 등 CO₂ 및 N₂O 등의 온실가스 저감에 관한 연구가 향후 활발히 진행될 것으로 예상된다. 대학 연구실을 중심으로 순산소 및 산소부하 연소와 관련하여 총류 화염의 상세구조, 첨가제가 NO_x생성 특성에 미치는 영향, 상세반응 메커니즘, 그리고 열전달 특성 등에 대한 기초연구가 활발하게 수행되고 있다. 또한 한국기계연구원과 한국에너지기술연구원에서는 CO₂ 재순환이 순산소 연소기의 난류 비예혼합 화염구조와 화염안정성, 그리고 순산소 가열시스템의 개발에 관한 연구를 수행하고 있으며, KIST와 한양대학교에서는 이러한 순산소 난류연소 모델링과 순산소 연소시스템 설계해석 기술을 개발하고 있다.

가스터빈 연소기기에 관한 연구는 최근에 와서

상대적으로 활성화되어 삼성테크윈, 한국기계연구원, 한국항공우주연구소, 그리고 전력연구원 등에서 연구가 진행 중에 있으며, 특히 최근 발전용 소형 가스터빈에 대한 필요성이 대두되면서 몇몇 업체에서 가스터빈 사업을 수행 중이거나 준비 중에 있다. 가스터빈의 경우에도 환경규제를 만족시키기 위한 NO_x 저감에 대한 연구가 필수적임으로, 선진국의 경우에도 이에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며, 국내 경우에도 연구가 시작되고 있다. 저NO_x 기술로는 예혼합 희박연소, 과농 희박연소 및 촉매연소 기술 등을 들 수 있으며, 현재까지는 예혼합 희박연소 기술이 가장 적합한 기술로 인식되어 한국기계연구원, 한국항공우주연구소와 전력연구원에서 연구가 진행되고 있으며, 일부 기술은 상용화되고 있다. 최근에는 촉매를 이용하여 NO_x를 현저히 낮추는 기술이 개발되어 상용화를 시도하고 있다. 연소기기 개발에 관한 연구는 에너지 절약과 저공해 연소기술을 중심으로 진행되고 있으나, 두 경우를 모두 만족시키는 고효율 저공해형 연소기술 개발이 요구되고 있다. 특히, 저공해에 따라 연소효율이 저하되는 경우가 많으므로 새로운 연소기술의 개발에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 또한 한국항공우주연구원에서는 연료전지와 가스터빈을 결합한 하이브리드 동력발전기술의 개발에 관한 연구를 수행하고 있으며, 연구가 성공적으로 끝날 경우 연료전지관련 기술, 가스터빈 및 저공해 연소기술, 그리고 소형 하이브리드 발전기술에 큰 파급효과를 줄 것으로 사료된다. 최근에 와서 한국항공우주 연구원에서 수행한 액체로켓 개발사업(Korean Sounding Rocket Phase III)과 관련하여 액체로켓의 성능과 연소불안정, 그리고 극저온 추진체에 대한 실험 및 해석적 연구가 국가출연 연구기관과 대학 연구실을 중심으로 활발하게 진행되고 있으며, 이 분야에 대한 연구는 향후 10년 내에 현저하게 증가할 것으로 예상된다. 또한 차세



대 연소기기로는 산소 연소기술, 수소 이용기술 및 폐가스 또는 신연료 이용기술 등 대체연료 사용에 관한 연구와 새로운 연소방법 개발에 의한 연소기기의 고효율 저공해 연소기술과 함께 MEMS기술을 접목한 미세연소시스템 기술 등이 포함되며 이에 관련된 연구가 국내에서도 현저하게 증가하는 추세에 있다.[김용모, 한양대학교]

원자력 에너지

원자력 에너지 분야에서는 2002년 한 해에도 원자력 발전소의 안전성 및 신뢰도 향상을 위해 지속적인 기술개발을 수행하여 정비능력 향상, 취약설비 개선 및 계획예방정비 최적화를 함으로써 국내 18개 호기의 원전 이용률을 92.7%로 끌어올리는데 크게 기여한 것으로 나타났다.

발전설비에 대한 점검 및 정비는 설비를 안전하고 효율적으로 운영하기 위하여 수행하여야 할 필수적인 사항이다. 특히 원자력발전소는 화력발전소와는 달리 원자로 내에 핵분열 물질인 우라늄이 장전되어 운전되고 있으므로 전기사업법에 의한 발전기 및 터빈 등 발전설비에 대한 정기검사뿐 아니라 원자로 및 부속설비, 안전설비 등에 대하여 원자력법에 의거 운전 연수 경과에 따라 이들 설비의 성능이 저하되지 않고 초기 상업운전 때와 동일한 성능으로 유지되는지의 여부를 확인하기 위하여 규제기관으로부터 정기적으로 검사 받고 있으며, 이를 통하여 설비의 신뢰성과 안전성을 확인해오고 있다. 또한 세계적으로 원자력 발전소의 경쟁력 향상을 위해서 계획예방정비 기간을 계속적으로 줄여 나가고 있으며, 해외 일부 우수 원전은 10일대 후반에서 20일대 초반까지 수행되고 있는 실정이다. 이러한 추세에 맞추어 국내에서도 미국 및 유럽 원전의 경험사례에 대하여 벤치마킹을 꾸준히 시행하고 있으며, 공기단축과 최적화 결과로 2002년도 계획예방정

비는 총 438.3일 동안 11개 호기를 수행하여 평균 공기 40일로 전년도 대비 평균공기 이틀 정도 단축함으로써 183억 원의 추가 전기 판매량 성과가 나타난 것으로 보고되었다.

계획예방정비 공기 단축을 위해 1999년도에 1단계 계획예방정비 개선계획을 수립하여 2002년까지 표준공기 제정, 공정관리 전산화, 정비항목별/시간대별 상세공정 분류 시행, 발전소 정지/기동공정 개선항목 도출, 해외 우수원전 기술교환 등이 수행되었으며, 특히 정비의 품질을 높이고, 경년열화 관리를 위해 정비항목을 지속적으로 추가해오고 있다. 그 예로 원자로 냉각재 펌프의 유체부분 완전분해 점검을 위하여 10년 이상된 원전을 대상으로 유체부분 Assembly를 발전소 별로 한 대씩 추가로 확보해서 계획예방정비 시마다 원자로 냉각재 펌프 유체부분을 교체하고 있다. 이러한 계획예방정비의 지속적인 개선을 위하여 2단계 계획예방정비 개선 세부계획을 수립하여 2003년도부터 적용 예정이며, 2단계 세부계획에는 표준공기의 개선, Outage Management Process 개발, 원자로해도 단순화 등의 설비개선 투자, 정비물량을 과학적으로 조정하기 위한 다양한 정비기법 적용, 계획예방정비의 지침 개발 등이 포함되어 있으며, 이러한 계획예방 정비 개선을 통하여 향후 평균공기를 더욱 단축시킬 수 있을 것으로 예상되고 있다.

또한 원자력 발전소의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 2002년도 수행된 주요정비 및 점검사업으로 고리 3호기 및 울진 2호기 원자로 냉각재 펌프 내장품 일체 교체정비, 울진 2호기 주발전기 고정자 권선 정비, 울진 2호기 주증기 습분분리재 열기 전열관 다발 교체 등이 수행되었으며, 원전 계획예방정비 기간중 중·장기계획에 따라 수행하고 있는 증기발생기 전열관 외전류탐상검사 및 원자로자동초음파검사 등과 같은 가동중 검사 그리고 안전관련 동력구동밸브에 대한 건전성 평가



를 수행하여 설비 신뢰성과 안전성을 제고하였다.

설비개선 및 보강사업으로는 기계설비의 안전성과 신뢰성 제고를 위하여 고리 2호기 기기냉각해수 회전식걸름망 교체, 핵연료 재장전 기중기 운전제어시스템 개선, 배관 방진기 교체 및 지지대 추가설치, 고리 3호기 재장전기중기 Gripper 교체, 주북수기 세관 불세정계통 스트레이너 개선, 증기발생기 안전밸브 후단 소음기용 분배기 설치, 월성 2,3,4호기 증기발생기 2차측 튜브시트 상단 세정용 Hand Hole 설치 등의 개선작업이 수행되었으며, 계측 및 전기설비의 신뢰성 제고를 위하여 고리 2호기 금속파편 감시계통 신설, 원자로정지불능 완화설비 신설, 터빈 진동감시설비 개선, 영광 3,4/울진 3,4호기 노내 핵계측기 교체, 영광 1,3,4호기 주급수 제어밸브 및 주급수펌프터빈 진동감시설비 다중화 작업을 전 원전에서 지속적으로 수행하였다.

앞서 언급된 바와 같이 현재 운행중인 원자력 발전소의 정비와 설비 개선에 대한 연구이외에도 원자로 용기 외벽의 냉각과 관련된 실험적 연구들이 2002년에 수행되었다. 원전에서 중대사고 발생 시 원자로 용기가 파손되기 전에 원자로 용기 외벽을 냉각하여야 원자로 용기의 파손을 방지하고 노심 용융물을 원자로 용기 내에 가두어 두어 원자로 용기의 건전성을 유지할 수 있다. 그렇기 때문에 원자로의 안정성과 건전성을 유지하기 위하여 원자로 용기 외벽을 냉각하는 방안이 세계적으로 고려되고 있는 만큼 이에 대한 연구들이 주로 진행되었다.

특히 차세대 원전인 APR 1400 원전은 기존 한국 표준형 원전에 비해 열용량이 크기 때문에 노심 용융물이 반구 내부로 주입되면서 관통부의 용접부와 thimble 튜브의 파손 가능성이 존재하고 원자로 용기 외벽 냉각 시 thimble 튜브를 포함한 관통부 파손현상에 대한 불확실성이 존재하므로 이에 대한 필요성이 제기된다. 때문에 한국원자력

연구소에서는 Al_2O_3 Thermite 상사 용융물을 이용하여 차세대 원전에서 중대사고시 원자로 용기 외벽 냉각을 수행하는 경우에 원자로 용기 하반구 관통부의 건전성을 평가하기 위하여 유도 가열로를 이용한 지속 가열 실험을 수행하였다. 그 결과 외벽 냉각을 하지 않은 실험의 경우는 용접 부위가 모두 용발된 반면 외벽 냉각을 수행한 실험에서는 용발이 발생한 면적이 좁게 나타났다. 즉, 동일한 출력 조건에서 실험을 수행한 결과 외벽 냉각 수행 여부는 반구 내벽과 용접 부위의 용발 깊이를 결정함을 확인하였다.

또한, 원자로용기 외벽 냉각을 고려한 APR1400 원전에서 외벽냉각으로 원자로용기 파손을 방지하는 것을 검증하기 위해서 원자로용기 하부의 IC 노즐과 thimble 튜브의 건전성을 평가가 필요하다. 이를 위하여 원자로용기 관통부 건전성에 원자로용기 내부 압력, 용융물 질량, 원자로용기 하반구 형태 변화가 미치는 영향을 평가하는 실험으로서, thermite 반응으로 생성된 산화알루미늄 용융물을 사용하여 관통부와 열적으로 반응시키면서 관통부의 건전성을 평가하는 실험을 수행하였다. 그 결과, 원자로 용기 외벽 냉각 수행과 관통부 속의 냉각재 때문에 관통부 손상에 의한 원자로 용기 파손을 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 2002년도에도 원자력 에너지 관련 분야에서는 원자력 발전소의 최적 안전운영과 관리를 위한 주요설비에 대한 지속적인 기술개발과 안전성 평가에 대한 연구들이 수행되어졌다.[이용태, 한국수력원자력(주)/ 조형희, 연세대학교]

공기조화

공기조화는 실내의 온·습도, 기류 및 청정도를 인위적으로 사용목적에 적합하도록 조절하는 장치로서 그 적용목표가 소음 및 진동의 영역까지 확대되고 있으며, 가정용뿐만 아니라 산업용



시설에까지 적용범위가 확대되어 가면서 그 설계의 중요성이 날로 커지고 있어 이에 대한 연구들이 활발하게 수행되고 있다.

최근 환경 친화적인 태양에너지의 활용을 위한 기술개발 및 보급방안에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 주로 집열기의 최적 경사각, 집열기의 종류별 집열성능, 축열조의 축열 및 방열특성 향상, 시스템의 효과적인 제어를 통한 시스템 성능 향상 등과 같은 연구들이 진행되고 있다. 공동주택에서의 태양열원 급탕시스템 제반 운전특성에 대한 실험장치를 구축하여 성능평가와 함께 몇 년간 에너지 소비형태 등을 관한 기초적인 자료를 도출하여 발표되었다. 또한 보일러와 연계된 소규모 시뮬레이터를 구성하여, 외기 및 부하조건과 2차측 보일러 연계시의 종합적인 운전 및 에너지 절약 특성에 대한 연구가 수행되었다. 이를 통해 저온집열에 의한 평판형 집열기의 경우 동계 청명일에도 비교적 높은 40~50%의 집열 효율이 나타남을 파악하였고, 보일러와 축열조의 연계운전시 30% 전후의 가스사용량으로 보다 높은 급탕온도를 유지할 수 있다는 연구결과를 발표하였다.

온실 냉·난방에 있어서 여름철 일정하게 유지되는 지하수를 냉열원으로 하는 Serpentine Heat Pipe를 이용하여 여름철에는 냉방부하를 저비용으로 제거하고 겨울철 난방시에는 난방 시스템의 폐열원을 최소화하는 연구도 수행되어, 현재 일반화되어 있는 냉·난방 방식들과의 경제성 분석을 통해서 60% 이상의 경제적 이익을 기대할 수 있는 것으로 보고되었다. 또한 온풍기내에서 발열 히터 부분이 차지하는 용적이 증가함으로 인해 원활한 온풍 배출의 어려움을 해결하기 위한 방안으로 온풍기의 유입 유속과 발열체 크기 변화에 대하여 온도분포, 속도분포, Nusselt 수 등을 조사함으로써 온풍기의 효율을 상승시키는 연구가 수행되었다.

CFC 및 HCFC 계열의 냉매에 대한 환경규제에 대응하기 위해 새로운 냉매에 대한 연구도 수행되어 이산화탄소를 이용한 주거용 열펌프 시스템의 성능특성 모델링을 통하여 고찰한 결과, 열펌프 성능계수(COP)가 Heating Mode에서 3.5 정도로, Cooling Mode에서는 3.0 정도로 나타나는 것으로 보고되었다. 또한 냉각탑 이론 및 설계기술을 이용한 냉각탑의 탈설계 성능 예측에 대한 프로그램을 구성하여, 작동조건 변화에 따른 냉각탑의 성능변화도 해석되어 공기·습구온도 및 물온도 범위의 변화는 냉각탑의 성능변화에 비교적 큰 영향을 미치지만, 물 유량의 변화가 성능에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 열교환기의 냉각면에 형성되어 전체 시스템의 성능저하를 일으키는 서리층에 대한 연구도 이루어졌다. 서리층 성장 거동에 대한 수치적 모델을 통하여 실험값과 비교·검증과 함께 서리층 성장 거동시 열 및 물질전달 특성을 예측한 결과도 발표되었다.

이밖에도 새로운 덕트공법의 하나인 CD 덕트공법과 기타 공법들의 누기 성능시험과 강도시험 등을 수행함으로써 합리적인 덕트시스템의 선정 및 효과적인 설치를 위한 연구를 수행한 결과, KARSE 규격과 DW-143 규격으로 허용누기량의 만족과 함께 판재 두께를 한 단계 또는 두 단계 줄더라도 덕트 접속부분의 처짐강도는 그다지 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 전기 집진기에 대한 연구도 수행되어 전기 집진기에 사용되는 방전부 부분과 수진타입의 정전필터를 결합하여 쓰는 IE-EAF(Ionizer Enhanced Electrostatic Air Filter)를 이용한 결과, 저전압으로 높은 집진 효율을 갖는 것으로 보고되었다.

공기조화에 대한 연구들은 앞서 기술한 바와 같이 매우 다양한 방면에서 지속적으로 이루어지고 있으며, 향후에도 더욱 많은 관심이 증대될 것으로 기대되고 있다.[조형희, 연세대학교]