열공학 부문

이 글에서는 대류 및 물질 전달, 복사열전달, 연소공학, 환경과 공해, 열시스템 제어 및 계측, 공정열역학, 열역학 및 열물성, 열기기 및 열교환기, 냉동 및 저온공학, 마이크로 열공학, 수소 및 연료전지 등 2004년 한 해 동안 열공학 분야의 연구 동향에 대해 소개한다.

이 상 용 부문회장(KAIST, 교수) e-mail : e_hyunny@cais.kaist.ac.kr

대류 및 물질전달

지난 한 해 동안 수행된 대류 및 물질 전달에 관한 연구들을 살펴보면, 부착물의 존재, 유체의 충돌, 덕트의 형상 변화 등에 따른 열전달 향상에 관한 연구가 많이 진행 되었다.

우선 부착물의 존재에 따른 열전달 향상에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 여러 가지 다양한 기하학적 형상을 가진 물체를 열전달 면에 부착하여 열전달률을 향상시키려는 연구가 진행되었다. 경사진 사각 리브를 이용한 연구가 수행되었으며, 부착물의 높이/폭 비와 받음각의 변화에 따른 열전달률의 변화를 조사하여 최적의 형상을 찾는 연구가 이루어졌다. 또 다른 연구에서는 삼각형 멀티 탭을 제트 노즐에 부착하여 이들의 존재가 열전달 향상에 미치는 영향을 연구하였다. 탭의 수 및 노즐과 플레이트의 거리의 변화에 따른 유동의 변화를 규명하고 이러한 유동의 변화에 따른 수(Nusselt number)의 변화를 조사하였다.

다음으로 유체의 충돌을 이용한 열전달 향상에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 스월비 및 레이놀즈 수의 변화에 따른 원형 선회류의 유동 특성 변화를 조사하였다. 원형 선회류 충돌 면에서의 열전달 특성을 규명하기 위하여 관련 변수들의 변화에 따른 충돌면에서의 국소 및 평균 수를 구하였으며, 노즐 출구에 꼬인 테이프를 삽입하는 경우 이들의 존재가 평균 수를 증가시킨다는 것을 발견하였다. 초기에 횡방향 유동이 있는 충돌제트/유출냉각에서 요철을 설치하여 이로 인하여 열 및 물질 전달이 향상되는 연구도 진행되었다. 이때 횡방향으로 유입되는 유량 및 요철 배열의 변화가 열 및 물질 전달에 미치는 영향을 조사하였다. 핀이 부착된 히트 싱크에 경사진 충돌 제트를 이용하여 열전달률을 증가시키는 연구도 진행 되었다. 히트 싱크 주위에 형성되는 유동 현상을 가시화하여 이들과 열전달 현상과의 상관 관계를 조사하였다. 충돌 제트의 또 다른 연구로는 고온의 표면에 충돌하는 액적의 거동과 열전달 현상을 규명하는 수치적 연구가 있다. 변형된 액적의 거동을 조사하기 위하여 level set 방법을 이용하여 계산을 수행하였다. 계산 결과에 의하면 열전달률은 액적의 퍼진 지름에 많이 의존하는 것으로 밝혀졌다. 또한 액적의 지름이 커지면 벽에서의 열전달률이 증가하는 것으로 관찰되었다. 액적의 무화는 열전달을 향상시키며 형성된 액적의 사이즈가 작을수록 열전달 향상에 미치는 효과는 증가한다고 보고되었다.

덕트 내부의 형상 변화가 열전달에 미치는 연구를 보면 다음과 같다. 열교환기 내부에 형성된 유로의 꺾인 각의 변화가 국소 열 및 물질 전달 변화에 미치는 영향을 규명한 연구가 수행되었다. 물결 모양 내부 덕트의 꺾임각 및 수력 직경을 변화시키면서 나프탈렌 승화 기법을 이용한 열 및 물질 전달 실험이 수행되었다. 레이놀즈 수의 변화 및 이차와의 존재가 국소 수(Sherwood number)의 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 크기가 작은 미니 및 마이크로 채널의 경우 전통적인 열전달 측정 기법을 사용하여 측정을 수행하는 경우 측정 데이터에 많은 오차가 발

생한다. 그러므로 수 mm 이하의 수력 직경을 가지는 단일 채널에서 열전달률을 정확하게 측정할 수 있는 기법이 제안되었다. 새로 개발된 측정 기법을 이용하여 응축이 존재하는 작은 직경의 유로 내에서 열전달률을 구하였다. 관련 변수들의 변화에 따른 실험을 수행하여 기존의 상관식과 비교를 통하여 개발된 측정 기법의 타당성을 검증하였다.

기타 열 및 물질 전달 현상에 대한 다른 많은 연구가 진행되었다.

이산화탄소의 존재가 산소 부화 수소 화염의 열전달 특성에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다. 로의 윗부분에 장착된 스월 버너에 의하여 화염의 특성을 규명하는 실험적 연구가 진행되었다. 정상 상태 조건에서 화염으로부터 로 벽으로 전달되는 복사 열전달 및 총 열전달량이 증가하는 것이 관찰되었다. 산화제에서 이산화탄소의 양을 증가시키면, 로에서 대류에 의한 열전달이 복사에 의한 열전달보다 더 지배적으로 작용하게 된다. 이때 로에서 벽으로 전달되는 총 열전달률은 증가하지만, 로의 온도는 전체적으로 감소하는 것이 관찰되었다.

두 수평 평판사이에 존재하는 온도 차이에 의하여 형성되는 자연대류에 대한 연구가 수행되었다. 낮은 수(Rayleigh number) 영역에서는 해석해를 구하였고, 높은 수 영역에서는 수치해를 구하였다. 전도가 지배적인 낮은 수 영역에서는 두 개의 벽 사이에서 한 개의 파장에 해당하는 영역에 두 개의 셀이 형성되는 것이 관찰되었다. 파수가 작은 경우에 레일레이 수가 증가하면 수평관 내부에 형성되는 유동이 불안정해지는 것으로 밝혀졌다.

정지된 상류의 원형 실린더 사이의 편심률이 후방 실린더의 열전달에 미치는 영향을 규명하는 실험적 연구가 진행되었다. 후류에 존재하는 실린더의 열전달률을 증가시키기 위하여 상류에 존재하는 실린더의 배치를 변화시켜가면서 실험을 수행하여, 이들이 유동의 박리, 와 흘림, 재순환, 재부착 등에 미치는 영향을 조사하였다.

압전 세라믹 냉각 팬을 사용하여 냉각을 하는 시스템에 대한 연구가 진행되었다. 팬에 의하여 형성되는 유동을 PIV를 사용하여 가시화하고, 액정막을 이용하여 열전달률을 측정하였다. 팬에 의한 유동은 Y자 형상을 하며, 팬에 의하여 생긴 후류에 의하여 열전달률이 향상되는 것으로 밝혀졌다. 냉각에 관한 다른 연구로는 수평관내에서 CO_2 냉각, 막 냉각, 구멍 내부에 수직 분사에 의한 냉각, 이차 냉각 유로에서 종횡비 변화와 요철 설치의 영향 규명 등이 있다. [하만영, 부산대학교]

복사열전달

복사열전달은 고온의 매체로부터 방출되는 전자파(electromagnetic wave)의 전달에 따른 열의 전달로서 전도 및 대류 등과는 상당히 다른 전달 특징을 가지고 있다. 특히 방향에 대한 매우 강한 비등방성 전달(anisotropic transfer)과 방출되는 전자파의 파장에 대한 강한 의존도(wavelength dependent nongray effect)는 복사열전달을 이해하고 해석하는 데 많은 어려움을 가중시키고 있다. 그리고 전도 및 대류 열전달은 전달 매개체가 없는 진공을 통하여서는 전달될 수가 없으나, 복사열의 전달은 진공 속에서 전달 저항이 가장 작으며(표면복사 ; surface radiation) 반면에 전자파의 진로상에 있는 매체가 복사열의 전달을 억제하는 역할을 하거나 전달되는 방향을 바꾸는 역할을 하는 등의 특징(체적복사 : volumetric radiation)이 있다. 여기서 표면복사 문제는 주로 표면과 표면 사이의 복사열교환과 같이 기하학적인 배치 형상에 따른 복사열전달을 다루게 되며, 체적복사 문제는 연료의 연소과정에서 발생되는 가스와 같은 매체에 의한 복사열의 전달 특성을 연구하게 된다.

2004년도에 발표된 복사열전달 관련 논문들 중에는 체적복사에 대한 해석 기법 연구, 비회색(nongray) 가스복사를 고려한 연구, 복사 역 해석 방법(inverse radiation problem)에 대한 연구, 열역학적 밸런스에 관한 연구 및 복사열전달을 측정하는 연구 등이 있었다.

매체로부터의 체적복사에 대한 해석 기법을 연구한 결과로서 1차원 평판 형태의 매체를 고려한 복사열전달의 해석 기법 연구 및 2차원 매질을 통한 복사

열전달을 몬테카를로법(Monte-Carlo method)과 유한체적법(Finite Volume Method)을 결합한 해석 기법에 대한 연구 등이 있다. 그리고 체적복사를 응용하는 연구로서 혼합 연소가스로부터의 비회색 체적복사가 대향류화염의 연소 특성에 미치는 영향에 대한 해석적인 연구 결과도 발표되었다.

원통형 구조물 내부에서의 표면복사 문제 및 원통형 가스 매체에 의한 체적복사 문제 등에 대한 복사역 해석 방법에 대한 연구를 수행한 결과들이 발표되었으며, 이러한 역 해석 문제들에서는 주어진 또는 측정된 복사열전달 량으로부터 벽면의 온도 또는 방사율(emissivity) 등을 역으로 구해내는 연구를 하고 있다.

그리고 야간 하늘에 노출된 평판의 복사냉각효과를 살펴보기 위하여 표면복사 열교환을 고려한 열 밸런스 분석을 수행한 결과가 발표되었으며, 또한 복사열전달을 측정하는 연구로서 이산화탄소를 산소에 혼합하는 비율의 변화에 따른 수소-산소 확산 화염으로부터의 복사열유속의 변화를 측정한 결과 및 적외선 패널히터의 온도분포를 측정한 결과 등이 발표되었다. [김태국, 중앙대학교]

연소공학

지난 한 해 동안 대한기계학회논문집 B권에 발표된 논문 중 연소공학 분야로 분류되는 논문은 총 37편으로, 작년의 32편, 재작년의 30편과 비교하면 매년 증가하는 추세이다. 논문의 내용을 바탕으로 나노 및 매연입자 관련 연구(7편), 비정상 화염 연구(4편), 산소부화 및 희석제관련 연구(8편), 응용연구(11편) 등의 4개 분야로 크게 나눌 수 있고 이외에 기타 연소에 관련된 연구결과(7편)가 발표되었다.

나노 및 매연입자 관련 연구

화염을 이용한 물질의 합성과 관련된 연구는 주로 나노입자에 주안점을 두고 이루어졌다. 나노입자의 연구는 에틸렌/공기 역 확산화염에서 화염상의 위치, 촉매금속의 크기 및 연료희석의 효과가 탄소나노튜브, 탄소나노 섬유 및 나노매연입자에 미치는 영향에 관하여 다루어졌으며, laser-induced ion mobility계측법을 매연나노입자에 적용한 결과가 보고되었다. 초기매연의 생성에 미치는 여러 영향과 질소첨가제의 영향에 대한 연구도 보고되었다.

비정상 화염 연구

소화과정, 부상화염의 거동 및 화염구조를 밝히기 위하여 음파가진, 대향류화염에서 유속변동 및 와동삽입 등의 방법으로 화염을 교란시킨 경우의 화염거동에 관한 연구가 이루어졌다. 이와 아울러 열-확산 불안정성에 의한 맥동불안정성에관한 연구도 발표되었다.

산소부화연소 및 희석제의 영향

작년도의 연구에 비하여 논문편수가 가장 눈에 띄게 증가한 분야이다. 산소부화 및 이와 병행한 CO_2의 첨가가 i) 화염 및 연소특성에 미치는 영향, ii) NOx 저감에 미치는 효과 규명 등에 관한 논문이 발표되었다.

응용 분야

응용분야는 크게 가스터빈 연소기 관련 분야, NOx 저감용 연소기 및 로켓모터에의 응용으로 구분된다. 가스터빈 연소기 관련분야는 주로 연소불안정성과 관련된 연구로서 i) OH 자발광으로 열 방출 측정, ii) 혼합정도와 당량비에 따른 온도 분포 측정 등이 발표되었다. 다단 연소법과 사이클론 제트 하이브리드 연소기를 사용한 NOx 저감법도 연구되었다. 로켓엔진 관련 분야는 상온 음향 시험, 음향해석을 통한 허브-블레이드 배플 형상의 최적화법 및 마이크로 고체 추진제 추력기 요소의 성능 평가에 관한 논문이 발표되었다. 그 외에 분무수 분무특성이 액체연료 Pool화염의 소화에 관한 논문도 발표되었다.

기타 연구

촉매연소와 관련하여 촉매 표면반응의 천이거동과, 초소형 촉매 이상 분해 반응기에 대한 이론해석이 이루어졌으며, 고온공기를 이용한 제트화염의 부

상특성연구, 에탄올-공기 예혼합기의 층류 화염두께 예측, 연료분배율과 혼합거리에 따른 NOx 배출특성, 초임계 질소 환경에서 탄화수소 연료 액적의 기화 특성, 화염편 및 조건평균법 모델을 이용한 재순환 비예혼합 난류 화염장의 해석도 이루어졌다.

NOx 관련 연구

전술한 연구들 중에 NOx와 연관된 연구는 모두 8편이 발표되었다. CO_2 첨가 등에 의한 희석, 다단연소, 사이클론 제트 하이브리드 연소기 사용, 고온공기 사용, 혼합거리와 연료분배율 변화 등의 방법을 사용한 NOx 저감 연구가 이루어졌다.

발표된 논문을 중심으로 2004년의 연소공학 분야의 연구경향을 정리해보면, 전년인 2003년에 비하여 NOx와 매연 등의 환경관련 연구분야의 발표가 늘어났으며, 기후변화협약의 영향으로 산소부화연소와 CO_2 첨가의 효과에 대한 발표가 크게 늘어났다. 작년에 1편 발표되었던 나노물질에 관한 연구가 올해에는 4편이 발표되어 급성장하는 경향을 나타내었다. 이에 비하여 화재제어 및 화염감시 분야는 발표가 저조하였다. [이병준, 영남대학교]

환경과 공해

환경공학 및 환경정책 전문가들의 역할이 사회적인 이슈를 제공하여 많은 사람들의 관심을 불러들이는 것이라면 기계공학자들의 역할은 환경 오염원을 감지하고(sensing) 제거하는(control) 하드웨어 및 시스템을 설계하고 제작하는 일이다. 여기에 나아가 평가 및 표준화 기준을 정함은 매우 중요한 기계공학 분야이다. 환경 오염원으로는 NOx, SOx, VOC, 악취 등의 가스상 물질과 분진, 매연, 바이오에어로졸(박테리아, 포자류 등)의 입자상 물질이 있다. 이들 오염원과 관계되는 기계 시스템으로는 자동차, 연소기, 소각로 등과 같은 에너지 변환 시스템, 냉장고, 에어콘, 공기청정기, 환기유닛과 같은 가전 및 공조설비, 그리고 반도체 공정 반응로, 정보기기 등의 정밀기기 등 다양하다. 이와 같이 21세기 환경 및 공해 문제를 해결하기 위한 기계공학적인 접근 방식은 최근 기계공학에서 접근할 수 있는 요소기술이나 시스템 기술이 기존의 설비 측면뿐 아니라 환경/에너지기술(ET), 바이오기술(BT), 나노기술(NT)이 결합되는 새로운 형태로도 나타나고 있다.

다음에는 대한기계학회뿐 아니라 설비공학회, 연소학회, 자동차공학회, 폐기물학회, 대기환경학회, 실내환경학회, 입자에어로졸학회 등 다수의 유관학회에서 활동한 이 분야 국내 기계공학 연구자들의 연구동향을 크게 1) 청정 연소기술 및 연소 배출 물질 측정/평가 기술, 2) 실내 공기질 및 환기기술, 3) 환경처리기술 및 오염제어기술 등의 관점에서 살펴보았으며 관련 대형 사업 등을 소개한다.

청정 연소기술 및 연소 배출 물질 측정/평가 기술 : 자동차 관련

최근 경유 자동차에서 배출되는 입자상 물질(PM : Particulate Matter)이 발암물질이고, 극미세입자(nano PM)가 다량으로 배출되는 것으로 알려짐에 따라 자동차 배기가스에 대한 인식이 달라지고 있다. 즉, 지금까지는 주로 대도시 대기오염의 주된 이동 배출원으로 간주하여 배기가스의 주요 성분(PM, HC, NOx, CO 등)을 규제하고 있으나, 최근 대기오염뿐만 아니라 인체 위해성 측면에서 배기가스 중 극미세입자를 규제하려는 PMP(Particle Measurement Program) 활동이 유럽, 일본 등지에서 활발하게 진행되고 있으며 우리나라도 2004년도에 KPMP forum이 발족되었다. 자동차에서 배출되는 PM은 대기 중으로 확산, 이동하여 물리화학적 반응을 통해 대기환경에 영향을 미치고, 대기 중 체류하는 극미세입자는 인체의 호흡기를 통해 폐로 침투하여 질병을 유발할 수 있다. 그러므로 자동차에서 배출되는 PM을 효과적으로 규제하고 관리하기 위해서는 PM 현상을 정확히 규명하고, 이러한 기초 연구를 바탕으로 대기오염의 기여도 평가, 인체 위해성 평가, PM 측정방법의 표준화 기술을 개발하여야 할 것이다. 이러한 자동차 PM에 대한 연구는 환경부 TRM(Technical Road Map)에서 '맑고 안전한 공기 프로그램'의 3개 중점영역 중 미세먼지 오염개선과 오존 및 스모그 오염 개선의 2

개 중점영역에 포함되어 있다. 미세먼지 오염개선에는 자동차 미세먼지 저감기술 개발로 포함되어 있으며, 이동오염원의 미세먼지 배출 저감 및 저공해 자동차 상용화를 목표로 (1) 자동차 후처리 장치 상용화 및 복합 후처리 기술개발, (2) 청정연료 기술 및 자동차 연료 적합성 평가 프로그램 개발, (3) 천연가스 차량 핵심 부품 및 경제적인 천연가스 차량 사용화, (4) 자동차의 연소 외 미세먼지 배출실태 조사 및 환경친화적 차량 대체 부품 개발 등의 연구가 계획되어 있다. 오존 및 스모그 오염 개선에서는 NOx 배출 저감에 초점이 맞추어져 (1) De-NOx용 촉매기술 및 대형차량용 탈질기술 개발, (2) 운행차, 제작차용 복합 후처리 장치 개발(PM, SOx, NOx) 등의 연구가 계획되어 있다. 수도권 대기환경개선 특별법에서는 자동차 배출을 줄이기 위하여 저공해 자동차 구매비율을 의무화하고, 배출가스 보증기간이 지난 중, 대형 경유 자동차의 배출가스 검사를 강화하여 불합격한 경우 배출가스 저감장치 부착, 저공해 엔진으로 개조, 폐차 등의 조치를 취하도록 하고 있다. 저공해 자동차는 (1) 전기 자동차 등 오염물질을 배출하지 않는 자동차를 1종, (2) 가스 자동차 및 하이브리드 전기 자동차 중 오염물질 배출량이 차기 제작차 배출허용기준을 만족하는 자동차를 2종, (3) 휘발유, 경유 자동차 중 차기 제작차 배출허용기준을 만족하는 자동차와 가스 자동차 중 질소산화물을 일정비율 이상 저감시킨 자동차를 3종으로 구분하고 있다. 이와 관련하여 새로운 규제에 대비하여 배출가스 저감장치의 성능을 평가할 수 있는 기술이 개발되어야 하고, 특히 극미세입자의 개수농도 검사장치가 필요할 것으로 예상된다. 현재 대도시 대기오염의 주원인이 경유자동차로부터 배출되는 매연과 PM임을 고려할 때, PM의 생성 메커니즘 분석 및 측정방법의 확립을 통한 PM 저감기술 개발은 매우 중요하다. 이러한 PM 측정 및 저감기술은 디젤엔진만이 가지고 있는 문제인데, 상대적으로 우수한 열효율과 연비(CO_2 저감) 특성을 가지는 디젤엔진의 장래와 관련하여 이 문제점은 반드시 해결되어야 한다. 디젤엔진에서 배출되는 PM에 의한 인체 유해성(폐암 발생률)은 이미 심각한 것으로 알려져 있는데, 특히 극미세입자를 포함한 디젤 입자상물질을 발암물질로 분류하고 있다. 이는 작은 입자일수록 인체 내 깊숙이 침투하여 인체 호흡기에 미치는 영향이 지대한 것으로 분석되어 현재 실시중인 PM 중량 규제와 아울러 입자 개수 농도 규제가 추가될 것으로 예상된다. 그러나 이를 뒷받침할 만한 표준화된 극미세입자에 대한 평가관리 방법은 현재까지 국내에서는 전무한 실정이다.

배기가스를 최소한으로 배출하는 친 환경적인 자동차를 만드는 기술은 전 세계 자동차 회사 및 후처리 관련 업계가 가장 주목하고 있는 기술로서 서로 기술적인 우위를 선점하기 위하여 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 이러한 상황에서 기술적으로 유리한 위치를 확보하기 위해서는 엔진 자체의 저 공해화와 함께 PM, NOx를 효과적으로 처리할 수 있는 후처리 장치의 개발이 필수적이며 이 두 가지 기술이 서로 시너지효과를 낼 수 있도록 연계시키는 기술이 최종적으로 확보되어야 한다. 이와 같은 자동차 공해 저감과 관련해서는 2004년도에 2개의 대형사업이 시작되었다. 먼저 산자부 사업의 일환으로 미래형자동차배기가스제로화 기술 개발사업이 시작되었는데 엔진에서의 배기가스의 원천 저감 및 후처리 장치의 최적화, 엔진과 후처리 장치의 연계기술의 확보를 통하여 배기가스 제로화 달성을 위한 핵심 원천 기술 개발이 그 최종 목적이며 구체적으로는 1. 북미 PZEV 규제 1/10 수준의 배기가스 저감(가솔린 차량) 2. EURO5 1/2 수준의 배기가스 제로화 달성(디젤 차량)이다. 더 자세한 연구개발 내용은 다음과 같다.

1. PM/NOx 동시저감을 위한 입자상물질 제거 기술
2. 주행 자동차 배출 나노 PM 실시간 측정/분석 및 초소형 극미량 나노-PM 검출 측정 기법 연구
3. 나노 PM 고도화 변환/저감 및 실시간 계측/분석 연구
4. 자동차용 마이크로 열화학 반응기 및 이용기술 연구개발
5. 연소실 나노PM 원천저감 연구
6. 엔진/후처리 연계 최적화 연구

7. 합성가스 신 연소기술 연구
8. 엔진 연소/후처리계 해석 기술
9. 신개념 탈질촉매 및 시스템연구

또한 환경부의 에코-Star 사업의 일환으로 무·저공해 자동차 사업단이 발족되었으며 주요 세부 연구 내용은 다음과 같다.

1. 경유차 후처리 기술
- EURO-5 수준 후처리장치 적용 중소형 경유자동차 개발
- EURO-5 수준 후처리장치 적용 대형 경유자동차 개발
- 운행차용 PM 및 NOx 저감 후처리장치 개발
- EURO-5 수준 NOx/PM 동시저감(또는 4-way) 장치 개발
- PM 저감 경유자동차 후처리장치용 필터 개발

2. 청정연료 저공해 자동차 기술
- EURO-5 수준 대형 천연가스 제작차 개발
- EURO-4 수준 운행차용 대형 천연가스 차량기술 개발
- SULEV 수준 LPG 승용/승합 제작차 개발
- ULEV 수준 LPG 소형 트럭 제작차 개발

3. 공통기반기술
- EURO-5/SULEV 수준 이상의 저공해 엔진 원천기술 개발
- EURO-5/SULEV 수준 이상의 저공해 요소부품기술 개발
- 극미세입자 평가관리 기반구축

실내 공기질 및 환기기술

2004년도에는 새집 증후군, Sick building syndrome(SBS) 등과 같은 실내 공기질 문제가 사회적인 이슈화가 되어 포름알데히드(HCHO), 악취, VOC, 나노-PM 등에 대한 일반인들의 관심이 증가되었고 학계에서는 실내 공기질의 관심에 부합하여 정밀측정 및 환기 기술과 관련된 연구가 많이 진행되었다. 2004년도에 발족된 한국실내환경학회의 경우 기계공학, 환경공학, 보건학 전문가들이 함께 활동하는 좋은 예가 되겠다. 2004년도 실내 공기질과 관련된 연구를 보면
- 전국 신축공동주택의 실내공기질 실태
- PC방내 니코틴 농도와 호흡성분진의 입경별 상관성
- 에어콘용 복합식 에어필터의 집진효율 특성
- 오존촉매필터와 광촉매 필터의 오존제거특성
- 환기설비가 설치된 교실의 실내 공기질 평가
- 실내공기오염으로 인한 초과발암위해도 및 사망손실비용 추정 연구
- 유전체 배리어 방전형 2단 전기집진기의 인가전압 파형별 미세입자 집진특성
- 실내공기중의 포름알데히드 간이측정기에 대한 연구

등의 다양한 연구 활동이 있었다.

환경처리기술 및 오염제어기술

여러 환경문제 중 폐기물 처리 등 우리생활 주변의 문제와 더불어, 대기오염이 원인이 되는 오존층 파괴, 지구 온난화, 산성비 등의 여러 부분에 영향을 미친다. 현재 우리나라는 경제의 급성장으로 대기오염 양상도 과거의 아황산가스와 일산화탄소 오염에서 광화학스모그, 오존, 미세먼지, 유해 대기오염물질 발생 등 형태가 빠르게 변하고 있으며, 중국 등 인접국가의 급격한 산업화 추세에 따라, 산성비 원인물질 등 국경 간 오염물질의 이동이 증가되고 기후변화, 오존층 파괴 등, 전 세계적으로 대기오염에 대한 위기의식이 고조되고 있다. 국내에서는 대기오염의 주원인으로 주목받고 있는 입자상 물질과 기체상 오염 물질을 저감시키기 위한 연구가 활발해지고 있다. 또한 공기 중 미세 입자에 대한 분석 기술에 대한 연구가 있었다.

2004년 대기환경/폐기물처리 부문과 관련된 연구로는
- 원심력이 적용된 여과포집진장치와 기존 집진장치의 성능 비교
- 반도체 악취 가스 센서 개발

- 황사 이동 경로에 따른 대기 부유 곰팡이 포자의 변화
- 스모그 챔버에서 수분 반응에 의한 대기 에어로졸의 생성 및 성장
- 폐기물 소각시설의 수은 배출 특성
- 천연가스 사용 난방 및 산업보일러의 NOx와 CO 배출계수 산정 연구
- DBD 반응기에서 플라즈마 방전형태에 따른 PFCs 가스의 분해 특성
- 화력발전소의 대기오염물질 배출계수 산정 연구
- PM2.5의 배출원 구성물질 성분비 개발에 관한 연구
- 다공성 필터에서의 여과 분진층 비저항 연구
- 소형 전기로를 이용한 플라스틱 소각시 발생하는 VOCs 농도 분석 등이 있다. [황정호, 연세대학교]

열 시스템 제어 및 계측

열시스템 제어 및 계측 분야의 연구로는, 유체탄성 불안정성(1), 서모사이폰(2), 열전소자시스템 제어(1), 빙축열시스템(1), CARS 이용 온도 계측(2), 입자상 계측(4)과 관련된 연구가 수행되었다.

열유동 시스템 제어 부분에서는, 열유동 시스템의 동특성 모델과 제어 기법의 적용보다는, 원리적인 시스템 구현과 가능성의 입증과 관련한 연구가 주를 이루었다. 동적 안전성 분석 연구 이후의, 적극적 제어 부분에 대한 연구는 다소 부족했다. 유체탄성 불안정성(fluidelastic instability)과 관련된 연구로, '유체-구조 상호작용을 적용한 튜브다발의 유체탄성 불안정성 과도적 전산해석; 이민형, 김용찬'의 연구에서, 관류형 열교환기의 건전성을 확보하기 위해, 유체구조 상호 작용의 동특성을 모델하고, 이를 해석하기 위한 전산 해석이 수행되었다. 직접적 연계 수치기법(multi-physics simulation)을 사용하여, 유체탄성 불안정성 평가를 수행하였다. 이를 통해 안정화 도표를 도출하고 실험값으로 검증하였다. 유체탄성 불안전성과 같이 고주파 피로를 수반하여 결국 심각한 튜브파손을 초래하게 되는 현상의 해석을 위한 기초를 제시하여, 향후 다양한 봉다발과 유체 현상에 대한 확장에 대한 연구의 필요성을 제시하였다.

서모사이폰 관련 연구로는, 전자장비 냉각시스템 분야에서 강제대류와 히트파이프의 단점을 제거하고 장점을 보완하기 위한 방법으로, 2상 순환형 서모사이폰 시스템을 개발하고 이를 실험적으로 증명한 연구가 수행되었다('전자장비 냉각을 위한 2상 순환형 서모사이폰 시스템의 성능에 대한 실험적 연구; 강인석, 최동규, 김택영'). 주요 응용 분야는, 무선통신 옥외형 무인기지국의 증폭기를 냉각하기 위한 시스템으로 R141b를 냉매로 사용하였다. 실험 장치를 통해 냉매 충전량, 냉각공기의 유량 및 온도, 그리고 열부하의 변화에 대한 시스템의 작동 특성에 대하여 분석하고, 이것이 실제 적용 가능함을 보였다. 또한, 컴퓨터 CPU의 냉각 분야에서 '열원 냉각용 루프 서모사이폰의 작동 특성; 최두성, 송태호' 연구에서, 장치를 직접 제작하고 열저항을 측정하여 전열 성능을 분석하고, 고속카메라로 유동을 가시화하여 순환여부 및 유동 불안정 발생여부 등을 검사하였다. 이를 통해, 히터 가열량이 증가할수록 열저항은 낮아져서 전열성능은 높아지나, 충진율과 작동유체별로 어떤 한계점을 넘어서면 드라이아웃이 발생하며, 작동유체에 따라 유동 불안정성에 대한 고려를 실용화 연구 단계에서 추후 연구 과제로 제시하였다.

열전소자를 이용한 시스템으로, 자동차공학 분야에서 '열전소자를 이용한 카시트의 냉 난방 제어; 최형식, 김유신, 전창훈, 윤상국' 연구가 수행되었다. 냉난방 특성을 갖는 열전소자의 성능시험을 통하여, 냉방 효과를 극대화하기 위해서는, 고온부의 온도를 공조 시스템을 이용하여 제어하여야 함을 보였다. 카시트 시스템의 고온부 온도 제어를 위하여, 공조 시스템을 포함한 카시트 시스템을 제작하였고, 불확실한 파라미터를 포함하는 카시트의 냉난방 제어를 위해 시스템의 모델링을 수행하였다. 실험을 통하여 여러 주변 환경의 불확실성의 존재 하에서도, 카시트 시스템의 원하는 냉난방 온도제어가 성공적으로 이루어짐을 입증하였다.

빙축열시스템에 대해서는, 에너지 저장 및 변환 분야에서 '자성 유체를 이용한 다이나믹형 빙축열

시스템에 관한 실험적 연구; 황승식'가 발표되었다. 다이나믹형 빙축열 시스템의 하나인 과냉각식 연속 제빙 방식은, 다른 제빙 방식과 비교했을 때 장치가 복잡하지 않으며 비용 절감이라는 경제적인 측면에서도 우수하다는 장점을 고려하여, 이를 활용함에 있어 관내 결빙으로 인한 관내 폐색을 방지하고 제어하기 위한 연구이다. 이 연구에서는 이러한 관내 제빙 방식인 유동 냉각수의 관내 연속 제빙 방식과 정지 냉각수의 관내 연속 제빙 방식에서, 적절한 과냉도와 자장의 작용시간 제어에 대한 기초적 자료를 찾고, 이를 통해 두 가지 방식의 제빙효율을 향상시키는 방법을 제시하였다. 유동냉각수 관내 연속제빙 방식은, 자성유체에 수직 편심회전자장을 가하여 제빙하는 방법이 과냉각 해제까지의 시간을 크게 단축시키므로, 제빙효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 그러나 제빙효율 측면에서 과냉각 해제에 있어서는, 정지 냉각수 관내 연속제빙 방식이 보다 우수함을 확인하였다.

온도 계측과 관련하여서는, CARS를 이용한 온도 측정 연구가 발표되었다. 간섭성 반-스토크스 라만 분광법(CARS : Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy)은, 프랑스의 Taran 등이 화염 내부의 수소 농도 측정에 응용하고 난 후, 응용 범위가 급속히 확대되어, 이제는 고온 기체의 온도 및 밀도를 측정하는 기본 기술의 하나로 확립되었다. CARS는 매질의 라만 이동의 파장 차이를 가진 두 가지 레이저 광을 렌즈로 집사시켰을 때, 두 레이저 광이 만나는 렌즈의 초점에서 신호가 발행되므로, 약 1mm 이내의 뛰어난 공간 분해능으로 연소기체의 공간적인 온도 분포를 측정할 수 있으며, 온도 측정의 정확도는 3,000°C 정도의 고온 기체에서 5% 이내로 매우 높은 편이다. 'CARS를 이용한 희박 예혼합 가스터빈 연소기내 온도측정 I, II; 이종호, 전충환, 박철웅, 한재원, 장영준' 연구는, 메탄을 연료로 하는 희박 예혼합 가스터빈 모형 연소기의 연소 불안정 조건하에서 온도를 측정하였다. 즉, 특정 고유주파수를 가지는 압력 사이클을 12등분하여, 각 위상에서의 온도를 측정하였다. 그들은 연료-공기 혼합도가 100% 조건에서 연소기 내 축 방향과 반경 방향 온도 분포를 측정하였고, 또한 화염 내 특정 위치에서 연료-공기의 혼합 정도가 위상별 온도에 미치는 영향을 연구하였다. 이러한 연구 결과는 연소불안정 현상을 좀더 명확히 이해하기 위한 기본 자료를 제공하고, NOx 발생 및 당량비 변동에 미치는 영향을 파악하는 데 활용될 수 있다.

미세 입자상 물질이 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 증가하면서, 공기 중 부유하는 미세 입자상 물질에 대한 측정 기법에 대한 연구도 활발해지고 있다. 최근 개발된 전기적 임팩터는, 다단 임팩터의 운전 번거로움과 긴 샘플링 소요 시간의 단점을 극복할 수 있어, 이와 관련된 연속적인 연구 결과가 발표되었다. '서브마이크론 입자 측정용 저압 임팩터의 설계 및 성능평가; 지준호, 조명훈, 배귀남, 황정호'에서 전기적 임팩터의 본체로 사용될 수 있고, 서브마이크론 입자상 물질의 크기 분포 측정에 적합한 저압에서 작동하는 2단 임팩터를 설계, 제작하였고, 전기적 입자계수법을 이용하여, 각 임팩터 단의 성능을 평가하였다. '실시간 미세입자 측정을 위한 다이오드형 코로나 하전기의 설계 및 성능평가; 조명훈, 지준호, 박동호, 배귀남, 황정호'에서는, 서브마이크론 입자를 실시간으로 측정하기 위해 입자 크기에 따라 일정한 전하량을 부가할 수 있는 입자 하전 장치를 설계, 제작하고 그 성능을 평가하였다. 이러한 하전 장치를 전기적 임팩터 상류에 설치하면, 유입되는 다양한 하전 분포의 입자를 크기에 따라 일정한 전하량으로 대전시켜, 임팩터의 성능을 전기적인 방법으로 평가할 수 있게 된다. 위 연구를 기초로 '미세입자 측정용 간이형 3단 전기적 저압 임팩터의 설계 및 성능 평가; 조명훈, 지준호, 박동호, 배귀남, 황정호'에서 3단으로 구성된 저압 임팩터를 설계, 제작하고, 전기적인 방법으로 임팩터 개별단의 성능을 평가하였다. 이들은 이전 연구에서 제작, 성능 평가한 입자 하전 장치를 사용하여, 임팩터 안으로 유입되는 입자상 물질들을 코로나 방전을 이용, 입경에 따라 일정한 하전량을 갖도록 하전시켰다. 매연 입자상 측정과 관련된 연구로 'LIIM(Laser Induced Ion Mobility) 계측을 이용한 매연 나노입자 측정; 이의주'에서, 초기 매연 입자를 판별하기 위한 레이저

를 이용한 직접적인 계측 방법 중의 하나인 LIIM (Laser Induced Ion Mobility) 기법에 두 가지 새로운 방법을 도입하였다. 즉, 이온 신호를 검출하기 위해서 기존의 단일 전극봉을 범용적인 적용이 가능하도록 쌍전극봉으로 바꾸었고, 매연 입자의 이온화를 위해 532nm 파장의 Nd-YAG를 사용하여 C2 이온의 이동성을 부수적으로 얻을 수 있었다. 이러한 개선된 LIIM 기법으로 초기 매연 입자 형성에 관한 연구에 유익하게 활용될 수 있음을 제시하였다. [이재영, 한동대학교 ; 강보선, 전남대학교]

공정열공학

2004년도 대한기계학회논문집, 춘계 및 추계 학술대회, KSME International에 게재된 연구보고서 중 공정열공학 분야로 분류 가능한 논문의 수는 총 19편으로 전년에 비해 증가하였다. 당해 분야의 논문들을 관련 물리현상 및 응용분야의 측면으로 살펴보면, 주조공정에 관한 논문이 3편, 기포의 생성, 제어 및 소멸에 관한 논문이 5편, 화학증착공정이 2편, 코그스 공정 및 제선공정이 2편, 레이저 용접공정이 2편, 에칭공정에 관한 논문이 2편, 그리고 급속열공정, 분무동결건조공정, 및 용융아연도금공정에 관한 논문이 각각 1편씩으로 매우 다양한 주제의 분포를 가진다. 주조공정과 관련하여서는 주조공정에서의 유동 및 열전달과 상변화에 관한 해석적 연구가 수행되었다. EMBR(Electromagnetic Brake)을 이용한 연속주조공정에 대한 해석, 충전과정에서 생기는 자유표면유동에 대한 해석을 위해 원통좌표를 이용한 새로운 주조공정의 수치해석모델 개발 등이 포함되어 있다. 작년에 이어 올해도 주류를 이룬 미세발포공정에 관련된 논문을 살펴보면, 미세 기포의 생성과 크기 제어 및 측정기술에 대한 연구가 이루어졌다. Level Set 방법을 이용하여 미세관에서의 기포 성장을 수치적으로 해석한 연구, 기포의 크기와 기포내의 압력을 동시에 고려하여 점탄성 폴리머 용액에서의 초미세 폼의 생성에 관해 해석한 연구, 초미세 발포 플라스틱 성형 시 다공성 $CaCO_3$를 발포핵제로서 사용했을 때 초미세 발포에 미치는 영향을 실험을 통해 검증한 연구 등 기포의 생성에 관련된 연구와 X-ray 미세 영상기법을 이용하여 미세기포의 크기 및 속도를 동시에 측정하는 기술개발에 관한 논문, 초미세 발포 플라스틱의 성형 후 수축률의 변화를 조사한 논문이 포함되어 있다. 화학증착공정과 관련해서는 MOCVD(Metalorganic Chemical Vapor Deposition) 공정이 다루어졌는데, III-V족 반도체 재료인 InP 및 GaAs 박막의 성장률을 수치적으로 예측하고 실험 결과와 비교한 연구와 고품질 질화물 반도체 박막 성장을 위한 반응로 구조 및 열적 조건을 상용 소프트웨어인 FLUENT를 이용하여 조사한 연구가 수행되었다. 제선공정(iron making process)에 관련된 연구는 기체 및 고체상태를 균질 연속체로 가정하여 코크스 공정에서의 열유동 현상을 모델링하고 계산 결과를 실험 결과와 비교한 연구 및 제선 설비의 열공정을 모델링하고 계산 결과를 실험 결과와 비교한 연구가 보고되었다. 레이저 용접공정에 관련하여, 표면장력과 후압을 고려하여 고에너지 밀도 레이저 용접공정에서 키홀의 형상에 대한 해석과 자유표면을 고려한 저에너지 밀도 레이저 용접공정 해석이 수치적으로 이루어졌다. 이 밖에도 LCD 제작용 급속 열처리 시스템내의 열전달 특성 해석 및 박막의 광학특성의 해석으로부터 poly-Si 박막의 품질을 평가하는 방법 개발에 관한 연구, 강판의 부식을 막기 위한 연속식 용융아연도금 공정에서 끝단에 발생하는 과도금현상의 원인을 해석하기 위해 강판 단부에서 발생하는 와동의 해석에 관한 연구, 미세 가공 시스템에서 분무특성이 에칭특성에 미치는 영향에 관한 연구 및 통계적 기법을 이용한 에칭공정의 시뮬레이션, 호흡식 분말의약품 제조를 위한 분무동결건조기의 해석 및 설계에 관한 연구 등 다양한 주제의 논문이 발표되었다. [이우일, 서울대학교]

열역학 및 열물성

2004년 열역학 및 열물성 분야의 주요 연구 주제를 살펴보면 기존의 연구 주제에서 미래를 대비하는 첨단 연구 분야로 많이 변화되어감을 알 수 있다. 열

역학 분야는 모든 열시스템 해석의 기초가 되는 분야로서 열역학 이론에 대한 기초연구와 함께 최근의 에너지 위기에 대한 대책을 반영하듯 지열, 수열원 등 다양한 열원을 이용하는 열시스템에 대한 해석과 연료전지 또는 열병합 발전 등 에너지 효율을 극대화시키는 새로운 시스템에 대한 연구가 많이 수행되었다. 열물성 분야에서는 냉매의 평형 물성보다는 열전달 및 압력강하 특성에 대한 연구가 주로 이루어졌으며, 분자 동역학(molecular dynamics) 응용 연구와 함께 나노 유체의 열물성에 대한 연구가 수행되었다.

열역학 분야의 기초 연구로서 가역 세계가 아닌 실제 세계에 대한 열역학적 이해를 높이기 위해 가용에너지를 이용하여 열역학 원리를 새로운 관점에서 기술하는 방법이 제안되었으며, 몬테 카를로 직접 모사법(Direct Simulation Monte Carlo Method)을 이용하여 냉각 및 가열 과정중의 분자간 충돌과정에 따른 병진-회전-진동에너지의 이완율을 모델링하기도 하였다.

열역학 분야의 응용분야로서 새로운 열시스템에 대한 연구가 많이 수행되었다. 먼저 3세대 연료전지로 불리는 고체산화물 연료전지(SOFC)의 동적 성능 해석을 위한 열역학 시뮬레이션 모델 제시와 함께 전기와 열을 동시에 생산하는 복합 시스템인 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템에서 셀 입구 예열 방법에 따른 성능 해석이 수행되었다. 또한, 가스터빈 복합 열병합 발전의 최적 운전을 통해 연료소비를 최소로 하기 위해 가스터빈의 발전량과 폐열회수 보일러(HRSG)의 발열량의 최적 분배 조건에 대한 연구가 수행되었다.

대체 에너지를 활용하여 에너지 소비를 저감시키는 기술에 대한 관심도 높아졌다. 태양열, 지열, 수열원 등을 활용하여 기존 열펌프 시스템의 효율을 향상시키는 방안에 대한 연구가 수행되었다. 이에 따라, 4계절에 걸쳐 지열원 열펌프의 냉난방 성능을 평가하는 실험이 수행되기도 하였으며, 지열원 열펌프 개발을 위해 R134a를 작동 유체로 하는 지열 열펌프용 터보압축기가 개발되기도 하였다. 또한, 계절 변화에도 온도변화가 심하지 않은 하천수를 열원으로 이용하는 2단 압축 열펌프시스템의 성능 평가를 위한 실험이 수행되었다. 태양열 이용을 위해 평판형 집열기에 대한 연구가 수행되어 각 일사성분의 영향을 밝히기도 하였다. 빙축열 시스템의 효율 향상을 위하여 첨가제를 사용하여 저온 축열물질의 과냉도를 향상시켰으며, 자성유체를 이용하여 다이나믹형 빙축열 시스템의 효율을 향상시키기도 하였다.

그 외의 열시스템에 대한 연구로서 무선통신 기지국 등에 사용되는 전자장비 냉각을 위한 2상 순환형 서모사이폰(thermosyphon) 시스템의 성능에 대한 실험이 이루어졌으며, 열모세관 현상에 의한 액체 슬러그 이동 현상에 대해 전단응력을 고려하여 일반적인 조건에서 모델을 제시하기도 하였다.

열물성 분야에서는 냉매의 기액상평형에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았고 대체 냉매에 대하여 열전달 및 압력강하 특성에 관한 연구가 활발하게 수행되었다. 수평관 내 초임계 영역의 CO_2 냉각 열전달 특성에 대한 실험이 수행되었으며, 이를 통해 초임계 영역의 물성치 변화를 고려한 해석방법이 제시되었다. 또한, HFC 계열의 냉매인 R-134a, R-407C, R-410A의 오블롱 셀 플레이트(Oblong Shell & Plate) 열교환기에서의 응축 열전달에 관한 실험이 수행되었다. 물질의 물성 측정 및 활용과 관련된 분야로서 냉각 평판과 원통형 냉각표면에서 착상이 발생하고 성장하는 현상에 대해 다양한 착상 파라미터와 열전달 계수를 포함하는 서리의 물성에 대한 상관식을 수립하여 착상에 대한 모델을 제시하였다.

분자동역학을 이용한 분야로서는 비평형 분자동역학 시뮬레이션을 이용하여 액상과 기상계면에서의 열전도율을 계산한 연구가 있었고, 나노스케일 채널 내에서의 유체유동 및 열적 특성을 분자동역학 시뮬레이션으로 분석하기도 하였다. 또한 향후 큰 관심을 불러일으킬 것으로 보이는 나노유체에 대한 연구도 수행되었다. 고체 나노입자를 포함하여 유체 자체의 열전도도를 획기적으로 상승시킨 나노유체는 그 열전도도가 온도와 입자 크기에 크게 영향을 받으므로 기존의 열전도 이론으로는 설명하기 힘들다. 이러한 나노유체의 열전도도에 대한 이론적 모델을 제시하

여 물리적 현상을 설명하려는 연구가 수행되었다. [김민수, 서울대학교]

열기기 및 열교환기

2004년도 열기기 및 열교환기에 관한 연구동향을 살펴보면, 대체냉매를 적용한 열교환기의 성능연구, 미세채널에서의 유동연구, 전자장비냉각을 위한 열사이폰에 관한 연구, 열교환기의 착상에 관한 연구들이 주를 이루었다. 이와 관련하여 대한기계학회논문집에 발표된 논문은 총 18편으로, 국문 논문집에 15편, 영문 논문집에 3편이 수록되었다.

환경문제의 중요성이 대두되면서 환경친화적인 작동유체의 사용이 불가피한 현실에 발맞추어 대체냉매를 적용한 열교환기의 성능연구가 많이 이루어지고 있다. 수평관 내 초임계 영역의 CO_2 냉각 열전달 특성연구를 통해 가스쿨링 과정에서의 열전달 및 압력강하 특성을 고찰하여 초임계에서의 기존 상관식이 실험값과 상당한 차이를 보임을 확인하였다. 또한 R-134a, R-407C, 그리고 R-410A를 사용하는 오일이 없는 냉매루프에서 셀-플레이트 열교환기의 응축열전달 실험을 수행하였으며 응축열전달과 마찰압력강하에 대한 실험적인 상관식을 제안하였다.

전자장비기술의 발달과 더불어 고발열부하의 해결을 위해 열교환기의 고효율화 및 소형화가 불가피하며 이를 위한 미세 및 마이크로 채널을 이용한 열교환기 연구가 진행되었다. 먼저, 마이크로 채널에서의 기포성장에 관한 수치적 연구를 통해 채널 크기의 효과, 접촉각, 벽면 과열도, 거품성장의 준비기간 그리고 마이크로 채널 내에서의 열전달 특성을 고찰하였다. 또한 미세관에서의 흐름응축열전달 특성 연구를 통해 열유속, 질량유속, 건도, 수력직경, 흐름응축의 유로형상에 대한 영향이 고찰되었고, 실험적인 국부 응축열전달계수를 얻었다. 이 외에도 Y형 마이크로 채널에서의 물/기름 이상 유동연구, Micro-PIV를 이용한 마이크로 튜브/채널 내에서의 혈장유동 연구 등이 진행되었다.

열사이폰은 잠열을 이용하기 때문에 열 저항이 작을 뿐만 아니라 무동력으로 작동하여 에너지 효율이 높은 열전달 기기이다. 이에 전자장비냉각의 중요한 대안으로 열사이폰에 관한 연구가 수행되었다. 전자장비 냉각을 위한 이상 순환형 열사이폰 시스템의 성능에 대한 실험적 연구와 열원 냉각용 순환형 열사이폰의 작동 특성 연구를 통해 전자장비 냉각을 위한 산업화 기술을 마련하였다.

저온시스템에서의 열교환기에 착상이 이루어지면, 공기와 열교환기 사이의 열저항이 증가하고, 풍량이 점점 감소하게 되어, 열교환량은 급감하게 된다. 이러한 착상의 영향으로 인하여 제상의 필요성이 나타나게 되고, 정확한 제상시간을 알기 위해서는, 착상에 대한 물성치의 정확한 예측이 요구된다. 이에 열교환기 형상의 기본이라고 할 수 있는 평판과 원통에 대한 착상 현상의 예측 모델링의 연구가 수행되었으며, 다양한 착상 변수들과 국부 열전달계수를 포함한 서리 물성치에 관한 상관식을 구성하여, 실험 데이터와 예측 모델링과 비교하면, 낮은 오차범위 내에서 열교환기에서의 착상으로 인한 물성치의 변화에 대한 예측이 가능하다고 보고하였다.

이외에도 적층형 Multi-Chip Module (MCM) 내부에 삽입한 초소형 열교환기 내에서의 대류 열전달 현상에 대한 연구, 가늘고 긴 셸과 평판 열교환기에서 R-134a의 증발 열전달과 압력강하 특성에 대한 연구, 내부 마이크로 핀을 장착한 환형 내부에서의 자연대류의 수치 시뮬레이션, 하천수를 이용하는 열교환시스템 내 파울링 형성에 관한 연구, 반응표면법을 이용한 평행류 열교환기의 형상 최적화, 열교환기 내부 유로의 꺾임각 변화에 따른 국소 열/물질전달 특성 고찰, 냉매 R134a, R123, R134a/R123의 수평관에서의 강제비등대류 열전달에 대한 실험적 연구 등 다양한 연구가 진행되었다. [김용찬 ,고려대학교]

냉동 및 저온공학

최근 냉동 및 저온공학 분야의 연구들은 크게 세 가지의 목적을 주제로 수행되고 있다. 첫 번째는 생활 수준의 향상에 의해 그 요구가 증가하고 있는 쾌

적한 생활환경의 추구이고, 두 번째는 급속히 발달되고 있는 반도체 소자 등의 전자 장비에서 발생하는 열을 보다 효율적으로 방출시키기 위한 냉각기술의 개발이다. 마지막으로는, 이상의 두 가지 목적을 충분히 만족함과 동시에 지구 환경의 파괴 등의 문제를 해결하기 위한 환경 친화형 장치들의 개발을 들 수 있다.

쾌적한 생활환경의 추구를 위한 연구들은 주로 냉동 및 저온공학 시스템의 효율을 향상시키기 위한 기술들을 개발하는 데에 초점을 두고 있다. 자성유체를 이용한 다이나믹형 빙축열 시스템에 관한 실험적 연구 및 열전소자를 이용한 자동차 시트의 냉난방 제어 기술 등에 대한 연구를 통해 주거환경 개선과 현대사회에서 중요한 부분을 차지하고 있는 운송수단 환경 개선에 크게 기여를 하였다. 또한, 최근 급격하게 발달하고 있는 나노기술을 응용하여, 나노유체를 새로운 작동유체로 적용하기 위한 연구들이 주목을 받고 있다. 나노유체의 경우, 일반적으로 사용되어지는 단일성분의 작동유체와 비교하여, 열전도도가 대략 80% 정도 높다는 것이 연구를 통해 밝혀졌을 뿐만 아니라, 열전달이 60% 정도 증가한다는 것이 실험적으로 증명되었다. 한편 이상 무인 무선 중계기의 냉각을 위한 순환형 열사이폰 시스템의 작동 특성 및 성능에 관한 연구를 통해 현재 IT산업에 매우 핵심적인 역할을 하고 있는 무인 무선 중계기의 안정적인 보급에 크게 기여했다.

환경친화형 시스템의 경우 그 효율이 떨어지는 단점을 갖는데, 이를 보완하기 위하여 초임계 영역의 CO_2 냉각 열전달 특성에 관한 연구를 수행, 새로운 냉매로 적용하기 위한 시도가 이루어지고 있으며, 흡수식 시스템의 작동유체로 5성분계 수용액($LiBr + LiI + LiNO_3 + LiCl + H_2O$)을 이용하기 위한 열 및 물질전달 특성에 관한 연구가 수행되고 있는 실정이다. 또한, 하천수를 열원으로 사용하기 위한 연구들이 특히 활발히 진행되고 있다. 하천수를 열원으로 사용할 경우, 환경오염이 없는 청정에너지를 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 저급에너지를 사용하므로 시스템에 사용되어지는 각 구성요소들의 성능향상이 필수불가결한 요소라 하겠다. 이에 하천수 열원을 이용한 시스템의 증발기와 응축기 설계 및 최적화에 관한 연구를 통해 이러한 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 기반을 만들었다. 또한 하천수 사용시 발생할 수 있는 파울링 문제를 해결하기 위해, 이를 정량적으로 분석한 연구결과가 발표되었다.

한편, 하절기에 발생하는 전력 수요 피크의 완화와 가스 수급 불균형을 해소하고, 에너지원의 효율적 활용을 위한 연구들이 활발히 수행되고 있는데, 특히 기존의 전기구동 냉동 시스템의 압축기를 가스구동의 엔진으로 대체하는 시스템인 GHP 기술에 관한 연구가 국내외에서 진행되고 있다. GHP시스템은 소형과 중대형 냉난방시스템의 중간 용량의 시스템에 적합하여 연립주택이 많은 한국 실정에 매우 적합한 시스템이다. 이는 개별 냉난방에서 발생할 수 있는 중복되어지는 비용적 손실, 예컨대 설치비용, 소매가 전기비용 적용에 따른 운전비용 등을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 지역냉난방 시스템의 단점 즉, 초기투자비용 문제 등도 해결할 수 있다. 또한 전력 발전 시스템과 냉난방 시스템을 병합하여 국소 지역에서의 에너지 시스템을 일원화하기 위한 방안으로 주목받고 있는 cogeneration system은 현재 일본 신주꾸, 시바우라 지역 등에서 community energy system(CES)에 응용되어 사용되고 있다. CES는 한국의 구 · 군단위의 소도시 규모의 전력 및 냉난방 시스템의 일원화를 가능케 할 뿐만 아니라, 몇 개의 건물들은 하나의 Unit으로 묶어 개별적인 독립화와 전기 및 냉난방 시스템의 대형화를 통해 얻을 수 있는 이점을 동시에 얻을 수 있다. 일본의 도쿄가스 본사 건물과 그 주변 건물을 Unit화하여 자체적으로 전력수요 및 냉난방 수요를 충족시키고 것이 그 좋은 예라 하겠다.

저온공학 분야에서 연구되는 최근의 특징은, 첫째, 고온 초전도 시스템의 응용과 관련하여 20~30K용과, 60~70K용의 고용량 극저온 냉동기 개발이 있고, 둘째, 우주 개발과 관련된 극저온 유체의 고밀도화 연구, 셋째, 다양한 Joule-Thomson 냉동기용 혼합 냉매에 대한 연구가 있다. 고온 초전도 시스템의 진정한 상용화는 극저온 냉각기 또는 저온 유체 관리 시스템과 밀접한 관계가

있고, 또한 저온 냉각 장치가 전체 초전도 응용장치 시스템의 신뢰성을 좌우할 수도 있기 때문에, 저온 냉각 장치는 전체 초전도 응용 장치 시스템에서 매우 중요한 부분이다. 국내에서 초전도 기술의 응용과 관련해서는 KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) 및 21세기 프론티어 사업을 통해서 초전도의 원천 기술인 극저온 냉동 기술에 대한 관심이 고조되고, 이와 관련된 연구 내용이 계속 보고되고 있다. 한국 항공우주연구원에서는 KSLV(Korea Space Launch Vehicle)-1 액체연료 추진 로켓 개발과 관련하여, 고압 극저온 터보 펌프의 캐비테이션을 억제하고 연료의 무게 및 부피를 감소시키기 위한 액체 산소의 고밀도화에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 인공위성 개발사업과 관련해서는 극저온의 우주 환경을 모사하는 대형 실험장치가 현재 구축되고 있다. 한편, 한전연구원에서는 극저온 증류 방식으로 삼중수소 제거장치에 대한 연구를 하였으며, 이는 월성원자력 발전소에 가장 먼저 적용이 될 계획이다. 한국원자력연구소에서는 국산 연구용 원자로인 하나로 장치에 CNS(Cold Neutron Source) 발생 기구를 설치하기 위하여, 액체 수소를 이용하는 극저온 열사이펀에 대한 연구가 이루어지고 있다. Joule-Thomson 냉동기에 사용되는 혼합 냉매 개발은, 과거 LNG(Liquefied Natural Gas) 생산 설비에서 시발된 후, 좀더 효율적인 극저온 냉동기를 단순한 방법으로 제작하기 위하여, 꾸준한 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 수입에만 의존하고 있던 초저온 냉동기(생물학 분야 및 의료 연구 물질 저장용, 참치 냉장고, 등)를 국산화하고 있으며, 극저온 수술기구(cryosurgery or cryoablation) 개발 분야에서는 과거의 액체 질소 주입 방식에서 벗어나, 고압 아르곤 가스를 사용하는 냉각 기구, 탄화수소 계통의 혼합 냉매를 사용하는 Joule-Thomson 냉동기에 대한 연구도 수행되고 있다. [강용태, 경희대학교 ; 정상권, KAIST]

마이크로 열공학

정보기술(IT), 바이오기술(BT)과 더불어 나노기술(NT)이 학문적 산업적으로 중요한 분야로 대두되면서 마이크로 열공학에 대한 관심은 지속적으로 증가하고 있다. 마이크로 열공학은 (1) 연속체와 국소 열역학적 평형이 성립하지는 않는 미세 시스템에서 에너지와 물질의 전달현상을 규명하기 위한 미세열전달(microscale heat transfer) 분야, (2) MEMS, NEMS 요소로서 센서/구동기/냉각장치/동력발생장치 등 마이크로 열시스템에 관한 시스템/요소기술 분야, (3) 반도체 장비, 미세가공기술 등 마이크로/나노스케일 재료가공과 관련된 마이크로 열공정기술(micro thermal processing technology) 분야, (4) 마이크로 생명공학 및 환경공학 관련 분야 등으로 크게 분류할 수 있다.

마이크로 열공학은 물리, 재료, 화학, 전자공학 등과 밀접한 관련을 갖는 학제적 연구 분야로서 전자, 광자(photon), 포논(phonon) 등 에너지 운반자의 거동에 대한 학문인 미세열전달에 기반을 두고 있다. 미세열전달 연구는 타 분야의 연구와 마찬가지로 실험적 연구와 이론적 연구로 크게 나눌 수 있으며, 물리현상에 대한 학술적 연구와 응용연구로도 분류할 수도 있다. 물리현상에 대한 학술연구로는 (1) Fourier 법칙 등 연속체 기반 이론의 적용 한계 정립, (2) 에너지 운반자(energy carrier)의 특성 및 운반자 간의 에너지 교환기구(exchange mechanism) 규명, (3) 경계영역(interfacial region)에서의 전달현상 등의 주제가 있다. 한편, 응용연구로는 (1) 미세 시스템에서 온도, 열물성, 열전물성(thermoelectric property), 유속 등의 측정, (2) 마이크로 스케일 냉각/열교환 (3) 극초단 레이저와 재료 사이의 비평형 반응, (4) 나노입자 및 나노튜브를 함유한 나노유체에 의한 열전달 촉진, (5) 반도체/LCD 등 미세 결정구조 내 열공정의 최적화 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2004년도 마이크로 열공학 분야의 국내 연구동향을 대한기계학회 논문집과 Journal of Mechanical Science and Technology에 수

록된 논문을 통해 분석해보면 마이크로 열공학 전분야에 걸쳐 대체로 고르게 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 약 20편의 논문이 발표되었으며, 발표된 논문은 분자동역학 및 Monte Carlo 기법을 이용한 미세열전달 해석, 마이크로채널 내 열삼투현상 등 열유동특성 해석, 레이저 박막증착 등 마이크로 열공정 기술, 초소형 열교환기, 나노입자로 인한 오염제어, 나노유체를 이용한 열전달 증진, 미세 기포 응용 공정, 마이크로 반응기(micro reactor), thermo-pneumatic 마이크로 구동기 개발 등의 분야로 분류할 수 있다. 먼저, 밀리미터의 이하의 수력직경을 가진 단일관 내에서의 응축열전달계수와 Nusselt 수를 측정하는 연구가 수행되었고, 채널 내의 미소 블록에 의해서 생긴 교차회전운동을 이용하거나 다른 방식으로 chaos현상을 유도하여 물질전달을 촉진하고 혼합길이를 효과적으로 줄이는 연구가 이루어졌다. 마이크로 채널 내 대류현상을 규명하기 위해서는 유동 특성에 관한 microfluidics 연구가 선행되어야 한다. 이와 관련하여 micro-PIV를 이용하여 마이크로 튜브/채널 내에서의 유동을 해석한 다양한 연구가 수행되었다. 마이크로 스케일에서 혈장 유동 특성을 분석한 연구와 Y형 마이크로 채널에서 물/기름 2상 유동현상을 관찰하고, 다양한 미세분지관(micro-branch)에서의 유동패턴 및 특성을 해석하는 연구를 그 예로 들 수 있다. 또 x-ray 미세 영상 기법을 이용하여 미세관 내의 미세기포의 크기 및 속도를 동시에 측정하는 연구가 실험적, 수치적으로 수행되었다. 한편, 이론적 접근법에 기초하여 미세관 내 액체에서 열삼투(thermo-osmosis)현상에 대한 분자동역학(molecular dynamics) 연구가 발표되었으며, 상변화 시 기체-액체 계면에서의 불연속층에 대한 분자동역학을 연구결과도 발표되었다. 이 밖에도 DSMC(Direct Simulation Monte Carlo) 기법을 이용하여 이원자 기체의 분자충돌 현상을 이론적으로 해석한 연구도 있었다. 한편, 미세노즐(micro nozzle)을 통한 액적 형성을 수치모사하여 액적의 생성 기구와 노즐의 형태가 액정 생성에 미치는 영향을 분석하기도 하였는데 이러한 액체 미립화 공정도 마이크로 열공학과 관련성을 지니고 있다.

나노유체와 관련된 분야에서는 나노유체의 열전도율 증진에 대한 새로운 모델이 제시되었고 기본 유체, 부피비, 입자 크기, 온도에 따른 나노 유체의 열전도율 특성을 파악하고자 하는 연구가 수행되었다. 또한 광열복사법(photothermal radiometry)으로 나노유체의 열확산계수를 측정하기 위한 이론적인 연구와 더불어 비정상열선법을 개량하여 소량 나노유체 시료의 열전도율을 효과적으로 측정하기 위한 새로운 기법도 소개되었다. 나노기술의 대두와 더불어 생산공정이나 작업 공간에서 나노스케일 입자로 인한 오염제어의 중요성이 크게 부각되고 있는데, 이에 관한 연구도 마이크로 열공학 기술과 밀접히 연관되어있다. 하드 디스크 드라이브 내부의 유동장이 나노입자 발생에 미치는 영향에 관하여 수치해석적/실험적인 연구가 수행되었으며 광식각공정(photolithography process)이 있는 청정실(clean room) 내부의 유동 및 동적교차오염에 관한 연구가 수행되기도 하였다. 또한 미세입자를 실시간 측정하기 위한 코로나 하전기 개발과 관련된 연구결과도 소개되었다.

반도체 공정 등 마이크로스케일 가공 공정과 관련된 연구로는 CVD 박막성장 공정에서 반응로의 구조 및 열적 조건에 대한 해석 결과가 발표되었으며, 레이저가공 분야에서 굴곡표면에서 레이저 조사로 인한 열모세관 대류(thermocapillary convection)현상 연구도 이루어졌다. 점탄성 폴리머 용액에서 초미세 폼(microcellular foams)을 생성하는 생산공정과 관련된 연구에서는 이론적 방법을 통해 용액 내에 생성된 기포의 거동을 해석하고 실험결과와 비교하였다. 한편, 쌍안정성 박막(bistable membrane)을 이용한 미세구동기(micro actuator) 연구 결과가 발표되는 등 마이크로 열센서/구동기 분야의 연구도 꾸준히 진행되고 있다. 뿐만 아니라 마이크로 냉각기, 마이크로 터빈, 마이크로 발전기 등 복합적인 마이크로 열시스템을 구현하기 위한 연구 또한 지속적으로 추진되고 있다. 이와 관련하여 초소형 촉매 이상(two-phase)

분해 반응기 내의 열전달 해석 모델이 제시되고 적층형 MCM(Multi-Chip Module)에 삽입된 초소형 열교환기 내부의 대류열전달 현상이 해석되는 등 마이크로 시스템의 구성요소로서의 열유체 시스템에 관한 연구결과가 발표되었다.

마이크로 열공학 분야는 정부의 지원을 받아 근래에 시작된 대형 연구 사업이 정착되고 그 성과를 내기 시작하면서 앞으로 더욱 활성화 될 것으로 생각된다. 특히, 앞서 언급된 분야 이외에도 연료전지, 미세 열유동 계측기술, 마이크로/나노스케일 열물성, 생체 내 열현상 계측 및 온도 반응 분석 등 비교적 새롭게 연구가 시작되고 있는 분야의 중요성이 더욱 부각될 것으로 예상된다.[김동식, 포항공과대학교]

수소 및 연료전지

2004년과 2005년 상반기의 수소 및 연료전지의 연구분야에서는 춘계학술대회에서 1편, 추계학술대회에서 5편, KSME International Journal에서 3편, 제6차 KSME-JSME Thermal and Fluid Engineering Conference에서 15편의 논문 등, 총 24편의 논문이 발표되었다. 석유가격이 1년 가까이 배럴당 50달러를 상회하고 이산화탄소의 저감을 위한 교토의정서가 곧 발효되는 상황에서 신재생에너지에 대한 산업계와 연구 교육계의 관심이 높아지고 있다. 특히 수소, 연료전지 사업단과 미래형자동차 사업단 등이 산업자원부에 의해 발족되어 현재 운용되고 있는 가운데 수소에너지와 연료전지의 연구 및 개발은 신재생에너지 분야 중에서 매우 높은 주목을 받고 있다.

기계 분야에서 수소 및 연료전지 분야의 연구를 자세히 살펴 보면 고온연료전지인 solid oxide fuel cell(SOFC : 고체산화물형 연료전지)의 동적 특성 해석, 연료전지 내에서의 heat and mass transfer 문제의 전산해석과 소규모의 solid oxide fuel cell의 운전실험 등의 연구 결과들이 발표되었으며 열병합 발전을 위한 SOFC-Gas Turbine co-generation system의 개발이 정부과제로 진행되고 있는 가운데, 이에 대한 전산해석 및 성능예측 연구결과가 발표되었다. 1kW급의 가정용 분산발전시스템(RPG : Residential Power Generation)이 정부과제로 진행되고 있고 이에 대한 중간결과로서 작은 규모의 SOFC가 국내에서 개발되기 시작하여 이에 대한 초기 연구결과가 발표되었으며 이를 디젤 혹은 천연가스 개질기와 연동하여 운전한 연구결과들이 발표되었다.

저온연료전지인 Proton Exchange Membrane Fuel Cell(PEMFC)는 저온이라는 작동특성상 자동차 등의 운송수단에의 응용을 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 PEMFC의 최대 기술적 현안의 하나인 물관리 문제의 해결을 위한 연료전지 분리판(bipolar plate)의 최적설계, 중성자를 이용한 PEMFC 내의 2상 유동 가시화 등에 대한 연구결과들이 보고되었다. 현재의 내연기관자동차의 문제점 해결뿐만 아니라 PEMFC의 빠른 상용화를 위한 내연기관-배터리 혹은 PEMFC-배터리 하이브리드자동차의 운전알고리듬에 관한 연구결과들도 발표되었다.

수소에너지에 대한 사회 인프라가 갖추어 있지 않다는 한계를 극복하기 위해 기존의 천연가스 인프라를 이용하여 수소를 생산하는 개질기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 연료전지자동차의 상용화를 위해 수소충전스테이션에 대한 국가과제가 진행되고 있는 가운데 국내의 사정에 맞게 수소충전스테이션의 소형화를 위한 마이크로채널 기술에 대한 연구결과가 발표되었으며 천연가스의 효율적인 저장을 위한 가스 hydrate에 대한 연구결과가 발표되었다.

연료전지시스템 혹은 연료전지자동차의 주변장치(BOP : Balance of Plant)의 개발 역시 시급한 현안으로 주목받고 있는 가운데 수소 ejector의 개발에 대한 연구개발 결과가 보고되었다.[배중면, KAIST]