

글 ■ 이진호 부문위원장(연세대학교 교수)

e-mail ■ jinholee@yonsei.ac.kr

대류 및 물질전달 분야에 대한 연구들을 살펴 보면 다양한 시스템에 대한 열전달 특성 파악과 함께 시스템 보호를 위한 냉각기술에 대한 연구들이 활발하게 수행되었으며, 이러한 연구들을 크게 강제대류와 이상열전달에 대해 정리하면 다음과 같다.

강제대류에 대해서는 먼저 고온부품의 냉각과 관련하여 막냉각/내부관/총돌제트 냉각기술에 대한 실험적인 연구들이 많이 수행되었다. 가스터빈의 효율을 높이고 극한의 작동조건 하에서 허용수명 및 안정성을 높이기 위한 냉각기술 중의 하나인 막냉각 기술로 사각형상의 홀에 대해 감온성 열액정을 사용한 막냉각 효율에 관한 연구가 수행되었으며 수치해석과 나프탈렌 승화법을 이용하여 정사각형상의 막냉각홀 내부에서의 유동 및 열전달 특성을 고찰한 연구도 진행되었다. 또한 비대칭적인 2차 유동 입구조건을 갖는 정사각형 막냉각홀에 대한 유동 및 열/물질전달 특성과 함께 홀 배열이 2열 및 3열인 경우에서 막냉각 성능에 관한 연구가 수행되어 원형홀 배열과의 연구 결과와 함께 비교되었다. 또한 발전용 터빈 제 1단 동익의 압력면과 흡입면 전체 영역에서 열/물질전달계수를 측정하여 발전용 터빈 블레이드의 냉각 시스템 설계에 대한 기초자료를 제공한 연구도 이루어졌다.

내부관 냉각기술로는 요철이 설치된 덕트에서 가스터빈이 작동하는 회전수와 비슷한 환경에서의 열/물질전달 특성에 관한 연구도 진행되었으며 연속 및 단락 경사 요철에 의해 유도되는 이

차유동과 단락 요철의 틈새유동 효과를 고찰하는 연구나 국소적인 열전달 계수에 대한 정보를 얻기 위한 유출판 내부표면에서의 국소 열전달 특성고찰에 관한 연구도 수행되었다. 또한 요철, 유로형상, 회전등의 여러 가지 인자를 복합적으로 고려하여 회전하는 이차유로 내부에서의 국소 열전달 특성에 관한 연구가 진행되었다.

총돌제트에 관한 연구로는 맥동이 존재하는 축대칭 총돌제트에서 총돌면에서의 열전달 특성을 분석하여 공학적으로 유용한 상관관계식을 도출한 연구가 수행되었으며 벽면총돌 유동과 재순환 유동이 공존하는 총돌제트 유동에 대한 수치해석도 이루어졌다. 또한 2차원 제한벽을 가진 슬롯 총돌제트의 유동 및 열전달 특성을 예측한 연구도 보고 되었다.

이밖에도 강제 과도 열전달 실험에서 자유흐름 온도와 대류열전달 계수를 동시에 구하는 방법에 관한 연구가 수행되었다. 강제공랭 모듈이 부착된 벽면으로부터 각도의 변화에 따른 복합열전달에 기초자료를 확립하기 위한 연구나 강제공랭에 의한 3차원 정방형 모듈로부터의 복합열전달에 있어서 기판의 열확산에 의한 전도/대류 복합열전달 특성을 규명하는 연구도 진행되었다. 또한 맥동유동의 평균 레이놀즈수, 가진 주파수, 가진 속도 진폭이 2차원 채널 내에 설치된 단일 발열 블록의 열전달 특성에 미치는 영향에 대한 연구도 이루어졌다. LTNE 모델에 사용되는 기존의 틈새열전달 계수를 사용한 수치계산을 수행하여 적층구에 대한 다공성 물질 채널 내 입구 영역에서



중요한 무차원 변수들이 열전달 특성과 입구영역의 길이에 미치는 영향에 관한 연구도 수행되었으며 실제 CPU 냉각에 사용되고 있는 냉각 팬과 발포알루미늄 방열기를 조합하여 다양한 유동조건에서 팬-발포알루미늄 방열기 조합의 방열성능에 관한 연구도 수행되어 발표되었다.

강제대류에만 국한되지 않고 상변화를 수반한 이상열전달 연구들도 활발하게 수행되어졌다. 먼저 유체에 국부 캐비테이션과 완전발달 캐비테이션을 형성시켜 각각의 경우에 대류상태, 과냉상태, 포화상태에서의 유동현상을 초고속 카메라를 이용하여 캐비테이션을 가장 활성화시키는 주파수와 캐비테이션을 발생시키지 않는 주파수에서의 열전달 증대에 대해 비교 실험한 비등열전달 연구가 수행되었으며 마이크로 쿨러 및 제조에 대한 기본설계 자료를 얻기 위하여 마이크로 쿨러 증발기의 초기 가열과정에 대한 연구도 수행되었다. 열교환기와 관련한 연구들도 다수 수행되어 고효율화, 소형화를 위해 공기축의 유동저항을 줄이고 전열성능을 개선하기 위한 평판관에서의 냉매 응축에 관한 연구나 루버훤이 장착된 열교환기의 열전달 및 압력손실 특성에 관한 연구가 수행되었으며 운전조건의 변화에 따른 이산화탄소의 증발열전달 특성을 밝히고 기존냉매인 R-22 및 R-134a와 비교하는 연구도 진행되었다. 또한 판형열교환기 세브론각에 대한 R22와 대체냉매 R410A를 적용한 응집형 판형열교환기에 대하여 질량유속, 열유속, 건도 등을 변화시켜 증발열전달 특성 및 압력강하 특성에 관한 연구도 보고 되었다.

전자부품 냉각기술로 주목을 받고 있는 히트파이프에 대한 발표된 연구들을 살펴보면, 불응축 가스를 넣어 증기의 압력에 따라 전열 면적을 조절하는 가변 Mesh형 전열 히트파이프의 연구나 소결벽의 제작공정 확립 및 소결벽의 특성을 파악하여 소결벽을 제작하여 얻어진 소결벽 히트

파이프의 전열성능에 대한 연구도 이루어졌다. 이외에도 정립된 냉각탑 이론 및 설계기술을 이용하여 설계과정을 전산화하고 탈설계 성능을 예측할 수 있는 프로그램 개발을 통해 성능실험 자료와 비교하여 타당성을 검증하는 연구도 수행되었으며 자연냉매인 암모니아를 작동유체로 하는 이상류 이젝터의 해석모델을 구축하여 시뮬레이션에 의해 특성해석을 수행한 연구결과도 발표되었다.

이와 같이 대류 및 물질전달 분야에 대한 연구들은 2002년에도 시스템에 대한 열전달 특성 및 새로운 냉각기술에 대한 연구들이 활발하게 수행되어졌다. [조형희, 연세대학교]

복사열전달

복사열전달 분야에서는 연료의 연소 과정에서 생성된 고온 기체에 의한 열전달현상을 해석하고 엔진, 연소기, 보일러 등의 응용분야에서 복사열전달효과를 분석하는 내용을 중심으로 다양한 연구가 진행되었다. 또한, 대류와 복사열전달을 동시에 고려해야 하는 복합열전달(multimode heat transfer) 문제에 관한 연구가 주로 수치해석적인 방법들을 통해 수행되었다.

가스 성분들의 흡수특성에 대한 연구로서 좁은 밴드모델(statistical narrow band model)을 적용하여 비회색가스에 의한 열전달 현상을 해석하기 위한 수치 계산 기법이 제안되었고 3차원 실린더 내의 비회색가스에 대한 기준해의 계산 결과가 발표되었다. 또한, 산화제 제어(oxidizer-controlled) 확산화염의 화염구조 및 NO 생성에 있어 복사열전달이 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구가 수행된 바 있다. 한편, 산소강화(oxygen-enhanced) 역확산화염의 복사 특성과 관련하여서는 적외선 열유속계와 LII(Laser Induced Incandescence)를 이용한 실험적 연구가 수행되기도 하였다.

복합열전달 분야에서는 환형 현(fin)과 원형 디스크가 장착된 원관 내에 회색기체가 흐르는 경우 정상상태의 층류 유동장과 온도장을 유한차분법으로 해석한 연구가 발표된 바 있으며, 정반사(specular reflection) 표면이 있는 정사각형 덕트 내에서 복사열전달과 자연대류를 동시에 고려한 열전달 해석 또한 수행되었다. 그리고 복사열전달이 고체 연료의 연소에 미치는 영향을 살펴보기 위한 연구와 복사열전달의 측정 기법에 관한 연구도 진행되었다. 한편, 복사열전달과 연관된 문제로서 레이저 빔에 의한 고체의 가열 현상을 표면세척과 같은 재료 가공에 공정에 이용하는 연구와 펄초 레이저 필스를 실리콘에 조사하였을 때 발생하는 비평형 열전달현상에 관한 수치해석이 수행되어 그 결과가 발표되었다. [김동식, 포항공과대학교]

연소공학

연소공학 분야와 관련해서 2002년도 한 해 동안 대한기계학회논문집에 발표된 논문은 30편 정도로 분야 별로 나누면 화염의 구조에 관한 기초 연구, 오염 물질의 생성에 관련된 기초연구와 연소기의 설계 등과 관련된 응용 연구의 세 분야로 나눌 수 있다. 연구 논문 발표를 중심으로 2002년의 연소공학 분야의 연구 경향을 정리해보면, 화염 구조와 안정성에 관한 연구, 오염 물질의 생성에 관련된 연구 내용이 기초 분야와 응용 분야를 통틀어서 두 개의 큰 흐름인 것으로 보이며, 미세연소기에 관련된 일련의 연구 결과가 발표된 것이 연소공학 분야의 큰 수확이라고 생각된다.

화염의 구조에 관한 기초 연구

화염의 구조와 안정성에 관련된 기초 연구로는 난류 비예혼합 분류 화염의 화염 특성과 화염 안

정성-화염 날림(blowout), LFG(LandFill Gas) 혼합 연료 화염의 안정성, 공기 중의 산소 농도를 증가시킨 산소부화 예혼합 화염의 화염 구조에 대한 수치해석적인 연구, 예열 공기를 이용한 층류 예혼합 화염의 연소 특성, 대항류 확산 화염을 대상으로 확산-전도 불안정의 비선형 거동에 대한 수치해석적 연구, 덤프형 가스터빈 연소기의 화염 불안정성을 사전에 감지하여 조기에 발견할 수 있는 인자를 찾아내는 연구, 액체 로켓의 연소 안정을 위한 유량공급에 관한 연구, 산소부화, 희석제에 따른 비예혼합 화염의 안정성, 급속압축기(rapid compression machine)를 이용한 프로판/부탄 혼합연료의 자발 착화 연구(영문 저널), 난류 예혼합 화염의 전파에 대한 수치해석(영문 저널) 등의 논문이 발표되었으며, 이외에 프랙탈을 이용한 난류 예혼합 화염의 통계적 연구, 액체연료 액적 연소 중 액적배열연소의 상호간섭에 관한 실험, 대항류 화염의 분산화학반응 화염 구조 및 NOx저감 메커니즘, 수소 화염 중에 고체 입자를 첨가하여 화염의 열 특성을 향상시키는 연구, 대항류 화염의 해석에서 필요로 하는 속도 경계조건에 관한 연구 등의 발표가 있었다. 한편 관심을 끄는 연구 내용 중의 하나로 미세연소기(micro combustor)의 개발에 관한 일련의 논문 발표가 있었는데, 그 내용은 수 mm 크기 연소기의 성능 실험, 정화를 위한 미세 전극 성능 시험, 미세 연소기에서 열손실 및 소염해석 및 감광유리를 이용한 마이크로 엔진의 제작 등이었다.

화염 내에서의 NOx 등 오염물질 생성

화염 내에서의 NOx 등 오염물질 생성에 관한 연구는 NOx와 매연(soot)에 주로 초점이 있으며, NOx 생성 및 억제에 대한 연구로는 NOx 배출을 저감하기 위한 부분 예혼합 화염(partially premixed flame)의 NOx 배출 특성, 선회도에 따른 평면화염 버너의 화염 특성 및 NOx 배출, 메탄-



공기 동축 화염의 NOx 생성 등이며, 매연 입자 생성에 관련된 연구 논문으로는 역확산화염과 정상확산화염이 결합된 형태의 동축이중확산화염의 매연 생성에 대한 연구, 에틸렌과 프로판을 혼합한 연료의 대항류 확산 화염의 PAH와 매연 생성, 산화제의 결핍 상태에서 발생하는 오염 상태 부근에서 OH, PAHs 및 매연 농도 분포를 측정하는 연구, 자유낙하 액적군에서의 매연 생성 및 산화 특성, 난류 확산화염에서의 매연생성에 대한 수치해석(영문 저널) 등이 있었으며, 이외에 이 분야로 분류할 수 있는 연구는 SiC 필라멘트를 이용하는 온도 계측 방법에 관한 연구, 산소부하 역확산화염(inverse diffusion flame)의 연소특성(영문 저널) 등의 연구가 있었다.

응용 연구

응용 연구 분야에서의 연구로는 연소기의 설계와 화염 안정화에 대한 논문으로 모형 가스터빈 연소기 내 연소 불안정성 연구, 소형 가스터빈용 소형 역류형 연소기의 성능에 대한 실험, 디젤엔진 내의 매연 입자 분포에 미치는 스윙 유동의 영향에 대한 연구, 폐목재를 연료로 사용하는 소형 화목보일러 개발 및 성능시험에 대한 연구, 항공기용 가스터빈 회박 연소기의 저압 및 고압 연소성능시험 등의 연구 결과가 발표되었다. 연소기로부터의 오염물질 배출에 관한 연구인 비열 플라즈마를 이용한 디젤엔진의 매연 제거 등과 고온 배기가스 중의 재연소 방식 비예혼합 화염의 NOx 발생에 대한 연구, 석유화학 고정 부산물을 벵커 C 유와 혼합하여 연소시키는 시스템의 배출 특성 연구 등이 있었으며, 이외에는 2단 사이클론 연소기 석탄의 미분탄 연소기 연소 특성 등의 연구 결과를 발표하였다.[정중수, KIST]

환경 및 공해

21세기에는 환경 및 공해 문제를 해결하기 위한 기계공학적 접근이 더욱 더 필요한 시기이자 기계공학자들이 기여해야 할 부분이 점점 증가하고 있다. 최근에는 기계공학에서 접근할 수 있는 요소기술이나 시스템 기술이 환경기술(BT)와 나노기술(NT)이 결합되는 새로운 형태로도 나타나고 있다. 2002년에 대한기계학회논문집에 수록된 국내 기계공학 연구자들의 연구를 1) 연소기관의 성능향상 및 공해저감을 위한 연소기술, 2) 실내 공기질 및 환기기술, 3) 환경처리기술 및 오염제어기술과 4) 친환경적 나노기술로 분류하여 살펴 보았다.

연소기관의 성능향상 및 공해저감을 위한 연소기술

최근 세계 각 국은 대기환경문제에 큰 관심을 보이고 있으며, 지구환경을 보호하기 위해서 리오 기후변화협약과 같이 국제적인 협약을 통해서 지구환경을 보존하기 위한 국제적인 대응이 이루어지고 있다. 지구온난화 문제를 해결하기 위해서 국가 전체에서 방출하는 이산화탄소량의 배출량 총량규제를 실시하려 하고 있다. 따라서 이산화탄소의 배출량이 상대적으로 적고 연비가 좋은 디젤자동차의 수요가 증가하는 추세이다. 그렇지만 디젤엔진의 배출가스 중 산화질소와 매연이라 불리는 입자상물질 등은 도시 대기오염의 주범으로 알려져 있기 때문에 이들을 제거할 수 있는 많은 연구가 진행되고 있고, 규제 또한 점점 엄격하게 적용되는 추세이다. 국내에서도 엔진 내 연소 과정에서 필연적으로 발생하는 산화질소나 입자상 물질의 제어에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 2002년에 발표된 세부 연구를 살펴보면 다음과 같다. 직접분사식 디젤기관에서 EGBE 첨가에 의한 배기가스 배출특성과 분석에 관한 실험적 연구, 비열 플라즈마와 라디칼을 이용한 디젤엔진 매연 및 NO 제거 특

성, 직접분사식 디젤기관에서 MTBE 함유율 변화에 의한 배출가스 특성 등의 연구 논문은 디젤 엔진에서 배출되는 오염원을 엔진연소 과정에서 제어하려는 연구이다. 또한, 2영역 에너지법과 화염 화상 처리법을 이용한 디젤 연소실내 스월 유동 특성에 관한 연구 연소 특성을 측정하기 위한 기초연구이다.

실내 공기질 및 환기기술

최근 실내 공간이나 지하 공간 혹은 터널 내의 공기질이 인체에 미치는 악영향이 부각되면서 전반적인 실내 공기질의 문제가 점점 더 관심의 대상이 되고 있다. 현대인은 전체 활동시간의 80% 이상을 실내에서 보내야 하기 때문에 깨끗하고 쾌적한 실내 환경은 인체 보건상으로 매우 중요하다. 특히, 지하 공간 혹은 터널 내와 같이 환기가 이루어지기 어려운 공간에서는 공기가 빠져나가지 못하고 정체하기 쉽기 때문에, 인체에 유해한 오염물질의 농도가 높게 나타날 수 있다. 또한, 최근 지하철 내에서 혹은 터널 내에서 발생한 화재의 경우와 같이 신속하고 효과적인 환기가 이루어지지 못하면 큰 인명피해를 야기할 수 있다. 이와 같이 밀폐된 공간에서 공기질을 개선할 수 있는 방법 중, 기계공학적으로 접근할 수 있는 방법이 환기와 오염원 거동 해석에 관한 것이다. 2002년에는 이와 같은 여러 연구가 수행되었다. 극저습 공조실의 환기성능에 대한 수치적 모사, 터널환기 제어를 위한 차종별 오염물 배출량 추정 등의 연구는 환기 시스템을 위한 기초연구이다. 자연 배기 터널에서의 연기 거동에 관한 연구나 실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기 거동에 대한 실험연구 등은 화재 발생시 공기의 움직임과 이를 환기 시스템에 적용할 수 있는 연구이다. 현대인들이 삶에서 또 하나의 중요한 실내공간이 바로 자동차 실내이다. 자동차를 이용하는 시간이 증가하고 있을 뿐 아니라 대도시의

도로 정체는 승용차로 유입되는 오염원의 제거의 필요성과 실내에서의 쾌적함이 요구되고 있다. 이를 위해 최근에 차량에 장착되기 시작한 캐빈 필터는 도로 주행 중에 자동차 실내로 유입되는 꽃가루나 미세 먼지 혹은 악취 등을 제거한다. 입자 퇴적이 승용차용 정전필터의 미세 입자 포집 특성에 미치는 영향에 관한 연구는 일반적으로 자동차에 장착된 필터의 오염물 제거 성능을 정량적으로 평가한 연구이다.

환경처리기술 및 오염제어기술

최근 들어 대기오염의 주원인으로 주목되고 있는 입자상 물질과 기체상 오염 물질을 저감시키기 위한 연구가 활발해지고 있다. 저온 플라즈마나 코로나방전을 이용한 오염물질 저감장치에 대한 연구가 활발해지면서 매연 및 분진뿐 아니라 NOx 와 SOx 등의 기체상 물질의 관심이 많아지고 있다. 또한 VOCl나 다이옥신 저감에 대한 여러 연구가 진행되고 있다. 2002년 발표된 연구로는 판-판 형 또는 판-판 형 전극에 인가된 AC 전기장이 에틸렌 정상 확산 화염 Soot 입자 배출에 미치는 영향에 대한 연구는 전기장을 이용한 입자상 물질 제거 가능성을 실험한 연구이다. 정전분무를 환경처리기술에 적용하려는 노력이 최근 활발히 진행되고 있는데, 정전분무에 의한 고정성 액체의 액적 생성 특성에 관한 실험적 연구나 전기수력학적 분무에서 노즐 재질이 입경분포에 미치는 영향 등의 연구 논문과 같이 정전분무에 대한 기초 연구가 진행되었다.

친환경적 나노기술

차세대 핵심환경기술개발사업은 현재 국내에서 직면하고 있는 환경과학기술을 집중 개발하여 심화하고 있는 환경오염 문제를 적극 해결하고 국가 경쟁력을 향상시키고자 하는 것으로서 2001년부터 10년간 총 1조 원을 투자함으로써 중장기적



으로 오염저감 환경개선 등에 폭넓게 활용할 수 있는 환경친화적인 소재 제품과 공정 공법 기술 개발을 선택하여 집중적인 지원을 하고 있다. 이 사업은 환경오염 저감 예방 복원에 필요한 환경 기술(ET)과, 나노(NT) 생명공학(BT) 정보기술(IT)의 융합을 위하여 통합환경관리기술, 생태계 보존 및 복원기술, 사전오염예방기술, 지구환경보존기술, 그리고 환경관리정보화촉진기술 등이 진행되고 있다. 환경 및 공해에 관련된 연구는 ET와 NT가 결합된 형태로 다양하게 진행되고 있다. 친환경 나노기술은 환경친화적인 재료를 보다 용이하게 개발할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 특히, 나노 입자는 질량에 비해 상대적으로 넓은 표면적을 갖고 있으므로 공해물질제거를 위한 나노입자 필터의 개발이나 환경오염의 조기진단을 위한 센서개발, 에너지 변환과정, 인체친화 공기청정 시스템에서 다양하게 활용될 수 있다. 특히 나노 크기의 은이나 광촉매(TiO₂)를 이용한 기술이나 나노 섬유를 이용한 기술이 각광받고 있다. 2002년의 기계공학 분야의 연구로는 전기가열 튜브로에서 발생된 나노 입자의 크기분포 특성에 관한 연구, 열열동을 이용한 나노 입자의 집진, 대기압 반응로 내 코로나 이온을 이용한 나노입자 형성의 제어, 가열되는 회전원판으로의 입자침착 해석, 진공환경에서 수평 웨이퍼 표면으로의 입자 침착 해석, 하전 입자의 비구형 응집 성장에 대한 수치적 연구 등이 나노 기술에 관련된 기초연구로 수행되었다. 또한 ET와 BT가 결합된 연구로 환경미생물입자 중 E.coli와 B.subtilis의 흡습성장에 대한 연구도 수행되었다. [황정호, 연세대학교]

열 시스템 제어 및 계측

열 시스템 제어 및 계측에 관련해서 2002년도 한 해 동안 대한기계학회논문집에는 30편 정도의

연구논문이 발표되었다. 이는 2001년과 비교하면 약 10편 정도가 증가한 것으로 이 분야에서의 연구 활동이 활발했음을 보여주고 있다. 2002년도에 발표된 논문을 분야 별로 세분화하여 정리하였다.

레이저 이용 PIV 등

연구논문을 측정 방법에 따라 세분화하면 레이저를 이용한 계측에 관한 논문이 상당히 많은 편수를 차지하였다. 레이저를 이용한 계측 중 PIV는 속도장 측정과 입자 역적의 크기 및 분포를 측정하는 데 적용되는데 이번에 발표된 논문 중 PIV를 생체공학에 적용한 연구가 눈길을 끌었다. 'PIV를 이용한 인공심장용 폴리우레탄 인공판막 하류의 맥동 유동을 측정한 연구'가 수행되었는데 인공 판막의 재순환 영역에서 혈전 생성영역이 높아지므로 판막 중앙부에서 씻김효과를 증대시킬 수 있도록 열림판과 지지대의 설계 개선이 이루어져야 한다는 결과를 얻었다. PIV를 생체공학에 적용한 다른 연구로서 '코 내부 유로(비강) 내부 유동의 PIV 해석'이 있었다. 이 연구에서는 비강내부 유동 측정 방법을 확립하였으며, 비강 내부 유동에 대한 국내 최초의 데이터를 제시하였다. PIV의 전형적 응용 분야인 엔진 연소실의 유동에 관한 내용으로는 '이색(two color) PIV 기술을 이용한 5밸브 가솔린엔진 연소실 내의 유동 특성 분석에 관한 연구'가 있었다. 이 연구에서는 이색 PIV를 이용하여 텀블유동을 측정하였으며, 텀블 제어 밸브가 흡기유동강화에 효과적인 것이 확인되었다. 엔진에 관한 다른 연구로는 PIV를 이용한 직접 분사식 가솔린의 분무 특성에 관한 연구가 엔트로피 해석과 함께 수행되었다. 이 연구에서는 가솔린 직접 분사식 인젝터에서 확산, 와도강도, 균일화 정도 등이 측정되었으며 열역학적 엔트로피 개념이 분무 현상 해석에 적용될 수 있음이 확인되었다. PIV의 다른 응용 분야

KJ Som

연구로는 3차원 'Stereoscopic PIV 기법의 개발과 이를 이용한 축류 현 후류의 유동해석'이 있었는데, 동일한 유동에 대하여 3차원과 2차원 PIV기법을 비교 평가하였다. 레이저 형광여기법(LIF)를 이용한 연구로서 러쉬톤 터빈 교반기의 혼합특성에 관한 논문도 발표되었는데, 레이저 형광여기법을 이용하여 러쉬톤 터빈 교반기에서는 Large Scale Mixing과 Small Scale Mixing이 존재하는 것이 확인되었다. 이 외에 레이저를 이용한 연구로는 '동축 이중 에틸렌 확산화염의 매연 농도분포 및 온도 측정에 관한 연구'가 있었다. 이 연구에서는 레이저 광 감쇠법을 이용하여 매연농도를 측정하고 버너 각 부분의 온도는 세선(fine wire) 열전대를 사용하여 측정하였다. 레이저의 광열효과를 이용하는 광열변위법은 산소재 개발, 재료의 비파괴 검사 고체와 유체의 열물성 측정 등에 있어서 중요하다. 광열변위법을 이용하여 열확산계수를 측정한 논문이 두 편 발표되었는데 '광열변위법의 변형각을 이용한 열확산계수 측정'에서는 좀더 간단하게 광열변위법을 적용하기 위한 방안이 제시되었다. '광열변위법을 이용한 반무한 고체의 열확산계수 결정에 대한 이론적 연구'에서는 두꺼운 시편의 열확산계수를 측정할 수 있는 방안이 이론적으로 제시되었다.

전자기 유량 측정법

전자기 유량계는 전도성 유체가 자기장을 가로질러 흘러갈 때 자기장과 유동 방향에 수직인 두 전극 사이에 유도되는 전위차를 검출하는 측정기기이다. 전자기 유량계는 이상유동에서 액체의 평균 속도를 정확히 측정할 수 있는 방법이다. 전자기 유량계에 관한 논문이 두 편 발표되었는데 '전자기유량계를 이용하여 기포 및 슬러그 유동을 측정하는 방법'과 '고주파 삼각파 여자법을 사용한 실시간 슬러그 유동 측정용 전자기유량계'에 관한 내용이었다. 이 연구들을 통하여 이

상유동의 정밀한 측정 방법이 제시되었다.

자유흐름온도와 대류열전달계수의 동시 측정법

대류열전달 계수는 주위의 열환경에 관계없는 값이 되어야 그 응용성이 확보되나, 많은 대류열전달 문제에서는 자유흐름온도가 분명하지 않은 경우가 많다. 이에 따라 자유흐름온도와 대류열전달계수를 동시에 측정하려는 노력이 진행되고 있는데 지난 1년간 이 분야에 관한 두 편의 논문이 발표되었다. 이 논문들에서는 과도 방법과 다중회귀 방법을 이용하여 자유흐름 온도와 대류열전달 계수를 동시에 측정할 수 있는 실험 방법에 대한 연구가 이루어졌다. 다중회귀 방법이 과도방법보다 우수한 것으로 나타났으나 다중회귀 분석 방법은 가능한 온도 정보의 개수에 제한이 있다.

기타 측정법

5공프로브는 3차원 흐름에서 피치각, 요각, 전압과 정압을 직접 측정할 수 있는 수단이다. '2단 원추형 5공프로브에서 Reynolds 수가 3차원 유동 측정에 미치는 영향에 관한 연구'가 수행되었다. 이 연구에서 보정계수들에 대한 Reynolds 수의 영향은 요각과 피치각의 함수라는 것 등이 밝혀졌다. Pressure Sensitive Paint(PSP)는 손쉽게 표면의 압력을 측정할 수 있는 방법으로 세계 여러 연구 기관들이 독립적인 PSP system을 개발하기 위하여 노력하고 있다. 'Pressure Sensitive Paint의 성능비교 및 경사충돌분류의 압력장 측정'에서는 여러 종류의 고분자와 발광 물질을 조합하여 PSP paint를 자체적으로 조성하였으며 각각의 발광 특성을 알아보았다. 또한 이렇게 조합된 PSP를 경사충돌분류에 적용하여 압력 분포를 측정하였다. 나프탈렌승화법에 관한 논문도 한 편 발표되었다. '큰 회전각을 가지는 터빈 블레이드 표면에서 나프탈렌승화법을 이용한 열(물질) 전달계수 측정'에서는 나프탈렌 승화 깊이를



정확하게 측정할 수 있는 4-축 형상측정시스템을 개발하였고 이를 이용하여 동익 표면에서의 열(물질)전달계수를 정확히 측정하였다. 가스터빈엔진 고공성능시험설비의 측정불확도를 개선하기 위한 연구도 있었다. 이 논문에서는 엔진 고공환경 성능시험의 주요 측정변수인 공기 유량과 순추력에 대하여 고공환경 시험설비의 측정 불확실도를 개선하기 위한 시험설비 및 시험 방법의 수정 과정과 그 성과를 다루었다. 마지막으로 'SiC 필라멘트를 이용한 소염 직전의 확산화염 온도계측'에서는 화염을 가로질러 장착한 탄화규소섬유의 발광강도를 디지털 카메라로 포착하여 온도를 측정하는 방법에 대한 연구가 이루어졌다. 이 연구에서 사용된 방법을 개선하면 SiC의 발광강도를 온도로 환산할 수 있는 고온측정법을 개발할 수 있을 것이다.

유동 제어

유동 제어에 관련하여 상당히 많은 논문이 발표되었다. '원관 내 유동에서의 준최적 제어의 평가'에서는 난류 유동에서 벽면 마찰을 줄이기 위한 준최적제어에 대한 연구가 수행되었다. 이 연구에서는 준최적제어기의 평가를 위하여 난류 원관 내 유동에 대한 직접수치모사를 수행하였으며 제어를 수행한 결과 20% 정도의 항력 감소율을 얻었다. 동일한 연구실에서 발표한 '주기적 회전을 이용한 원봉 후류의 도막임 제어'에서는 Lock-on이 발생할 때의 원봉의 와홀림 위상과 가진 위상 사이의 관계를 이용한 제어 방법을 제안하였다. 역시 동일한 연구실에서 발표한 '항력 저감을 위한 굽은 난류채널 유동제어'에서는 굽은 난류채널 유동에서의 표류하는 테일러-괴틀러 와류를 검출하기 위해 새로운 조건부 평균기법이 제안되었다. 테일러-괴틀러 와류의 억제 및 벽면 마찰저항의 감소를 동시에 얻기 위해서는 혼합형태의 제어 방법이 효과적인 것이 밝혀졌다. 천음

속 및 초음속 노즐에서 발생하는 충격파의 제어에 관한 논문도 동일한 연구실에서 세 편을 발표하였다. '천음속 노즐에서 발생하는 응축충격파의 피동제어'에서는 응축 충격파의 피동제어를 위해 다공벽/공동 시스템의 효과를 규명하는 수치 계산을 행하였고 계산 결과를 검증하기 위하여 흡입식풍동을 이용한 실험을 수행하였다. 이어 발표된 '초음속 노즐에서 발생하는 응축충격파 진동의 피동제어'에서는 초음속 노즐에서 발생하는 응축 충격파의 피동제어를 위해 다공벽/공동 시스템을 이용한 피동제어법을 적용하였다. 이 연구에서는 수치 계산과 실험을 통하여 비평형 응축과 응축충격파가 발생하는 초음속 유동장에 피동제어 기법을 적용하면 슬릿의 수에 관계없이 응축충격파의 진동을 효과적으로 억제되는 것을 밝혔다. 'Bleed Slot을 사용한 응축충격파의 피동제어'는 초음속 노즐에서 발생하는 정상 및 비정상 응축충격파를 제어하기 위하여 bleed slot을 적용한 피동제어 기법을 적용한 연구이다. 이 연구에서는 피동제어기법이 정상 및 비정상 충격파의 제어에 매우 유효한 것으로 나타났다. '블레이드 앞전 3차원 형상 변형에 의한 터빈 캐스케이드 내의 이차유동 제어'에서는 터빈 캐스케이드 내의 경계층 펜스에 의해 생성되는 이차유동을 제어하기 위한 시도로, 블레이드 앞전의 형상을 변형하여 전산해석을 실시하였다.

기타 제어

'터널환기제어를 위한 차종별 오염물 배출량 추정'에서는 터널을 1차원 확산대류 방정식으로 모델링 한 후 가중오차 방법을 이용하여 추정 알고리즘 적용해 적당한 형태로 변환하였다. 이를 바탕으로 차종별 오염물 배출량을 계산할 수 있었으며 이의 타당성을 역계산을 통하여 검증하였다.

'전자기력에 의한 자성유체의 자유표면 형성 및 상승 높이 제어에 관한 연구'에서는 자성유체

의 표면 형상을 근사적으로 해석하기 위하여 Rosensweig의 자성유체역학 베르누이방정식을 이용하였다. 수치 시뮬레이션과 실험치의 비교에 의하여 지배방정식의 타당성을 검증하였으며, 한 개의 전자석을 사용하여 PID제어에 의한 자성유체 표면의 상승높이 제어를 수행하였다. 마지막으로 '대기압 반응로 내 코로나 이온을 이용한 나노입자 형상의 제어'에서는 전구체인 TEOS 증기와 코로나 방전극에서 발생하는 이온을 반응로에 주입시킨 후, 형성된 실리카 입자의 특성을 연구하였다. 이 연구에서는 반응온도와 방전극에 인가한 전압에 따라 구형의 나노 실리카 입자를 합성할 수 있었으며, 이러한 입자들은 방전극에서 발생된 이온들에 의하여 동일극성으로 대전되어 Coulomb 반발력에 의해 서로 결합되지 않았다. [정시영, 서강대학교]

정공학부론 공정열공학

2002년도 대한기계학회 논문집과 KSME International Journal에 게재된 연구보고서 중 공정열공학 분야로 분류 가능한 논문의 수는 총 25편으로 전년도에 비하여 다소 증가하였다. 세부 분야별로는 입자의 발생 및 거동에 관한 논문 10편, 박막의 생성 및 표면 가공에 관한 논문 5편, 응고 및 승화에 관한 논문 6편, 그리고 교반과정에 관한 논문 2편, 실험방법 및 이론 모델에 관한 논문 각 1편씩으로 구성되었다. 개괄적으로, 미립자, 박막, 표면가공 등 나노 또는 마이크로 기술에 대한 관심의 증가가 현저하고, 2001년 최대의 관심분야였던 응고분야의 연구결과는 상대적으로 비중이 감소하였다.

우선 입자 발생 및 거동 분야의 연구내용을 살펴보자. 액적 생성 또는 미립화와 입자 거동 분야에 대한 관심은 액체금속의 분무를 이용한 분말 내지 초미립자의 제조와 박막코팅 공정 외에

도 분무도장, 농약살포, 연료분사, 잉크젯프린터 등으로 응용분야가 확장되고 분체에 대한 관심이 증가하면서 연구가 활발해지고 있다.

2002년도 논문집에 보고된 미립화에 대한 연구의 관심은 전기수력학적 분무에 집중되었다. 실험적 연구로는, 요오드화 나트륨을 첨가한 글리세린을 사용하여 정전분무에 의한 고정성 액체의 액적 생성 특성을 공기역학적 입경 측정기를 사용하여 정량적으로 조사하고 기존의 자료와 비교한 결과가 보고되었다. 전기수력학적 분무 과정에서 노즐의 재질이 전도성 혹은 비전도성인지의 여부와 표면 젖음도가 액적의 안정성 및 크기 분포의 균일도에 미치는 영향을 고찰한 연구도 게재되었다. 또, TEOS(Tetra Ethyl Ortho Silicate) 증기와 코로나 방전극에서 발생하는 이온을 반응로에 주입하고 증발, 열분해, 화학반응, 핵화, 성장의 과정을 거쳐 생성된 실리카 입자의 특성을 입도, 형상, 하전정도를 측정하여 규명한 연구가 보고되었다. 이론적 연구로는 하전입자의 비구형 응집과정을 브라운 운동 모사법을 기반으로 개발된 수치모사기법을 사용하여 예측한 결과가 보고되었다. 이 모델은 주기적 경계조건의 특성을 잘 표현하지만, 전하가 응집체의 중심에 집중된 경우로 가정하여 전하가 응집체 표면에 불균일하게 분포하는 보다 현실적인 모델로 확장이 가능하다.

입자 거동에 관한 관심은 입자의 침착 및 포집과 냉각 특성에 초점을 두었다. 유동장과 전기장이 동시에 작용하는 영역 내에서 액적의 거동을 수치해를 통하여 예측한 결과가 보고되었다. 이 연구는 인가전압의 크기에 따른 부착분사면적, 부착효율 및 부착비산도의 변화를 예측하였다. 반도체 제조공정과 관련하여 가열되는 유한 직경 회전원판으로의 입자침착 문제를 열영동력을 고려하여 수치해석을 수행하고, 기존의 실험결과와 비교한 연구가 보고되었다. 또, 컴퓨터 하드디스



크 드라이버의 회전수 변화가 내부 필터의 포집 성능에 미치는 영향을 이론적으로 예측하고 그 결과를 실험을 통해 얻은 자료와 비교한 연구도 수행되었으며, 승용차용 정전필터의 운전시간이 경과하면서 입자포집 특성이 변화하는 과정을 실험을 통하여 고찰한 연구도 보고되었다. 역시 입자의 거동에 관한 분야이지만 냉각효과의 증대에 관심을 가지고 실험을 통하여 접근한 연구들도 게재되었다. 압연공정 중 회전하는 고온 실린더에 고압의 스프레이를 분사하는 스프레이 분사 냉각의 특성을 실험을 통하여 규명한 연구와 압축공기와 함께 분무된 안개형태의 액적으로 고온 실린더를 냉각시키는 미스트 냉각의 특성을 역시 실험을 통하여 고찰한 연구가 이에 속한다.

박막의 생성에 관련된 논문으로는 레이저 화학 증착 과정을 이론적으로 해석하고 실험을 수행하여 결과를 비교한 연구결과가 주목할 만하다. 이 연구는 TMS(Tetraethylsilane) 가스 분위기에서 모체에 레이저를 조사하여 탄화규소의 차별 증착을 유도하는 기술을 이용한 3차원 물체 조형기술 개발의 첫 단계로 시도되었다. 또, 수평 및 축대칭 수직 반응면에 부착하는 실리콘 박막의 성장을 예측한 연구가 게재되었다. 표면 가공 및 처리 분야에서는 플라즈마 식각장치 내의 알루미늄 표면 식각률이 노즐의 위치에 따라 변화는 특성을 수치해석을 통하여 예측한 연구가 보고되었다. 이 연구에서는 희박기체의 유동을 보다 정확히 묘사하기 위하여 DSMC(Direct Simulation Monte Carlo) 방법을 사용하였다. 이밖에도, 극초단 펄스 레이저에 의해 가열된 실리콘 층 내의 마이크로 스케일 열전달 현상을 볼츠만방정식으로부터 유도된 1차원 비정상 방정식들을 이용하여 해석하고 레이저의 강도와 펄스 지속시간의 영향을 고찰한 연구와 MEMS 기술을 이용하여 실리콘 기판 표면에 수백 마이크로미터 높이의 리플렛 필름을

형성하고 아음속 풍동에서 표면의 항력측정 실험을 통하여 항력감소 효과를 입증한 학부생들의 연구도 흥미롭다.

응고/응용과 승화 등 상변화 분야의 연구내용을 살펴보자. 우선 주조공정과 관련된 논문의 경우, 이전까지 자연대류, 체적수축 및 혼합물의 응고에 수반되는 편석에 의한 열 및 물질전달을 고려하도록 점차 복잡한 형태로 수치모델을 확장하여 왔던 경향이 사라지고 순수금속 가정의 단순 응고모델을 사용하되 실제 문제의 해결에 응용 가능성이 큰 수치모델을 수립하여 계산을 수행한 연구들이 보고되었다. 이에 속하는 연구로는 SIMPLER 알고리즘을 기반으로 자유표면 및 응고 계면의 추적이 가능한 새로운 조합 알고리즘을 개발하고 이를 3차원 직육면체 용기 내의 용탕 충전 및 응고과정에 적용한 연구와, 비정렬 고정 격자계를 이용하여 상변화 해석이 가능한 해석도구를 개발하고 이를 이용하여 쌍롤 박판주조에서 롤과 용탕을 연계하여 유동장 및 열전달, 상변화 현상을 예측한 결과가 보고되었다. 총류유동과 순수물질 응고모델을 사용하며, 계산영역 입구에서 노즐의 영향을 무시하고 균일 속도분포를 가정하여 유동 및 응고현상에 대하여는 비교적 단순한 모델을 사용한 반면, 열전달 측면에서는 롤러 내부의 열전도와 용탕의 유동, 열전달 및 응고 현상을 연계 해석하였으며, 비정렬 격자계의 효율성에 관심을 두었다. 이밖에도 다소 고전적 주제인 2차원 직사각형 용기 내에서의 측면 응용 문제의 수치해도 보고되었다. 응고/응용분야는 전반적으로 실험을 통한 연구가 보다 활성화 되어야 하며, 수치해석에 사용되는 단순 응고모델의 타당성을 보다 엄격히 확인하는 과정이 요구된다. 고체/기체 승화과정을 다룬 논문으로는 탈지유의 동결건조 공정을 재현하는 실험장치를 제작하고 동결건조 과정 동안의 건조율과 온도분포의 시간에 따른 변화를 측정하고, 그 결과를 자

체 개발한 수치모델을 사용하여 예측한 결과와 비교한 연구가 보고되었다. 또, 습공기 강제 직교 유동에 놓인 실린더 표면에서의 서리층 생성에 대한 환경변수들의 영향을 실험적으로 고찰한 논문과 일정유속으로 2차원 덕트에 유입되는 습공기가 방점 이하로 유지되는 수평 바닥면의 일부에 서리층을 착상하고 성장시키는 과정을 수치모사한 논문이 게재되었다.

이외에도, 밀폐된 원통의 위판, 위판에 부착된 봉과 이에 부착된 임펠러 또는 회전판이 동시에 고속회전하는 경우의 혼합효과와 난류 유동특성을 실험을 통하여 고찰한 연구가 보고되었다. 이때, 원통 내부의 속도분포는 LDV를 사용하여 측정하였다. 교반분야에서는, 또, 생화학공정에서 많이 사용되는 Rushton 터빈교반기의 혼합과정 중 야기되는 복잡한 난류 유동장과 농도장의 변화를 실험적으로 규명하기 위해 PLIF(planar Laser Induced Fluorescence) 방법을 사용한 연구도 보고되었다. 실험기법에 대한 다른 연구로는 발광분자가 산소에 의해 광화학적으로 반응하는 산소 청형상을 압력측정에 응용한 PSP(Pressure Sensitive Paint)기술의 향상을 위해, 네 가지의 고분자와 두 가지의 발광물질을 자체 조합하고 보정실험을 통하여 발광특성을 측정하고 뒤 경사층을 분류 실험에 적용한 연구가 보고되었다. 마지막으로, 다공성 매질 내의 열전달 해석모델에서 널리 사용되어 오던 국부 열평형 가정의 타당성을 검증하는 조건을 제시한 이론연구가 주목할 만하다.

이상 총 25편에 기술된 연구 중 실험과 해석을 병행한 연구가 3편, 순수한 실험연구가 11편, 그리고 순수한 이론 및 수치해석에 의한 연구가 11편으로, 연구방법의 수치해석에 대한 의존도가 다소 감소하였다. 결론적으로, 공정열공학 분야의 국내 논문 편수는 2001년에 이어 계속 증가하는 추세이고, 주제 및 응용분야가 나노 및 마이크로

기술 분야로 집중되어 가는 양상이 특기할 만하다.[송명호, 동국대학교]

열역학 및 열물성

열공학의 세부 분야 중 하나로서 '열역학'은 열공학의 다른 세부 분야에 속하기 어려운 부분 또는 기초 학문의 내용 중에서 아직 열공학에 제대로 적용되지 않은, 그래서 최근에서야 공학적 응용을 시도하고 있는 부분을 뜻하는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 의미에서 2002년 '열역학' 분야의 연구 주제로 기초 연구, 열시스템, 열분해 등을 들 수 있다. '열물성' 분야의 연구 주제로는 냉매의 가-액 상평형 특성 파악, 물질의 물성 측정 및 활용, 물성치 변화를 고려한 해석 등을 들 수 있다.

열역학 분야의 기초 연구로서, 열역학 교육의 관점에서 Carnot 정리와 Clausius 부등식의 관계를 재조명하였으며, 사이클 적분 형태의 상태량 정의식을 이용하여 엔트로피를 정의하는 방법을 제안하였다. 열시스템에 대한 지속적인 관심이 이루어져 Diesel 기관의 Atkinson 사이클화에 따른 제반 성능의 열역학적 이론 해석 및 실험이 수행되었고, 고체산화물연료전지(SOFC) 시스템에 대해 전산유체역학에 의한 유동해석 및 연료전지 성능 모델을 통하여 특성을 파악하고 주어진 운전 조건에서 거동을 예측하였으며, 가스터빈/고체산화물연료전지(SOFC) 하이브리드 시스템의 설계 해석, 가스터빈/융융탄산염연료전지(MCFC) 하이브리드 시스템의 성능 해석 등도 보고되었다. 그밖에도 열역학과 관계된 연구로서 산업체에서 다양한 목적으로 사용하는 폴리염화비닐(PVC)를 생산하는데 있어서 중요한 기초 원료인 EDC(1,2-dichloroethane)의 열분해에 관한 상세한 화학 반응 메커니즘을 개발하고 이 반응 메커니즘을 이용하여 계산한 수치 결과와 문헌에 나오는 실험



결과를 비교하여 반응 메카니즘의 정당성을 입증하였다.

한편 열물성 분야의 연구로서 혼합 냉매 R125+R290(propane), R32+R290 등에 대하여 기액 상평형 자료를 취득하고 이를 Peng-Robinson 상태 방정식을 이용하여 재현할 수 있도록 하였으며, 순수 냉매(R134a, CO₂ 등)의 열역학적 상태량을 계산하기 위해 필요한 절차를 제시하고 이를 활용하는 전산 프로그램의 개발이 이루어졌다. 물질의 물성 측정 및 활용과 관계된 연구로서 광열변위법의 변형각을 이용한 열확산계수 측정, 반무한 고체의 열확산계수 결정에 대한 이론적 연구, 변형 구배와 위상차를 이용한 열확산계수 측정 등이 수행되었다. 질량감지식 모세관 점도계를 이용한 비Newton 유체의 연속 점도 측정, 압력스캔식 모세관 점도계를 이용한 혈액의 점도 측정 등의 방법이 개발되었으며, 압력스캔식 모세관 점도계를 이용하여 점도를 측정할 때 진동이 비Newton 유체인 현탁액의 점도에 미치는 영향, 슬릿 점도계에서의 고분자 재료 점성 발열의 영향 등이 파악되어 정확도 향상을 위한 노력이 이루어졌다. 그 외에도 습공기가 낮은 온도의 실리콘(고체면)과 접촉할 때에 생성되는 서리에 대하여 다양한 온도와 습도 조건에서 서리층의 밀도, 유효 열전도율 등을 파악하였고, 발열 소자로서 탄소 발열체 봉을 제작하여 인가 전류에 따른 발열체의 평균 온도, 정상 온도 도달 시간 등 발열 용도와 관련된 기본 자료를 제시하였으며, 정전분무에 의한 고정성 액체의 액적 생성 특성을 조사하기 위해 글리세롤 용액에 대한 밀도, 점도, 전기전도도 등을 측정하였다.

마지막으로 초임계 상태 이산화탄소의 냉각 과정에서 상태량 변화가 원형 직관 유동에 미치는 영향과 중력이 열전달에 미치는 영향을 전산 해석을 통해 파악함으로써 물성치 변화를 고려하는 해석의 중요성을 예시하였다. [박경근, 국민대학교]

열기-열교환기

2002년 한 해에 동안 열기기 및 열교환기에 관한 연구는 2001년과 대체적으로 유사한 주제에 대하여 수행되었다. 발표된 논문은 시스템 성능 해석, 관 내부 및 외부 유동, 증발 및 응축, 유동층 유동 그리고 오염 등 다양하다. 2001년보다는 증발 및 응축현상에 관련된 열교환기 연구의 비율이 상대적으로 낮았다. 연구방법으로 실험, 수치계산 및 해석적인 연구 등 다양하나 실험적 연구가 상대적으로 큰 비중을 차지하였다. 대상기기는 판형열교환기, 환-관 열교환기, 차량 냉각장치, 스크류 압축기용 열교환기, 유동층 열교환기, 직접접촉식 열교환기 등 여러 분야에 대한 연구가 수행되었다.

분야 별 연구내용을 살펴보면, 판형열교환기에서는 R22 및 R410A 냉매를 사용하여 세브론각, 질량유속, 열유속 및 건도 등을 변화시켜 증발열전달 및 압력강하 특성을 분석한 실험적 연구가 수행되었다. 질량유량, 건도, 세브론각의 여러 조건에 대한 실험결과가 제공되었고 기존 상관식의 타당성에 대한 검토가 수행되었다.

열교환기 현의 기체측 열유동 특성에 대한 깊이 있는 연구도 수행되었다. 각도와 피치가 다른 여러 루버 현 불이 알루미늄 열교환기의 열전달 및 압력강하에 대한 실험자료가 제공되었으며, 기존의 연구자들이 제시한 압력강하와 열전달에 대한 상관식을 실험결과에 적용하여 타당성을 검토하였다. 또한 국내의 독자적인 상관관계식이 제시되어 관련 연구자들에게 많은 도움이 될 것으로 예상된다. 나프탈렌 승화법에 사용하여 환-관 열교환기의 열유동 특성을 평가하고, 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 발표되었다. 나프탈렌 승화법을 원형관과 납작관-현 열교환기에 적용하여 국부 및 평균 열전달계수를 측정할 수 있는 방법을 소개하였고 와류발생기를 사용하여

열전달을 촉진시킬 수 있는 방법과 그 성과가 소개되었다.

수치해석 연구로써는 직접접촉식 열교환기에 대한 해석방법이 제시되었다. 기존의 일차원 해석법을 개선하여 다차원 해석 모델과 수치해석 방안을 소개하고 직접접촉 열교환기에 적용하였다. 직접 접촉 분사기동에서 분사 지점의 유체 액적의 속도, 방향과 같은 인자들과 증형비 및 기공률이 성능에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되었다. 열교환기의 오염에 대한 연구로써는 고체입자가 순환되는 유동층 열교환기의 열유동 특성에 대한 실험적 연구 결과가 소개되었다. 유동층 열교환기에서 풍속과 입자에 따른 열전달 특성을 이해하고 입자의 생성과 제거 기구에 대한 연구도 함께 진행되었다.

시스템에서 열교환기의 성능해석에 대한 연구는 다음과 같다. 스크롤 압축기의 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 R22와 R407C 냉매에 대한 이코노마이저 열교환기의 열전달 성능에 대한 실험 연구가 있었다. 이코노마이저의 분사구경 및 압력 그리고 압력비에 따른 성능평가가 수행되었다. 다른 연구로서는 차량 냉각시스템의 열적 성능을 평가하기 위한 해석 프로그램의 개발과정에 대한 보고도 있었다. 이 연구에서 차량속도, 냉각온도 등에 따라 효율적인 냉각장치를 운용하기 위한 자료가 제공되었다.

열교환기의 열유동 거동이외의 연구로서는 열교환기의 누설과 튜브의 건전성에 대한 연구가 수행되었다. 침식식 누설검사방식의 문제점을 해결하고자 음향방출기법을 이용한 누설검출기법이 소개되었다. 이 연구에서 열교환기의 누설을 온라인 상태로 모니터링 하여 열교환기의 품질을 향상하는 방안이 제시되었다. 공정 튜브시트에서 튜브의 건전성을 향상하는 방안에 대한 연구가 진행되었다. 튜브측 압력과 열하중이 중첩되는 경우 3차원 유한요소법에 의한 응력해석방법이

소개되었다.

위에서 열거한 바와 같이 열기기 및 열교환기에 대한 연구는 양보다는 질적으로 우수한 논문이 증가되고 있다. 열교환기의 여러 분야에 다양한 연구기법이 시도되고 있으며 또한 열전달 고유의 연구기법이 아닌 타 분야의 연구기법이 열교환기에 적용되고 있다는 것은 특기할 사항이다. [강희찬, 군산대학교 ; 전창덕, 충주대학교]

냉각 및 저온공학

첨단산업 분야에 적용하기 위한 냉각 및 냉동 기술의 개발과 생활 수준의 향상에 따른 사무공간 및 주거 공간의 활용 극대화 및 쾌적화에 대한 요구가 최근 높아지고 있다. 냉각, 냉동, 공조 공간 쾌적화 관련 연구는 가정용, 상업용 및 중대형 건물 공조 등에 적용되는 EHP, GHP, CO₂ 시스템, 흡수식 시스템, Hybrid 시스템, 분산 전력 제어 시스템과 연관된 CHP 시스템 기술, 극저온 기술, 축방냉 기술 등으로 나눌 수 있다.

대표적 냉난방 시스템으로 다양한 기술개발과 함께 성능 향상뿐만 아니라 안정성과 경제성을 바탕으로 에어컨 분야에서 세계적으로 그 중요성과 시장성이 점차 높아지고 있는 EHP 시스템은 기존 단일 냉방기술뿐만 아니라 중대형 빌딩의 각 실내 요구 부하 조건에 따라 용량변인이 가능한 압축기 로딩 주기(PWM)제어와 압축기 회전수 제어(Inverter), 두 개 압축기의 ON/OFF 제어를 통해 용량을 가변하는 2압축기 기술 등 중대형 빌딩 공조에 적용되는 시스템 멀티형 냉방 기술 개발에까지 이르고 있으며, 최근 사계절 기후 변화에 대한 적용성을 극대화시킨 한국형 EHP 시스템에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 또한, 최근 하절기 전력 및 가스 수급의 불균형과 에너지 자원의 효율적 활용을 위해 기존 EHP 시스템의 압축기를 가스엔진으로 구동하는 방식인



GHP(Gas engine-driven Heat Pump) 시스템은 산요, 미쓰비시, 아이신 등 일본 회사 제품을 주로 수입하는 형태였으나 최근 국내에서도 관심이 고조되면서 삼성전자와 한국기계연구원이 공동으로 또한, 한국가스공사와 LG전선이 공동으로 20마력급 GHP 시스템 개발을 추진 중에 있다. GHP 시스템은 배기가스 폐열 등의 가스엔진 배열 이용, 저압축 고평창 밀러 사이클 엔진의 적용, 희박연소, EGR, 착화 지연 등 연소 및 엔진 관련 기술을 냉난방 기술에 접목시키는 형태이다. 이는 최근 대형 빌딩에 적용되고 있는 멀티형 냉난방 제어시스템의 다중연결 및 제어방법에 이르기까지 그 대상범위가 확대되고 있다. HFC 계열의 대체 냉매는 ODP에서는 문제가 없으나 지구 온난화를 유발하는 GWP의 수치들이 높아서 자연냉매를 사용하는 시스템이 관심을 끌고 있으며, 특히 CO₂ 저감 기술개발과도 연관되어 관심이 증폭되고 있다. 환경적 측면을 중시해 온 기술선진국들에서는 1990년대 초부터 노르웨이의 SINTEF, 미국 일리노이주립대의 ACRC, 메릴랜드 주립대의 CEEE, Graz Univ. 등 대학 및 기술연구소들을 중심으로 CO₂ 사이클, 열역학 및 전달 물성치를 통한 효율개선, 내부 열교환을 통한 사이클 성능개선 등 CO₂ 냉난방 시스템 개발을 위한 기술개발이 진행되고 있는데 반해 국내의 기술수준은 아직 부족한 실정이었으나 최근 성적계수 3.5 이상, 냉방능력 10.5kW 급 CO₂ 냉난방 시스템 개발에 대한 대책과제가 산학연 공동연구로 진행됨에 따라 본격적인 기술개발에 박차를 가하고 있다. 또한, EHP 시스템에 의한 전력 수급불균형의 대안으로 열구동 시스템인 흡수식 냉난방 시스템에 대한 연구가 유럽, 일본 등을 중심으로 이루어지고 있으며, 국내에는 약 10여 개의 대학, 기술연구소를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 특히, 2002년 9월 중국 상해에서 열린 International sorption heat pump conference에서도 부각되었듯

이 첨가제에 의한 성능향상과 GAX(Generator Absorber heat Exchange) 사이클 및 소형 공랭식 냉각기 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 이중효율 시스템 기준 COP 1.3 이상을 실현한 일본, 유럽의 선진기술에 비해 국내 기술 수준은 COP 1.0~1.02 정도에 미치고 있으며, 기술 후진국으로 여겼던 중국 역시 이미 COP 1.2 이상을 추진하는 실정이다. 따라서, 최근 흡수식 시스템의 국제 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 고효율 흡수식 시스템의 특허맵 기반 조성 및 3중 효율 시스템 개발연구가 국내 연구소를 중심으로 추진되고 있다.

최근에는 두 개 이상의 시스템 연계를 통한 Hybrid 시스템, Micro Gas Turbine이나 연료전지를 이용한 분산 전력 생산과 열펌프 시스템을 조합하여 냉난방을 동시에 수행하는 CHP(Combined Heating, Cooling and Power) 시스템에 관한 연구가 미국, 유럽 등 기술선진국을 중심으로 이루어지고 있으며, 2002년 미국 Atlantic City에서 열린 ASHRAE Winter meeting에서는 이들 CHP 시스템에 대한 실증 시험을 미국 메릴랜드 대학, 미육군, 해병대기지, 국립위락단지 등에 수행한 결과가 발표되었다. 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 전반적으로 미비한 실정이나 마이크로 가스터빈, 연료전지에 대한 연구, 압축식 및 흡수식 시스템, GHP 시스템에 대한 연구가 수행되고 있고, 특허청에서도 흡수식 시스템, 마이크로가스터빈에 대한 국내외 특허 조사를 체계적으로 수행하기도 했다. 올해 5월에 서울에서 열린 HARFKO에서는 멀티형 냉방시스템, GHP, 고효율 소형 흡수식 시스템, CO₂ 시스템 등 저온 및 냉난방 기술에 대한 국내 발전 가능성과 기술 동향에 대한 학술 강연회가 열렸다.

저온 축열과 관련된 연구로는 유동성의 특성을 가짐으로써 저온 급기, 식품냉동 등의 다양한 용도로 사용될 수 있는 아이스슬러리에 대한 것이

주종을 이루었다. 실용화에 이르기까지는 해결해야 할 다수의 과제가 있는 상황에서 빙부착 및 재결빙의 억제, 열전달 유동특성에 대한 실험치의 제시, 분기관에서의 아이스슬러리의 유동분포와 관련된 연구가 수행되었다. 또한 아이스슬러리를 축열시스템에 적용한 사례도 보고되기 시작하였다. 이외에도 저온 PCM의 냉동탑차에 적용, TMA 포접화합물에 대한 연구 및 PCM의 물성측정에 관련된 연구도 지속적으로 이루어지고 있다.

차세대 초전도 응용기술 개발이 프론티어 산업으로 진행되고 우주항공 및 군사기술의 발달에 따라 고온 초전도 시스템의 냉각기술인 극저온 냉동과 그 응용분야에 대한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있으며, 특히 스텔링 냉동기와 맥동관 냉동기 등 재생형 극저온 냉동기에 관한 연구가 큰 비중을 차지하고 있다. 초기 G-M, 스텔링 냉동기에서 맥동관 냉동기에 이르는 극저온 기술의 발전은 현재 헬륨의 재응축 온도인 4.2K뿐만 아니라, 자기냉동 및 핵단열 소자에 의한 K의 극저온을 달성하였으며, 헬륨액화온도에서 큰 비열을 갖는 자성체 재료(Er3Ni, ErxYb1-xNi)를 축열 재료로 적용함으로써 2.6K의 극저온과 4.2K에서 1W 이상의 냉동능력을 얻고 있다. 미국, 일본, 유럽 등 기술선진국의 연구개발에 비해 거의 개발 불모지로 여겼던 국내 기술도 최근 산학연 프론티어 사업추진과 극저온 이산화탄소(CO2)를 이용한 반도체 세정장비인 유기EL cell cleaner를 세계 최초로 상용화함으로써 저온 관련 기술의 급성장을 보여주고 있다. [조금남, 성균관대학교 ; 홍희기, 경희대학교]

마이크로 열공학

미세 열전달(microscale heat transfer)은 미세 유체공학(micro-fluidics)와 더불어 미세 열유체공학의 중요한 한 부분을 차지하고 있는 연구/개발분

야로서 마이크로 전자장비의 혁신과 더불어 시작되었으며, 반도체장비설계, 전자장비냉각, MEMS, NEMS, 마이크로 생명공학 및 환경공학 등으로 그 적용영역이 급격히 확장되고 있다. 특히, Moore의 법칙에 따른 전자시스템의 고집적화 추세는 당분간 지속될 것으로 예상되기에, 이에 따른 회로 선폭 (feature size)의 극미세화에 따라, R. Feynmann이 예견한 바와 같이 화학의 폭발에 버금갈 만한 열방출이 현실화되고 있고, 이를 위한 고성능 냉각시스템의 개발이 요구되고 있다.

미세 열전달에 대한 연구는 다른 분야의 연구와 마찬가지로 실험적 연구와 이론적 연구로 크게 분류될 수 있으나, 연구를 통하여 밝히고자 하는 사항은 미세 시스템 또는 미세 현상에서 (1) Fourier 법칙 등의 연속체 기반 이론의 Scale-down 적용 타당성 확인, (2) 에너지 운반자(carrier)의 특성 및 운반자 간의 에너지 교환기구(exchange mechanism) 규명, (3) 경계영역(interface 또는 interfacial region)의 물리적 역할 등의 학술연구와 (1) 미세 시스템에서의 온도 또는 유속 측정, (2) 미세 시스템에서의 열방출, (3) 열적/비열적 레이저 가공, (4) 미세 열유체 시스템을 위한 MEMS 기술개발 (5) 반도체/LCD 제작에서의 열공정의 최적화 등의 응용연구로도 분류가 가능하다.

지난 한 해 동안 국내에서 수행된 연구는 대부분 Top-down 방식으로 기존의 연속체 이론을 미세시스템의 해석에 적용시키는 연구 또는 MEMS 제작기법을 활용하여 미세 장치를 설계/제작하는 연구로서 연구 분야가 점차 넓어지고 있는 추세이다. PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) 연료전지 분리판의 형상설계를 위하여 쌍극성 기관에서의 음극, 양극, 그리고 냉각채널주위에 대한 유동해석에 대한 연구, 미세동력장치(power MEMS) 개발을 위한 미세 연소기 부품의 설계/제작/시험에 대한 연구, 프로펠러 날개(air



foil)에서의 항력감소를 위한 마이크로 리블렛 필름(micro-riblet film)의 제작기법 연구, 소형 열전도를 감지기(miniature TCD : thermal conductivity detector)에서의 마이크로 채널유동에 대한 수치적 연구, 마이크로 펌프 스타터 또는 마이크로 CPL(Capillary Pumped Loop)에서의 증발기에 대한 과도 열전달 해석, 저온 비등 고정성 유체를 이용한 고효율 저전력 마이크로 분사기 설계/제작 연구 등을 들 수 있다.

그리고 미세 열전달 현상해석에 대하여 기존의 거시적 이론을 수정한 연구 및 마이크로/나노스케일에서 적용될 수 있는 bottom-up 방식의 MD(molecular dynamics)와 MC(Monte Carlo) 시뮬레이션 적용연구도 진행되고 있음을 확인하였다. 마이크로 펌프 내 증발에 의한 확장 메니스커스(extended meniscus)에서의 열유동 특성에 대한 수학적 해석모델 연구, 마이크로 액추에이터

(micro actuator)에서의 희박기체에 대한 DSMC(Direct Simulation Monte Carlo), 마이크로 채널 냉각을 위한 다공성 매질에서의 국소적 열평형 기준에 대한 연구, 펄소초급 극초단 펄스레이저에 대한 실리콘 내의 운반자 생성/소멸 에너지 전달 기구에 대한 연구, 분자동역학 시뮬레이션을 적용한 액체 박막 특성 해석, 그리고 나노 구조물에서의 점착(adhesion)에 대한 분자동역학 시뮬레이션 등을 들 수 있다.

이 분야에 대한 국내 연구는 2000년 이전에는 산발적으로 수행되어 왔으나, 2001년의 마이크로 열시스템 연구센터, 2002년의 나노메카트로닉스 기술개발 사업단의 출범으로 조직적인 연구를 수행할 기반을 갖추게 되어 이 분야의 연구가 활성화 될 것으로 기대한다. [권오명, 고려대학교 ; 박승호, 홍익대학교]

기계 용어해설

온열 쾌적감(Thermal Comfort)

온열 쾌적감은 건물 내부의 공기조화 시스템에서 재실자가 느끼는 실내 온도분포에 대한 쾌적감의 정도를 나타낸다. 이는 정량적 수치로 표현하기 어려우며, 일반적으로 사람을 대상으로 한 직접 설문조사를 통하여 평가한다. 그러나 공기조화 시스템의 개발에 있어 직접 설문조사는 시간과 비용이 많이 들기 때문에 바닥온도 분포율과 상하온도차에 의해 그 성능을 평가한다. 바닥면 온도분포율은 지면에서 0.1m 높이(발목부위)에서 18°C 이상이 되는 면적비율을 의미하고, 상하온도차는 지면에서 0.1 - 1.1m 위치의 거주공간에서의 온도차를 말한다.

삼지화염(Triple Flame or Tribachial Flame)

연료의 질량분율의 구배(이후 농도구배)가 존재하는 공간에 화염이 존재할 때 이론 당량비 조건을 기준으로 한 쪽은 연료희박 반대 쪽은 연료과잉의 상태가 된다. 이 때 연료와 산화제의 조성이 예혼합 화염의 가연한계 내에 존재하면 각각 희박에 혼합화염 혹은 과농예혼합화염을 형성하게 되는데, 이러한 예혼합화염 하류에서 잔류 산화제와 연료가 만나서 다른 하나의 확산화염을 형성하게 되고 이를 삼지화염(triple flame or tribachial flame)이라고 한다.