

열공학부문

이 글에서는 2005년도 한 해 동안 열공학 분야의 연구 동향을 대류 및 물질전달, 복사열전달, 공정열공학, 환경과 공해, 냉동공학, 연소공학, 마이크로 열공학, 수소 및 연료전지, 열기기 및 열교환기, 열시스템 제어 및 계측, 저온공학, 열역학 등으로 나누어 소개한다.

대류 및 물질전달

지난 2005년 한 해 동안 대류 및 물질전달 분야에서는 유체 분사 및 유체 충돌제트, 부착물을 이용하거나 표면의 형상을 변화시키는 방법, 덕트 내부의 형상변화 및 회전 등을 이용한 열전달 향상 기법에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 또한 나아가서는 가스터빈, 열교환기, 전자장비 냉각과 같은 응용 분야에서의 다양한 열전달 향상 연구가 활발히 이루어졌다.

우선, 유체의 분사를 이용한 막냉각 기법과 유체 충돌을 이용한 열전달 향상 연구를 살펴보면 다

음과 같다. 막냉각 기법을 이용한 연구는 계단형 슬롯 출구의 높낮이 변화에 따른 2차원적 막냉각 특성을 수치해석적으로 살펴본 연구가 수행되었다. 그리고 유체 충돌제트를 이용한 연구의 경우에는 두 평행 평면 충돌 제트에서의 간섭 효과에 대한 연구가 수행되었으며, 냉각 유체를 이용하여 구속된 충돌제트에서의 단상 및 비등 영역에서의 열전달 특성 고찰과 노즐 기를 이용한 열전달 향상에 대한 연구가 진행되었다. 또한 나프탈렌 승화법을 이용하여 초기 횡방향 유동이 존재할 때 충돌제트·유출 냉각 방법에서 원형 핀을 설치하여 국소

적 열·물질전달 특성을 연구하였으며, 또한 기존의 충돌제트 연구에서는 이루어지지 않았던 새로운 연구로서 충돌 제트에 자기장을 인가하였을 때 충돌제트의 거동에 나타나는 영향을 수치적으로 살펴보기도 하였다.

다음으로 부착물을 이용하거나 표면의 형상을 변화시켜 열전달 향상에 미치는 영향에 대해 살펴본 연구들은 다음과 같다. 부착물을 이용한 연구에는 역사다리꼴 형상의 핀을 이용하여 Biot 수 변화에 따른 핀의 효율변화 등을 알아보고 핀의 기울기, 핀의 길이가 각각 열손실, 핀의 유용성 그리고 효율에 미치는 영향에 대해

수치해석을 통해 살펴보았다. 한편 표면의 형상 변화를 이용한 방법으로는 나선형 홈을 판 경우 브레이크 디스크에서의 열전달 특성을 살피고, 이 경우 열탄성불안정성의 감소에 따라 디스크 표면의 이상 열 변형과 진동이 감소된다는 것을 확인하였다.

그리고 덕트 내부의 형상 변화 및 회전을 이용한 열전달 특성 고찰 및 향상에 대한 연구들은 다음과 같다. 우선 덕트 내부 형상의 변화를 이용한 연구에는 덕트 내부에 거친 표면의 벽면을 설치하여 압력 강하 및 열전달 특성에 미치는 영향을 살펴보았으며, 그 결과 매끈한 표면의 덕트에서보다는 거칠기가 설치된 표면이 많을수록 열전달 계수(Nusselt number)가 증가하는 것을 보여주었다. 그리고 덕트를 회전시키는 경우에 대한 연구에서는, 회전 사각 유로에서 유출량 변화에 따른 열전달 효과를 살펴본 연구가 수행되었고, 또한 곡관부를 갖는 내부 냉각유로에서 엇갈린 배열의 요철과 평행 요철을 각각 설치하였을 때의 회전수 변화에 따른 성능 특성을 살펴본 연구도 수행되었다. 후자의 경우 덕트 내부에 엇갈린 요철 배열을 함으로써 발생하는 이차유동, 곡관부를 지나며 생성되는 단와류 그리고 덕트가 회전함에 따라 발생하는 코리올리력 등의 복합적인 작용에 따른 열전달 현상을 알아보고, 회전수가 증가함에 따

라 1차유로, 곡관부, 2차유로에서의 전연면, 외연면에서의 열전달의 감소와 향상 특성을 각각 살펴보았다.

또한 자연대류를 이용한 열전달 특성에 대한 연구도 이루어졌다. 3차원 정육면체 캐비티 내에서 캐비티 기울기 변화 및 Ra 수(Rayleigh)가 내부 유동 및 열전달에 미치는 영향에 대해 고찰한 연구, 발열 전도체, 사각 전도체가 각각 존재하는 밀폐계 내부의 자연대류 현상에 대한 연구 등이 수치적 해석 방법을 통해 이루어졌다.

이 밖에도 가스터빈 블레이드, 열교환기, 전자장비 냉각 등 여러 열전달 응용 연구에 있어서도 많은 연구가 진행되었다. 환형 캐스케이드를 이용하여 고정된 블레이드와 슈라우드에서의 열·물질전달 특성을 살펴본 연구와 더불어 베인과 블레이드 사이의 상대 위치 변화에 따른 블레이드 끝단면과 슈라우드에서의 국소 열전달 특성을 각각 나프탈렌 승화법을 통해 관찰하였다. 후자의 연구를 통해서서는 블레이드 끝단면에서는 유동 박리의 재부착으로 하여 블레이드 표면 및 슈라우드에 비해 평균적으로 약 1.5배 열전달이 높다는 것을 확인하였고, 슈라우드에서는 유동의 가속, 재층류화, 난류로의 천이 및 누설와류에 의해 피치 방향으로 불균일한 열·물질전달 특성이 나타남을 보여주었다. 그리고 열교환기에서

의 응용연구에서는 수치해석을 통하여 원 내부원이 부착된 원형관 열교환기의 열·유동 최적설계 연구가 수행되었고, 또한 다양한 흰형상을 갖는 열교환기에서의 열전달 특성에 대한 연구가 이루어졌다. 특히 흰평판, 단방향 슬릿, 양방향 슬릿, 루버흰 등의 확대 형상과 이들을 조합한 조합형 흰에 대해서 공기측 열전달 및 압력강하 실험이 수행되었다.

전자장비 냉각에 대한 응용 열전달 연구로서 냉각에서의 마이크로 모세관 펌프 루프(CPL : Capillary Pumped Loop)의 수치 해석적 열성능 평가 연구가 이루어졌으며, 샌드 블러스터를 이용하여 전자장비 냉각에 사용될 수 있는 콘 형상 모세관을 이용한 CPL을 제작하고 성능을 평가하였다. 전자의 경우 액체관의 폭이 커질수록 전체 압력강하는 낮아지고 최대 열전달량이 증가함을 보였고, 후자의 경우에는 제작한 CPL이 체움률 30%, 높이차 7cm, 열전달 8,000W/m²일 때 최적의 구동을 얻으며, 최대 900W/m²의 열전달 계수를 얻을 수 있음을 보였다. 차후 마이크로 패키징 및 모세관 제작 기술의 향상에 따라 보다 개선된 냉각장치 제작이 가능할 것이라 예상된다.

또한 스트립 형태의 흰히트싱크의 엇갈린 배치와 냉각공기의 유동조건 변화에 따른 냉각특성 연구가 이루어졌다. 유입공기 속

도 변화에 따른 압력 강하 및 히트싱크 저항의 변화, 바이패스 유동의 유무가 열전달 특성에 미치는 영향, 그리고 최적의 흰 간격 및 높이에 대해 알아보았다. 그리고 또 다른 연구로서 스크린 메시를 사용하여 증기 유로 및 액체 유로를 형성한 판형 히트 스프레더를 제작, 사용 각도 및 작동 유체량에 대하여 입력전력 변화에 따른 열전달 성능 변화를 비교 분석하기도 하였다.

이 밖의 기타 연구들로는 초임계압 CO₂의 상향유동에서의 냉각에 대한 연구, 마이크로 스케일에서의 열평형 및 열전달 현상에 대한 연구 등이 이루어졌다.

[조형희, 연세대학교]

복사열전달

세계적으로 보아 복사열전달 연구의 초점은 첫째, 표면과 표면 간의 적외선 교환에 의한 열전달의 해석 방법 개발, 둘째, 매질이 적외선을 흡수, 방출 및 산란시킬 때의 열전달의 수치 해석법의 개발, 셋째, 복사열전달을 이용한 측정 및 역해석(inverse heat transfer analysis), 끝으로 실제 장치의 설계 및 해석에 응용된 복사열전달 해법으로 대별할 수 있다. 이중, 첫 번째의 분야는 상당히 다양한 기법들이 이미 제 자리를 잡아서 거의 대부분의 문제에 있어서 기존의 해법으로 충분히 빠르고도 정확하게 해석이

가능한 정도로서, 각종 공정과 기기의 해석에 널리 적용되고 있다. 이에 반하여 둘째의 문제는 아직도 개발의 여지가 많으며, 특히 다양한 형상, 격자계, 경계조건 등에 대하여 적용이 가능한 유동 및 대류(와 전도) 열전달의 해석 코드가 여럿 나타남에 따라 그에 걸맞은 격자 계에 적용이 가능한 복사 열전달의 해석법이 절실히 요청되고 있으며 2006년 현재로 보아 대략 서너 가지의 해법들이 제시되어 있는 상황이다. 2000년 이래로 복사 열전달에 있어서의 역해석의 문제가 본격적으로 다루어지기 시작하였는데, 이러한 배경에는 광학적 측정 이야말로 피측정계의 교란을 가장 최소화할 뿐 아니라, 많은 복사열전달 문제가 노, 보일러, 로켓 등 극단적으로 고온이거나 접근이 위험한 상황에서 제시되는 특성 때문이다.

국내의 복사열전달 연구 인력은 비록 그 숫자는 많지 않으나 연구의 질적 수준은 세계적인 선도그룹과 비교하여 손색이 없다고 할 수 있다. 다만, 각 연구자의 연구결과의 절반 이상이 해외에서 발표되기 때문에 국내 학회에 발표된 연구논문은 양적으로 빈곤하다고 보인다. 2005년도에 기계학회의 국영문 논문집을 통하여 발표된 복사열전달 관련 논문의 수는 총 여섯 편에 지나지 않음이 이러한 현실을 잘 반영하고 있다.

앞서 열거한 연구분야 중 두 번째의 분야에서 복사열전달에서의 유한체적법(finite volume method)을 임의의 제어체적(control volume)에 적용한 해석법이 제시되었다. 본디 복사열전달의 유한체적법이란 이전의 구분종 좌표법(discrete ordinate method)을 보다 엄밀한 포톤 보존식을 감안하여 다시 정리한 것으로 유한한 개수의 빛의 방향을 설정하고, 그 각각에 적절한 제어각(control angle)을 배정한 것이다. 그러므로 경우에 따라서는 하나의 제어각에 두 개 이상의 제어면이 포함될 수 있는데, 이 논문은 사각 및 삼각 제어체적에서의 제어각의 분할의 문제를 다루어 해석의 정확도를 검증하였다.

본 해석법은 별개의 논문에서 순산소와 천연가스의 연소반응을 해석하는데에 적용되어 그 타당성을 입증하였다. 한편, 복사열전달의 역해석 문제는 여러 가지 수학적 문제들을 제시하는데, 이러한 문제들을 다룬 논문도 하나 발표되었다. 역해석에 있어서 그 결과의 신뢰도는 각 파라미터에 대한 민감도가 얼마나 큰가에 달려 있는데, 민감도가 너무 작으면 그 문제가 '나쁘게 설정 되어(ill-posed)' 구한 값의 신뢰성이 매우 나빠지게 된다. 이러한 경우에는 역해석에 적용된 수치적 방법에 대단히 신중을 기해야 하는 바, 이 논문은 온도, 방사율 등의

여러 파라미터의 민감도를 공액 구배법(conjugate gradient method), 혼합형 유전 알고리즘(hybrid genetic algorithm)을 적용하여 찾아보았다. 또 다른 논문에서는 물질의 열확산계수를 측정하기 위해 여 시편을 복사열로 집중 가열하고, 그로부터 나오는 열복사를 측정하고, 그 데이터와 가장 잘 부합되는 시편의 열확산 계수를 수학적 해로부터 역으로 추정하는 방법을 적용하였다. 이 문제는 비정상 전도열전달과 매질이 투명한 경우의 복사 열전달이 공존하는 공액열전달(conjugate heat transfer)과 역해석이 결부된 것으로 역시 측정치의 신뢰도가 중요한 쟁점이 되어 그 방법의 적용 한계를 심도 있게 논의하였다.

복사열전달을 실제 문제에 적용한 경우로서 LCD 기판 유리의 공정에 있어서 그 온도의 균일도를 해석한 논문과 위성체내에서의 전장품의 발열과 냉각을 해석한 논문이 발표되었다. 두 경우 모두 중간 매질이 투명한 경우로서, 전자는 가열로 내의 여러 분할면적간의 형상계수(configuration factor)를 구하고 이로부터 각 면의 출사(radiosity)를 직접 구하는 전통적인 방법을 적용하였으며, 후자의 경우는 전자와 유사하나 상업적 코드를 사용하여 구한 것만 다르다. 이 두 가지 예는 복사열전달의 문제가 새로운 공학 분야에서도 많이 대두

되고 있음을 보여준다.

[송태호, KAIST]

공정열공학

2005년도 대한기계학회논문집, Journal of Mechanical Science and Technology(KSME I.J.)에 게재된 연구 보고서 중 공정열공학 분야로 분류 가능한 논문의 수는 총 17편이다. 당해 분야의 논문들을 관련 물리현상 및 응용분야의 측면으로 살펴보면, 주조 공정에 관한 논문이 6편, 화학증착공정이 1편, 레이저 용접공정이 2편, 에칭 공정에 관한 논문이 1편, 나노 패턴 공정에 관한 논문이 2편, 그리고 열처리공정, 급속열공정, direct writing 공정, CMP 공정 및 응용 아연도금 공정에 관한 논문이 각각 1편씩으로 매우 다양한 주제의 분포를 가진다. 주조공정과 관련해서는 주조공정에서의 유동 및 열전달과 상변화에 관한 해석적 연구가 수행되었다. 3차원 적응 격자 세분화(adaptive grid refinement)를 이용한 주조공정의 충전 해석 연구, 충전과정에서 생기는 자유표면 유동의 해석을 위해 개량된 SIMPLE 알고리즘을 이용한 연구 및 금속의 상변화 열전달 해석을 위해 개정된 등가비열법을 채택한 연구, 주조부의 상변화를 감안해 복잡한 형상의 mould(거푸집)에서의 열전달 현상 연구 등이 포함되어 있

다. 연속 주조 공정에서 나온 소재를 재가열해주는 가열로 내의 소재에 대해 이차원 총괄 열흡수율 계수를 추정하고 이를 이용해 이차원 소재온도 예측을 수행하고 실험과 비교한 연구도 보고되었다. 화학증착공정과 관련해서는 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 반응로에서 열접촉저항이 온도분포와 박막성장에 미치는 영향을 1차원 열전도모델과 3차원 CFD 계산을 이용해 조사한 연구가 수행되었다.

레이저 용접공정과 관련하여, 자유 표면 변형을 고려한 저 에너지밀도 및 고 에너지밀도 레이저 용접공정의 통합 해석이 수행되었으며 레이저 입사 에너지에 따라 전도용접으로부터 용입용접으로의 천이를 확인할 수 있었다고 보고되었다. 한편 굴곡을 갖는 금속의 표면 형상이 레이저 용융 풀에 미치는 영향을 수치해석을 통해 연구한 내용도 보고되었다.

에칭공정과 관련해서는 플라즈마 에칭 반응로에서 Monte Carlo 수치 모사해석을 통해, 저 밀도의 염소가스의 유동이 알루미늄 웨이퍼의 에칭율에 미치는 영향과 노즐 위치에 따른 유동장을 살펴본 연구가 보고되었다. 나노 패턴 가공과 관련해서는 자외선 레이저와 근계 주사 광학 현미경(NSOM : Near-field Scanning Optical Microscope)을 결합해 실리콘 웨이퍼

에 코팅된 CMPI(Chloro-Methylated Polyimide) 박막에 나노 크기의 패턴을 실험적으로 형성한 연구와 나노 복제 인쇄(nRP : nano Replication Printing)에서 복제된 패턴이 원래의 디자인보다 다소 커지는 현상을 보완하기 위한 알고리즘을 개발하고 실험을 통해 효용성을 확인한 연구가 보고되었다.

이 밖에도 LCD나 PDP와 같은 평판 디스플레이용 유리 패널의 제작 시에 적외선 복사 가열을 통한 열처리공정에서 진공로 벽면의 반사도가 패널의 온도분포에 미치는 영향을 수치해석을 통해 살펴본 연구, 펄스초의 극히 짧은 펄스 레이저로 실리콘 박막을 가열할 때의 열전달 특성에 대한 기본적인 연구, 미세 패턴 형성을 위한 direct writing 공정으로 대전 액체에 전기장을 가해 분무시키는 전기-수력학 프린팅 방법에 의해 알루미늄의 2차원 미세 패턴을 실험적으로 형성한 연구, Oxide CMP 공정에서 슬러리의 유동현상과 연마 입자의 거동 및 그루브의 역할 등에 대한 수치적으로 계산하고 실험 결과와 비교해 잘 일치하는 결과를 보인 연구, 연속식 용융아연도금 공정에서 끝단에 발생하는 과도금현상을 방지하기 위해 에어 나이프에 설치한 원통 실린더가 가스 유동에 미치는 영향을 살펴보기 위해 상용 코드인 Star-CD로 난류 유동을 계산하고 최종적

으로 용융아연두께를 구해 설치된 실린더가 단부 과도금 방지에 매우 효율적임을 확인한 연구 등 다양한 주제의 논문이 발표되었다. [방세윤, 동국대학교]

환경과 공해

환경오염은 황사, 산불, 화산 분출 등 자연재해에 해당되는 것도 있지만, 대부분 에너지 사용에 의한 인위적 요인에 의해 발생된다. 우리나라도 환경이 중요한 정책적 과제이므로, 환경문제를 전문적으로 연구하는 국립환경과학원, 환경정책평가연구원 등이 있고, 한국대기환경학회, 한국실내환경학회 등 전문학회들이 많이 있다. 최근 경유 자동차에서 배출되는 극미세입자가 중요한 이슈가 되고 있는데, 이 문제는 한국자동차공학회, 한국입자어로졸학회 관련자들이 다루고 있다. 그러므로 대한기계학회논문집에 투고되는 환경과 공해에 대한 논문은 매우 제한적이고 단편적이다. 또한, 투고되는 논문들은 대부분 연소와 관련되어 있다.

연소와 관련된 연구가 7편 발표되었는데, 실험적인 연구가 4편, 수치해석적 연구가 3편이었다. 실험적인 연구로는 비예혼합 화염에서 LII(Laser Induced Incandescence)를 이용하여 산소와 이산화탄소 농도가 매연(soot) 생성에 미치는 영향에 관한 연구, 다수의 상호작용 화염에

서 NO와 CO의 배출 특성 연구, 메탄/공기 층류 부분예혼합화염의 NOx 배출 특성 연구, 연소 시스템에서 발생하는 수은을 제어할 목적으로 수소 확산화염에서 TiO₂ 나노 입자의 합성에 관한 연구가 보고되었다. 수치해석적인 연구로는 연소 시스템에서 NO 배출량을 제어하기 위하여 사용되는 배가스재순환(FGR : Flue Gas Recirculation) 방식에서 배가스 희석에 의한 NO 배출량을 예측한 연구, 시분해 레이저 유도 백열법(TIRE-LII)을 이용하여 매연 입자의 크기를 예측하는 연구, 메탄-공기 예혼합화염에서 연화수소가 NOx 생성에 미치는 영향에 관한 연구가 보고되었다.

자동차 엔진과 관련된 연구가 2편 발표되었는데, HCCI 디젤 엔진에서 예혼합 연료와 EGR (Exhaust Gas Recirculation) 이 연소 및 배기 특성에 미치는 연구, 11,000cc 대형 디젤 엔진을 대상으로 오염물질 배출량을 감소시키기 위하여 바이오 디젤과 극저황함유 디젤(ULSD : Ultra Low Sulfur Diesel) 연료가 배출 특성에 미치는 영향에 관한 연구이다.

미세오염제어(microcontamination control) 분야로 컴퓨터 하드디스크에서 발생하는 입자의 샘플링 기법, 입자의 크기 분포 및 대전량에 관한 논문이 2편 발표되었다. 실내환경 분야로

학교건물을 대상으로 실내 공기 질과 관련하여 교실에서 학생들이 있을 때 환기량이 CO₂ 농도에 미치는 영향에 관한 실험적 연구가 1편 발표되었고, 열환경과 관련하여 강의실에서 냉방 부하에 따른 열쾌적성 평가지표의 비교 연구가 1편 보고되었다. 그 밖에 자연 및 강제 배기 시 터널에서 연기거동에 대한 실험적 연구가 1편 발표되었다.

환경과 공해는 응용 분야이지만 기계공학적인 전문 지식이 중요한 역할을 하고 있다. 환경 관련 국내 학회가 많이 있지만, 환경 문제를 해결하는 데 기계공학 지식이나 도구가 잘 사용되기 위해서는 기계공학을 전공하는 사람들의 환경에 대한 관심과 노력이 필요하다고 생각된다.

[배귀남, 한국과학기술연구원]

냉동공학

2005년도 대한기계학회 국문 및 영문 논문집에 수록된 냉동공학 분야의 연구 동향을 살펴보면 최근 심각한 에너지 위기를 고려하듯, 냉동 시스템의 에너지절약 및 성능향상, 타 산업에 비해 급속히 성장하고 있는 반도체사, 이동전화기 및 전자장비에서 발생하는 열을 효과적으로 처리하기 위한 냉각기술 개발, 그리고 냉동시스템의 심장부라고 할 수 있는 압축기 효율 및 성능에 대한 주제로 연구가 수행되었음을

알 수 있다.

냉동시스템의 에너지절약 및 성능 향상과 관련된 연구들은 소형 냉동 및 멀티에어컨 시스템에 자연냉매와 그 혼합냉매를 적용해 효율을 향상시키면서 대체냉매 적용을 위한 드롭인(drop-in) 테스터에 초점을 두고 있다. 그 중에서도 2001년도부터 연간 판매량 100만 대 이상으로 1조 원이 넘는 시장을 형성하고 있는 김치냉장고에 화학적으로 안정성이 우수하고 환경 친화적인 탄화수소계열 혼합냉매의 대체냉매 적용과 시스템 각 요소의 기술적인 접근에 의한 성능향상이다. 기존의 R-134a 대체냉매로 프로판(R-290)·이소 부탄(R-600a)의 혼합비 및 모세관의 관경을 변화시켜 최대 13%의 소비전력 절감 및 15%까지 냉동능력을 향상시켰다. 김치냉장고도 열펌프 및 가정용 냉장고와 마찬가지로 기존 시스템에 탄화수소계열 냉매 사용이 가능하나 오일교체와 더불어 가연성에 의한 위험성이 있기 때문에 냉장고 내의 온도 조절기, 간냉식 냉장고의 제상히터 등 점화원으로 작용할 수 있는 부품에 대한 설계 변경이 필요하다. 그리고 멀티 에어컨 시스템에 대한 연구로는 퍼지알고리즘을 이용해 냉매량, 실내기 및 실외기 오염 등의 고장에 대한 90%의 정확도를 가진 검진 및 진단 시스템을 개발하여, 앞으로 멀티시스템 에어컨의 실시간 고

장진단 가능성을 제시하였다.

첨단전자장비 냉각기술 개발은 이동전화기에서 발생하는 열의 냉각기술과 무선통신 기지국 등에 사용되는 전자장비 냉각기술에 대한 연구로 요약할 수 있다. 최근 선진국보다 비교우위의 기술 및 생산, 판매와 수출산업으로 급성장하고 있는 이동전화기는 장시간 사용 시 단말기의 발열로 인해 통화 중 끊김현상, 통화품질 저하와 제품의 수명 단축뿐만 아니라 인체의 안전과 직결되는 배터리 폭발사고가 국내외적으로 문제화되고 있다. 따라서 이와 유사한 제품들의 발열에 대한 냉각기술 개발은 이러한 문제점 해결을 중심으로 연구가 수행되었으며, 대표적인 것이 이동전화기 과열현상 방지에 관한 연구라고 할 수 있다. 즉, 단말기 내부에 PCM(Phase Change Material) 모듈을 장착하여 효과적인 냉각을 위한 타당성을 검토한 것으로서 PCM 재질의 선택, 통화 시 이동전화기의 온도상승 지연 및 감소 등에 대한 연구결과 등을 요약해서 나타내었다. 무선통신 기지국 등에 사용되는 전자장비 냉각 시스템의 연구로는 2중병렬 증발기의 2상순환형 열사이폰(thermosyphon) 성능 실험으로서 실험데이터와 기존 상관식과의 비교, 시스템 각 요소의 성능 및 동작특성, 불균등 열부하의 해결책에 관한 내용 등이다.

압축기 성능향상으로는 산업용

발전기, 항공기용 엔진, 터보냉동기, 그리고 마이크로 가스터빈엔진 및 연료전지를 이용하는 혼합형 가스 터빈 발전시스템 개발 등에 이용되는 원심압축기에 관한 연구 등이다. 냉동시스템의 소형화 추세에 따라 압축기도 소형화가 요구되므로 적은 유량에서 높은 압력비를 얻을 수 있는 원심형 압축기의 성능 및 안전운전에 관한 연구가 수행 되었으며, 이와 관련된 것으로는 압축기 회전수에 따른 실속발생, 실속과 서지와의 상호작용에 대해 나타낸 입구 비균일 유동이 원심압축기의 정상 및 비정상 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 연구와 허브코너 실속, 익단 누설유동 및 손실구조 등 3차원 수치해석으로서 유동현상 차이를 규명한 입구 경계층 두께가 축류압축기 내부 유동에 미치는 영향과 관련된 연구 주제 등이다.

이외에도 물 구동 이젝터의 진공탱크 내 물냉각에 대한 실험적 연구가 수행되었다.

[오종택, 전남대학교]

연소공학

지난 한 해 동안에 발표된 논문 중 엔진연소를 포함하여 연소공학 분야로 분류되는 논문은 대한기계학회논문집 B권에 27편과 Journal of Mechanical Science and Technology(KSME I. J.)에 16편으로

총 43편이 발표되었다. 대한기계학회논문집의 경우 제작년 의 37편과 비교하면 감소하였고, KSME I. J.의 경우에도 작년 32편에 비해 감소하였다. 논문의 내용은 화염 안정성에 대한 연구(총 12편), 유해물질(Nox, Soot) 저감에 대한 연구(총 5편), 순산소-EGR 연소법에 대한 연구(총 5편), 초소형 연소기에 대한 연구(총 3편), 디젤기관 연소에 대한 연구(총 9편), 가솔린기관 연소에 대한 연구(총 4편), 기타 연소에 관련된 연구(총 5편)가 발표되었다.

- 화염 안정성에 대한 연구(대한기계학회논문집 9편, KSME I. J. 3편)

우선, 화염 안정성 및 소화한계(extinction limit)에 대한 연구로, 상호작용하는 부분예혼합 및 비예혼합화염의 안정성에 대한 연구, 화염의 비정상적 거동이 소화한계 확장에 대한 실험적 연구, 정상 및 미소 중력장에서의 낮은 신장률에서의 소화한계 및 이에 미치는 다차원 유동 효과에 대한 연구, 그리고 화염 안정화 기구에 대한 연구로 부상화염에서 예혼합 화염과 삼지화염의 천이적 거동에 대한 연구가 보고되어 있다. 다음에 열음향(thermoacoustic) 불안정성에 대한 연구로 덤프 연소기에서의 혼합기 공급방식에 따른 연소 불안정성에 대한 실험적 연구, 가스 터빈 연소기를 대상으로 한 실험 및 수치적 연구, 로켓엔진을 대상으로 모델 연

소기를 이용한 연소 안전 범위 결정법에 대한 연구가 발표 되어 있다.

- 유해물질(Nox, Soot) 저감에 대한 연구(대한기계학회논문집 3편, KSME I. J. 2편)

유해물질 저감법에 대한 연구는 최근의 에너지 및 환경문제를 극복하기 위한 필수적인 연구 분야라 할 수 있으며, 이 유해물질 발생 및 저감법에 집중하여 연구를 수행한 논문으로 대한기계학회논문집에 3편, KSME I. J.에 2편 보고되어 있다. 구체적으로는 연소실 압력변동을 이용한 Nox 저감법, 부분 예혼합 화염 및 다수 상호작용 화염에서의 Nox 배출 특성에 대한 연구가 보고되어 있으며, KSME I. J.에는 배가스 회석법(공기축, 연료축)에 다른 NO 배출특성 및 확산화염의 산소 및 CO₂ 농도에 따른 매연 생성특성에 대한 연구가 발표되었다.

- 순산소-EGR 연소법에 대한 연구(대한기계학회논문집 4편, KSME I. J. 1편)

연료의 산화제로 공기를 사용하는 일반적인 개념에서, 공기 대신에 순산소 연소 혹은 산소 농도가 높은 산소부화 연소에 대한 연구가 대한기계학회논문집에 4편, KSME I. J.에 1편 보고되어 있다. 구체적으로, 순산소 연소기 개발을 위한 노즐 직경변화에 따른 화염 특성, 연료 및 산화제의 유속변화에 따른 연소특성, 순산

소-EGR 연소에서 재순환 물질인 CO₂의 열 및 화학적 효과에 대한 연구, 폐기물 순산소 연소시의 염화 탄화수소 화합물의 연소에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었다. 또한, 순산소 연소의 수치해석을 위한 순산소 화염의 화염면(flamelet) 모델에 대한 연구도 발표되었다.

- 초소형 연소기에 대한 연구 (대한기계학회논문집 3편)

MEMS 기술을 이용하는 새로운 개념의 마이크로 시스템에 필요한 동력 장치를 개발하기 위한 소형 연소기에 대한 연구가 대한기계학회논문집에 3편이 보고되어 있다. 구체적으로는 정적 연소기(constant volume combustor)의 초기 압력과 연료특성에 따른 연소속도 및 소염특성에 관한 연구, 마이크로 튜브(micro-tube) 연소기에서 열 손실에 의한 화염구조 및 화염거동에 대한 연구가 발표되었다.

- 가솔린기관 연소에 대한 연구(대한기계학회논문집 4편)

전 세계적으로 ULEV(Ultra low emission vehicle) 등과 같은 갈수록 강화되고 있는 배기규제에 대응하기 위한 연료 경제성이 뛰어나고 오염물질 배출이 적은 연소법 및 후처리법에 대한 연구가 대한기계학회논문집에 5편이 보고되어 있다. 구체적으로는 직분식 가솔린 엔진의 스웰 및 슬릿 인젝터의 분무특성, 포트 분사식 엔진의 연료 분사 시기에

다른 증발특성, 정적 연소기의 온도 및 압력에 따른 성층화 특성, 삼원촉매장치의 성능 향상을 위한 냉시동 시 배기밸브 타이밍 및 점화시기에 따른 배기가스의 온도 변화에 대한 논문이 발표되었다.

- 디젤기관 연소에 대한 연구 (대한기계학회논문집 3편, KSME I, J. 6편)

가솔린엔진 연구에서와 같이 강화되고 있는 배기규제에 대응하기 위해 디젤엔진의 높은 효율을 유지하면서 공해물질 배출을 획기적으로 감소시킬 수 있는 연구들이 발표되어 있다. 대한기계학회논문집에 발표된 논문은 구체적으로는 스파크 점화 기관과 압축 점화 기관의 결합이라 할 수 있는 균질혼합 압축점화기관(HCCI)에서의 연료 종류, EGR에 따른 엔진의 연소 및 배기특성에 대한 연구와 극초고압(3,000bar 이상) 디젤 분무의 충돌면 온도거동에 대한 연구가 발표되었다. 또 KSME I, J.에 발표된 논문은 구체적으로, 실제 엔진에서 여러 분사 인자가 분사 특성에 미치는 정략적 관계식의 도출, Common-rail 분사 시스템의 니들 반응에 따른 분사특성 연구, 고온 고압 용기에서 여러 분문인자에 대한 분무특성 연구, 충돌과 자유분무(impinging and free spray)의 구조해석을 통한 분무거동 연구, 디젤 분무의 혼합기 형성과정 등 주로 디젤기관의

분무특성에 대한 연구들이다. 하나는 중형엔진에서 biodiesel 및 저유황 디젤유의 배기 특성에 대한 연구가 발표되었다.

- 기타 연구

위 분류에 해당하지 않은 기타 연구로, 장대 터널의 자연 및 강제 배기 시의 연기거동에 대한 연구, 메탄-공기 예혼합 화염에서 연소 억제제인 염화수소의 역할에 대한 연구, 휘발성 탄화수소 물질의 측정 법인 GC-FID 시스템 개발에 대한 연구 및 수소 확산 화염에서 화염온도가 나노입자의 합성에 미치는 영향에 대한 연구가 보고되어 있다. 단, 작년의 경우에는 이 나노 입자와 관련된 연구가 7편 정도로 많이 발표 되었었다. [이창연, 인하대학교]

마이크로 열공학

2005년도에 수행되어 발표된 마이크로 열공학에 대한 연구는 마이크로 스케일 이하의 특성이 지배하는 현상에 대한 연구로부터, 거시적 이론을 바탕으로 하지만 연구대상 시스템의 크기가 매우 작은 마이크로·나노시스템 분야까지 망라하고 있다. 마이크로 스케일 현상에 대한 기본적인 사항은 2005년 이전의 연감과 기계저널 등을 통하여 소개되었기에 이 글에서는 생략하겠다. 위 기간 중 수행된 연구는 약 30여 편 정도 되는데, 이를 분류하면 분자동역학 시뮬레이션,

Fokker-Planck 또는 Lattice Boltzmann 이론을 기반으로 한 미세 시뮬레이션, 연속체 이론을 기반으로 한 수치해석 등의 이론적 연구, 미세시스템에서의 물성치 측정, 나노물질 제조공정 및 측정 등의 실험적 연구, 그리고 마이크로 믹싱, 전자냉각 등의 응용연구로 구분할 수 있다.

미세시뮬레이션에 대한 연구는 나노임프린트 리소그래피 공정 중 패턴 전사 중에 일어나는 PMMA 레지스트의 변형을 관찰하고, 스탬프와 레지스트 사이의 응착에 대한 연구와 MEMS 대상 마이크로 채널 내 액체의 열삼투 현상에 대한 연구로 분자동역학 시뮬레이션을 활용하였다. 그리고 연속체 이론을 응용하였지만 대상이 마이크로·나노 스케일인 연구는 내경이 mm급인 마이크로 튜브에서의 연소특성 해석, 극초단 펄스레이저가 입사된 실리콘에서의 phonon의 거동을 분석한 미세 열전도 특성 해석, CMP 공정에서의 슬러리와 연마 입자의 거동, 그루부의 역할 등에 대한 수치해석 등을 들 수 있다.

미세공정에 대한 연구는 전기방사법을 이용한 고분자 물질인 나노섬유 제조기법에 대한 연구와 EPS(Elementwise Patterned Stamp)를 사용한 광경화 나노임프린트 공정에서 발생하는 웨이퍼의 미소변형에 의한 결함 분석에 대한 연구를 들 수 있다. 이와 더불어 마이크로 나노 공정

중에 중요한 현상중의 하나인 혼합에 대한 연구도 다수 발표되었다. m-TAS(Micro Total Analysis System) 또는 LOC(Lab on a Chip) 등의 미세 유체공학 분석시스템의 혼합특성을 증가시키기 위한 Chaos 마이크로 믹서에 대한 연구, 마이크로 믹서에서의 비용해성물질의 혼합도를 예측하는 기법개발, Y-채널믹서에서의 장애물 배열구조와 그 크기에 의한 혼합 효율 특성 해석 등의 연구를 들 수 있다.

비교적 많은 연구가 수행된 분야 중 하나는 물성치 관련 연구로서, 미세 열 물성치를 측정할 수 있는 탐침제작에 대한 연구로 기존보다 훨씬 작은 탐침제작과 동시에, 높은 수율을 갖는 새로운 공정의 개발, TOP-SFM(Time of Flight Scanning Force Microscope) 개념에 바탕을 둔 화학성분 분석용 캔틸레버 개발, 나노 유체의 열전도율이 입자농도에 선형 비례하지만, 부유하는 나노입자의 크기에는 반비례함을 실험적으로 증명한 나노 유체 열전도 연구, MOCVD 공정 중 서로 다른 물질과의 열접촉 저항이 박막의 성장에 미치는 영향을 예측한 연구 등을 들 수 있다. 그리고, 마이크로 시스템에서 유동장과 온도장을 측정할 수 있는 m-PIV(Micro Particle Image Velocimetry)와 2색 LIF(Two-Color Laser Induced Fluorescence) 등도 연구 대상이었다.

마이크로·나노 열유동 특성이 지배하는 응용분야 중 가장 중요한 분야는 전자냉각(electronic cooling) 분야로 물성치 관련 연구와 더불어 많은 연구 결과가 발표되었다. PC에 내장되어 사용되는 광 디스크 드라이브에서의 유동 및 소음 특성 및 수치해석에 대한 연구, PCM 모듈을 장착한 이동전화기의 효과적인 냉각에 대한 수치해석, Polypropylene wick을 가진 소형 루프 히트파이프에 특성에 대한 연구, 고열전도율 저밀도의 흑연 폼(foam)을 활용한 thermo-syphon의 전자냉각 적용특성 연구 등을 들 수 있다.

그 외에도 나노입자제조 및 입자 특성 측정에 대한 연구로 수소 확산 화염에서 화염온도가 TiO₂ 나노 입자의 합성에 미치는 연구, 시분해 레이저 유도 백열법을 이용한 매연입자 크기에 관한 수치적 연구, 초음속 노즐을 이용한 금속나노입자 생성에서 이온핵의 영향에 대한 연구 및 이를 바탕으로 10nm급 금속입자 제조에 대한 연구, 입자 샘플러를 이용한 하드디스크 CSS 동작 시 발생한 입자 샘플링 및 분석에 대한 연구, 하드디스크 드라이브 동작 시 발생하는 입자 크기분포와 입자당 평균 대전량 측정 등의 연구를 들 수 있다.

[박승호, 홍익대학교]

수소 및 연료전지

2005년은 중국과 인도를 포함한 개발국들의 에너지 수요 급증과, 석유공급 불안 요소(중동의 정치 불안, 러시아의 석유 국유화, 에너지 투기세력 등)가 맞물린 가파른 유가급등으로 인해 대체에너지, 특히 수소 및 연료전지에 대한 요구와 관심이 더욱 증가하였다. 또한 2005년은 산업자원부 수소-연료전지 사업단의 1단계 사업 마지막 해로 기술개발 및 신뢰성 확보라는 목표를 달성하고 2단계 목표인 실증 적용 사업으로 넘어 가기 위한 마지막 준비를 끝낸 해이다. 세계적으로 고유가 및 에너지 부족이 지속되리라고 예측되는 상황에서 우리나라에 장기적인 수소경제 건설과 연료전지 상용화를 위한 기술적 대응책을 마련하고자 정부는 2005년을 수소 경제의 원년으로 선포하였다.

가격 경쟁력을 지닌 휴대용 연료전지는 상용화에 더욱 박차를 가하여, 주로 노트북을 겨냥한 직접 메탄을 연료전지의 시연 모델들이 삼성, LG화학 등 대기업에 의해 발표되었다. 2~3년 후를 상용화 시기로 보고 소형화 및 안정성에 중점을 두고 계속적인 연구가 이루어지고 있다. 흥미로운 사실은, 작동 온도가 높아 휴대용으로 사용하기 어렵다고 생각되던 고체산화물 연료전지의 소형화에 대한 연구가 탄력을 얻

고 있다. 부탄 가스를 직접 사용하는 휴대용 고체산화물 연료전지가 삼성 SDI에 의해 시연되어 가까운 시일 내에 상용화 계획에 있으며, 과학기술연구원, 에너지기술연구원 등의 정부출연 연구소에서도 연구가 진행되고 있다.

가정용 발전으로 쓰이는 개질기를 포함한 고분자막 연료전지는 지속적으로 생산비용을 낮추기 위한 노력이 계속되고 있으며, GS 퓨얼셀, 퓨얼셀파워 등의 회사가 자체 제작 기술을 확보하였다. 산업자원부에서는 연료전지로 발전과 난방이 가능한 친환경 에너지 주택을 건설하여 미래 고효율 주택용 시범보급 사업의 시작을 알렸다.

대형발전용 연료전지에 대한 개발은 한국전력을 중심으로 용융탄산염 연료전지의 운영을 통한 안정성 확보 및 기술 습득에 중점을 두고 있으며, 지속적인 대형화를 위한 노력을 하고 있다. 보령화력발전소에서 100kW급 용융탄산염 연료전지의 시운전 및 운영성능 평가를 시행하여 실증사업을 위한 준비를 하였다.

수송분야에서는 고분자막 연료전지를 이용한 연료전지 자동차에 대한 개발 노력이 가속화되고 있다. 연초에 현대-기아 자동차는 연료전지 자동차를 정부에 시승운전하였고, 자체 연구소 내에 수소 충전소를 건설하여 보다 상용화에 필요한 다양한 운영 경험을 축적할 수 있게 되었다. 또한

미국 캘리포니아 주의 버스 운행사에 투산 연료전지 자동차를 인도하여, 계속적으로 주행성, 연비, 내구성 등을 시험하게 된다.

전세계적으로 에너지 가격 외에도 원자재 가격이 급등하여 특히 촉매 등에 다량의 귀금속을 필요로 하는 연료전지의 상용화에 걸림돌이 되고 있다. 기술개발을 통한 극복이 절실히 요구된다.

[차석원, 서울대학교]

열기기 및 열교환기

2005년도 대한기계학회논문집에 게재된 열기기 및 열교환기에 관한 논문은 2상 유동 및 비등 9편, 열사이폰 및 히트파이프 7편, 단상 대류 촉진 2편, 기타 환-관 열교환기, 화올링 제어, 상변화물질 이용기술 각 1편으로 총 21편이다. 이 중 13편이 국문논문집에 게재되었고 8편이 영문논문집에 게재되었다.

우선 풀비등 관련 연구를 살펴보면 미세히터를 사용하여 단일 기포를 형성하고 이 기포의 성장 과정을 CCD 카메라로 기록한 기포성장에 관한 연구가 수행되었다. 벽면과열도의 영향도 검토되었는데 벽면과열도가 증가하면 기포이탈 직경과 이탈시간이 증가하고 대기시간은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 R-11과 R-113 혼합물에 대한 실험을 통하여 혼합물의 경우 순수물질보다 기포이탈반경과 이탈 시간이 감

소하고 벽면과열도가 증가함을 보고하였다. 단관 풀비등에 대한 실험도 수행되었다. 수평 단관 풀비등 시 원주방향의 온도를 측정하여 최대 열전달계수는 하부로 부터 45° 부근에서, 최소 열전달 계수는 최상부에서 나타남을 보고하였다. 또한 수직 환상공간에서의 비등 실험을 통하여 환상부에서는 기포 군집 효과에 의해 풀비등 시보다 열전달 계수가 현저히 증가됨을 보고하였다. 이외에 graphite foam의 풀비등 성능, 티타늄 재질의 평활관 및 낮은 환관의 풀비등 성능에 대한 연구도 수행되었다.

2상유동 및 흐름비등에 관한 연구로 R-123과 R-134a 순수 냉매와 혼합물에 대한 압력강화 실험이 수행되었고 이를 바탕으로 새로운 2상 마찰 곱셈자가 제안되었다. 또한 평활관 및 와이어 코일 삽입관에 대한 액체질소의 흐름비등 열전달에 대한 연구도 수행되었다. 액체질소의 경우 액막의 드라이 아웃이 낮은 건도에서 일어나 건도가 증가할수록 열전달 계수가 감소하는 경향이 나타났다. 와이어 코일을 삽입한 경우 코일의 직경이 크고 핏치가 작을수록 전열촉진 효과가 크게 나타났다.

열사이폰에 관련된 연구로는 그루브형 열사이폰에 있어서 그루브 형상의 영향, 작동유체의 영향 등이 검토되었다. 원주방향 흰갯수로 60개가 최적으로 나타났

고 이 형상의 열사이폰의 경우 평활표면에 비하여 전열성능이 2.2배 향상되었다. 또한 최적 액체 충전량은 대략 30%로 나타났다. 히트파이프의 경우는 그루브에 스크린 메시를 부착함으로써 전열성능을 향상시키는 방안, 환형부의 내면에서 증발하고 다른 면에서 응축하는 동심환형 히트파이프에 관한 연구, 직육면체 소듐 히트파이프의 등온특성에 관한 연구, 맥동형 히트파이프의 성능해석 등에 대한 연구가 수행되었다. 또한 소형 루프 히트파이프에서 폴리프로필렌 워를 사용하여 최대 6.5W/cm²의 열유속을 제어할 수 있었다.

한편 흰-관 열교환기에서 확대모형을 사용하여 루버흰과 슬릿흰의 전열성능에 대한 실험도 수행되었다. 이 연구에서는 조합흰(예를 들면, 1열은 루버흰, 2열은 슬릿흰)에 대한 실험도 수행되었는데 흰 형상의 적절한 조합을 통하여 전열 성능을 최적화할 수 있음을 보고하였다.

또한 촉매물질을 이용한 수처리를 통하여 화올링을 제어하는 연구도 수행되었다. 촉매물질을 사용할 경우 유속이 높고 화올링 매체의 이온 농도가 높을수록 화올링 저감효과가 증가하였다. 이외에도 PCM 상변화 물질을 이용하여 이동전화기의 발열을 제어하는 연구도 수행되었는데 PCM 모듈의 위치와 잠열재의 종류가 전열성능에 미치는 영향

도 검토되었다.

[김내현, 인천대학교]

열 시스템 제어 및 계측

열시스템 제어 및 계측 분야는 열에너지를 이용하는 복합기계시스템의 제어 및 제어에 필요한 계측에 관한 연구분야이다. 대한기계학회논문집에는 5편의 열시스템 계측 및 제어에 관한 논문이 발표되었고 대한설비공학회지에는 약 12편이 발표되었다. 대한기계학회논문집에 발표된 논문의 내용을 개략적으로 살펴 보면 다음과 같다.

온도 변화에 민감한 형광염료를 이용하여 마이크로 스케일 구조물의 표면 온도 분포를 측정하는 연구 기법이 발표되었다. CCD 카메라를 이용하여 촬영하였으며 온도 보정을 위하여 수치해석과 교정 실험이 수행되었다. 연구결과에 따르면 비간섭 방식으로 마이크로 스케일 구조물 표면에서 높은 정밀도의 온도 측정이 가능하다고 한다.

시스템 에어컨과 환기시스템이 설치된 강의실에서 냉방시 열쾌적성 및 실내 공기질에 관한 계측 및 수치해석결과와의 비교 연구가 발표되었다. 시스템 에어컨과 환기 시스템이 결합된 열환경 제어 시스템은 기존의 중앙 집중공조방식의 단점인 덕트 공사, 실별 제어 열악 등의 문제를 해결할 수 있고 모듈화된 패키지의

장점을 살려 건물의 증개축에 따른 설비의 가감이 용이한 특징이 있다. 이 연구는 시스템 에어컨과 환기 시스템의 풍량 및 풍향 변화에 대하여 열환경 및 공기질이 어떠한 영향을 받는지 열시스템의 민감도를 수치해석 및 계측을 통해 비교하고 제어를 위한 기초 연구결과를 제공 하고 있다.

퍼지 알고리즘을 이용한 시스템 멀티 에어컨의 고장진단 알고리즘 개발에 관한 연구가 발표되었다. 시스템 멀티 에어컨은 한 대의 실외기에 여러 대의 실내기가 연결되고 각 실내기별 다양한 열부하에 대응하여 냉매 순환량을 개별적으로 조절해야 하는 매우 복잡한 제어 알고리즘을 갖추고 있다. 따라서, 시스템의 이상 운전에 따른 원인 분석이 간단하지 않으므로 입출력 데이터가 정상 운전의 경우로부터 벗어나는 고장 상황을 퍼지 알고리즘으로 파악하고 제어기 또는 온라인 상에서 대처 하도록 하기 위한 고장진단 알고리즘에 관한 연구이다.

냉방부하에 따른 열적 쾌적성 평가지표의 비교에 관한 연구가 발표되었다. 온열감 정량지표인 PMV와 EDT(Effective Draft Temperature)의 비교 연구를 통해 특히 EDT가 열적 쾌적성을 평가하기 위해 타당한 지표인지를 관찰하였다. 연구결과에 의하면 습도, 일사에 의한 벽체 온도 영향이 큰 실내 환경에서는 EDT의 평가 지표능력이 현저히 저하

된다고 보고하고 있다.

온라인 웹기반 원전 터빈 사이클 열성능 분석 시스템 개발에 관한 연구결과가 발표되었다. 대형 열시스템의 원격 감시와 제어는 열시스템 계측 및 제어 연구분야의 중요한 주제의 하나이며 향후 많은 연구결과와 발표가 요망된다.

대한설비공학회지에 발표된 연구 주제는 주로 멀티형 열펌프 시스템 제어 알고리즘, 흡수식 냉난방기의 원격 감시 및 제어, 열환경 챔버의 PID 제어 등에 관한 내용이다. 구체적인 논문 제목을 살펴보면, 다입력변수를 사용한 멀티형 공조시스템 압축기와 전자팽창 밸브의 퍼지제어 알고리즘, 멀티형 공조 냉동시스템의 증발기 과열도 제어, 변속실외기팬을 사용한 텐덤형 냉방기의 과열도 제어에 관한 연구, 빙축열시스템의 제어를 위한 냉방 부하예측, 압축식열펌프의 제상 제어 특허기술분석, 연소실 분위기 압력 구배를 이용한 연소제어의 기초적 연구, 열환경챔버 제어를 위한 PID 튜닝기법 연구, 온도 성층측열조 가시화 및 실증분석에 관한 고찰, 웰빙시대의 실내환경제어, 텐덤형 냉방시스템의 압축기와 전자팽창 밸브제어, 흡수식 냉난방기의 원격 제어 및 모니터링 시스템 등을 열거할 수 있다.

대한기계학회 및 대한설비공학회에서 발표되는 열시스템 계측 및 제어 관련 논문은 주로 냉난

방 시스템에 관한 것으로서 이는 건축설비 시장 규모를 반영한 것이다. 냉난방 설비 제어와 관련한 최근 연구 주제는 멀티형 열펌프 시스템 제어에 관한 것이다. 멀티형 열펌프 시스템은 한 대의 실외기에 8대 이상의 실내기가 연결되고 각 실내기의 냉난방 부하에 대응하여 냉매 순환을 적절히 분배하는 최적제어 기술이 상품 경쟁력의 핵심기술이다. 멀티형 열펌프 시스템 냉매는 상변화 과정을 겪고 각 요소기에서 비선형 거동과 열용량에 의한 시간 지연 현상이 발생하기 때문에 동특성 모델이 어렵고 제어 알고리즘도 수 많은 입력정보와 제어 출력 변수들이 안정적 제어가 가능하도록 조합해야 하는데 아직은 현장 경험과 시행착오의 과정을 거쳐 개발되는 실정이다.

열시스템 계측 및 제어 분야의 발표 논문 수가 적고 연구활동이 저조한 이유는 제어 대상 플랜트가 열 시스템인 관계로 열공학 분야에 속해 있으나 열공학 전공자들의 대부분이 주된 연구 목적인 제어 알고리즘 설계 및 제어기 프로그래밍 등의 자동제어 또는 메카트로닉스 전공 분야에 취약하기 때문으로 판단된다. 현재 산업 현장에서는 멀티형 열펌프 시스템 등 복합 열시스템의 제어 알고리즘 설계 및 프로그래밍은 주로 전기 및 전자 공학 전공자가 수행하고 있는데 이들은 PID 등의 전형적인 제어 알고리즘 이

해 및 프로그래밍은 가능하나 해당 열시스템의 동특성 파악 능력이 취약한 관계로 보다 창의적이고 혁신적인 제어 알고리즘 설계보다는 기본적인 PI 제어 루틴을 케스케이드(cascade) 형식으로 연결하여 다입력 다출력 제어 시스템을 구성하고 현장에서의 문제점을 시행착오 방식으로 해결해가는 접근 방법을 취하고 있다.

열시스템의 성공적 제어를 위해서는 열공학 전공자가 열시스템의 동특성을 정확히 모사하여야 한다. 구성된 동특성 모델을 시뮬레이션하면서 에너지 소비 최소화와 빠른 응답 속도를 확보하기 위한 제어 입출력 변수의 최적 선정 및 제어 시뮬레이션을 통한 성능 검증 과정을 연구영역으로 넓혀야 한다. 미래의 열공학 분야는 각종 대체 에너지 개발과 이를 응용한 복잡한 열 시스템을 개발해야 하는 추세인데 복잡한 열시스템을 최적으로 운전하게 하는 핵심기술이 열시스템 제어 기술이다. 이를 위해서 열공학 분야는 동특성 모델링을 위한 학문적 토대를 개척해야 하여 복잡한 열시스템의 동특성을 쉽게 모사할 수 있는 기반을 마련해야 한다. 학생들에게는 열시스템 모델링에 기반한 가상 실시간 시뮬레이터를 PLC(Programmable Logic Controller)와 같은 범용 제어기와 인터페이스하여 자신이 생각하는 제어 알고리즘을 적용하면서 차차로 최적 제어 알고리

즘을 찾아나가는 학문적 논리체계를 개발해 나아가야 한다.

동특성 모델링을 위한 학문체계는 열역학, 열전달 및 자동제어 전공분야를 통합하여 대표적인 열시스템 요소기기에 대한 모델링 기법을 확립하는 것이다. 예컨대, 증발기, 응축기, 압축기 등에 대한 모델링 연구 논문 발표가 필요하다. 이와 유사한 노력이 시도된 상용 프로그램이 TRNSYS인데 해당 프로그램은 Fortran 언어로 작성되어 다른 프로그램들과의 인터페이스가 용이하지 않다. C++ 기반으로 각 요소기기를 클래스(class)화하여 연구결과가 발표된다면 활발한 토론을 통하여 같은 분야 연구자들이 공감할 수 있는 보편적 모델의 완성이 가능하고 같은 모델 소스를 공유함으로써 연구의 시너지효과를 기대할 수 있다. C++로 작성된 프로그램은 물성치 계산을 위한 대표적 상용 프로그램인 NIST의 Refprop 프로그램과 인터페이스가 가능하여 요소기기를 통과하는 유체의 열역학 상태의 정확한 연산이 가능하다.

열유체 시스템은 열용량 내 열 에너지 축적과 방출에 의한 시간 지연이 있는 비선형 일차 시스템들의 복합적 거동이므로 수학적 해법으로 최적 제어 알고리즘을 찾는 것은 어렵다. 실제로 구현된 알고리즘들은 주로 PI 제어기로 구성하되 비선형성이 강한 부분

은 퍼지제어를 적용하거나 운전 부하 등에 따른 동특성 변화에 대응하여 PI 계수들을 적정 값으로 자동 조정하는 게인 스케줄링(gain scheduling)이 주로 사용되고 있다. 이러한 제어 알고리즘의 구성은 주로 창의적 아이디어에 의존하는 측면이 많은데 앞으로의 연구에서는 동특성 모델을 근거로 최적의 입출력 변수를 찾고 최소의 에너지 비용과 빠른 응답을 확보할 수 있는 제어 로직 구성 방안에 대한 체계적인 연구결과가 국내 연구진들에 의해 많이 발표될 필요가 있다. 이러한 열시스템 계측 및 제어의 응용분야로서는 연료전지, 대체에너지 응용 시스템, 가스터빈, 각종 열공정 플랜트, 반도체 공정 등 무수히 많으나 열역학 전공자와 자동제어 전공자가 각각 분리되어 연구하는 관계로 시너지효과를 기대하기 어려운 실정이다. 이 분야의 발전을 위해 열역학과 자동제어를 함께 전공하는 연구자들의 육성이 필요하다.

[신영기, 세종대학교]

저온공학

먼저 최근에 이루어진 상온 냉동 분야의 연구들은 주로 대한설비공학회 논문집에서 볼 수 있는데, 냉동기와 관련된 연구로서 대체 냉매를 이용한 냉동기에 대한 연구, 시스템형 냉동 공조 시스템에 대한 연구, 재생에너지를

이용한 냉난방 시스템에 대한 연구로 크게 나눌 수 있다. 대체냉매를 이용한 냉동기에 대한 연구 동향을 보면, R22의 대체냉매인 HFC 계열의 R-410A 임계 영역 운전 조건에서의 오리피스 성능 특성에 관한 연구, NH₃ 냉동 장치 소형화를 위한 Shell and disk type 열교환기 적용에 관한 연구, 탄화수소계 냉매 (Propylene, Propane, Iso-butane, Butane, DME)의 풀비 등 열전달 상관식에 대한 연구, HCFC22 대체 R290, R1270 및 R1270/R290, R290/HFC152a, R1270/R290/RE170 혼합 냉매의 공기조화기와 열펌프 작동 범위에서의 성능 평가에 대한 연구 등이 이루어졌다. 또한, 이산화탄소와 프로판 혼합 냉매의 혼합 비율에 따른 냉방 특성 실험 연구도 흥미로운 결과를 도출하였다. 시스템형 냉동 공조 시스템에서는 멀티형 공조 시스템 압축기와 전자팽창 밸브의 제어 알고리즘 개발(실외 온도, 실내기 사용대수, 실내온도, 실내온도변화를 변수로)과 시스템 에어컨 진단 목적으로 운전 상태에 따른 냉매 충전량 감지 알고리즘 개발이 두드러진 연구 동향이다. 또한 재생에너지를 이용한 냉난방 시스템에 대한 연구로서는, 재생에너지원으로서의 지열-태양열원과 가스 보일러를 함께 이용하는 실내 냉난방 및 급탕 복합 시스템에 관한 연구(청정 에

너지원의 복합 이용 가능성을 평가하기 위해서 태양열은 축열조에 저장되어 급탕 부하만을 담당하고 실내 냉난방과 일부 부족한 급탕부하는 지열원 히트펌프와 가스 보일러가 담당하도록 시뮬레이터를 설치 운용하여 복합 시스템의 가능성을 평가)가 이루어졌다.

저온공학 또는 저온 냉동 분야에서의 연구는 주로 기계학회의 논문집 보다는 대한 설비공학회 또는 한국초전도저온공학회의 논문집에서 볼 수 있는데, 대체로, 첫째 BSCCO 도체인 고온 초전도 시스템의 응용과 관련하여 자기장이 센 경우에는 20~30K, 자기장이 약한 경우에는, 60~70K으로 냉각을 하는 시스템에 대한 연구, 둘째는 저온 초전도체를 초유체(superfluid) 헬륨으로 냉각하기 위한 냉동 시스템에 대한 연구, 셋째는 G-M형 또는 스텔링형의 펄스 튜브 냉동기, 소형 스텔링 냉동기, 소형 Joule-Thomson 냉동기에 대한 연구, 넷째는 우주 개발과 관련하여 헬륨 가스를 이용한 액체 산소의 분사 냉각 및 고밀도화 연구 등이 두드러지게 보인다. 특히 21세기 프론티어 사업을 통해서 고온 초전도 시스템의 실용화로서 초전도 케이블을 아냉(sub-cooled) 질소로 냉각하는 시스템에 대한 연구, 일체형 스텔링 냉동기의 설계, 제작 및 성능 특성에 관한 연구, 고자기장 자석

을 위한 밀폐형 냉각 시스템으로서 4.2K에서 예냉을 하고 1.8K에서 0.5W의 냉각 성능을 보이는 시스템에 대한 설계 연구, 과냉 액체 질소 내의 열전달현상 연구 등이 작년 한 해 동안 이 분야에서 구체적으로 이루어진 연구라고 할 수 있다. 예년과 같이 국내에서는, 초전도 기술의 응용과 관련해서 KSTAR(Korea Super-conducting Tokamak Advanced Research) 및 21세기 프론티어 사업을 통해서 초전도의 원천 기술인 극저온 냉동 기술에 대한 관심이 고조되고 있고, 이와 관련된 연구 내용이 계속 보고되고 있다. 한국항공우주 연구원에서는 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 실험 장치가 현재 구축되고 있다. 극저온 Joule-Thomson 냉동기에 사용 되는 혼합 냉매 개발은, 과거 LNG(Liquefied Natural Gas) 생산 설비에서 시발된 후, 좀더 효율적인 극저온 냉동기를 단순한 방법으로 제작하기 위하여, 꾸준한 연구가 진행되고 있다. 이와 관련된 연구 분야로서는 증발된 LNG를 재액화하는 시스

템, 극저온 수술기구(cryosurgery or cryoablation) 등이 있으며 향후 극저온 혼합 냉매 시스템 및 기초 열전달 특성에 대한 더 많은 연구 개발과 응용이 기대되고 있다. [정상권, KAIST]

열역학 및 열 물성치

2005년 열역학 분야에서는 열 시스템 해석과 모델링 연구가 다수 수행되었으며, 열물성 분야에서는 냉매의 전달 물성에 대한 연구가 주로 이루어졌고 각종 물질의 물성치 측정에 관한 기초 연구가 진행되었다.

열역학 분야에서는 열사이폰, 연료전지, 냉동냉방 시스템, 건조기, 스텔링 엔진 등 열시스템에 대한 연구가 많이 수행되었으며, 열 해석 모델링 연구가 이루어졌다.

폐열회수, 태양열 이용, 전자장비 냉각 등에 활용될 수 있는 열사이폰에 관한 연구로서, 직선 그루브와 나선 그루브가 있는 열사이폰에서 열전달 성능을 다양한 실험 변수를 바꾸어가며 비교하여 열사이폰 작동에서 중요한 인자가 액층전비와 경사각, 그루브 형상이라는 것이 파악되었다. 나선 그루브형 열사이폰의 응축 및 비등 열전달 특성에 대한 실험이 작동 유체로 물, 메탄올, 에탄올을 사용하여 각각 수행되어 그루브 수, 작동유체 질량, 작동유체의 선택이 열사이폰의 운전 성능을 좌우함이 파악되었다. 그

외에도, 높은 열전도도와 낮은 밀도가 특징인 흑연폼 열사이폰 증발기 및 2개의 증발기를 병렬 연결한 열 사이폰의 실험을 통하여 작동상의 문제점이 파악되었고 각종 변수가 성능에 미치는 영향이 조사되었다. 고체산화물 연료전지(SOFC)의 동적 성능 해석을 위한 열역학 시뮬레이션 모델이 제시되었고, 전기와 열을 동시에 생산하는 복합 시스템인 가압형 고체산화물 연료전지 가스터빈 하이브리드 시스템에서 셀 입구 예열 방법에 따른 성능 해석이 수행되었으며, 총 시스템 파워 수준이 같은 두 종류의 자동차용 PEM 연료전지 시스템의 특성 비교가 이루어졌다. 냉동냉방 시스템에 대한 연구로서, R22와 R23을 사용하는 초저온용 다단 캐스케이드 냉동 시스템에서 저압단 압력이 전체 온도 특성에 미치는 영향이 실험으로 파악되었으며, R134a의 대체냉매인 R290·R600a 혼합물을 사용하며 3개의 증발기와 1개의 압축기가 있는 김치냉장고의 성능이 조사되어 R134a 시스템과 비교되었고, 강의실 냉방부하를 제거하기 위하여 천정형 4-way 카세트 에어컨을 설치한 경우와 팬코일 유닛(FCU : Fan Coil Unit)을 설치한 경우 각각에 대하여 실험과 수치 해석 결과를 바탕으로 기류 분포 성능지표와 온열쾌적지표를 조사하여 재실자가 느끼는 열적 쾌적성이 분석되었고 두 가지 지

표가 비교 평가되었다. 이동전화 과열현상에 대한 방지책으로 단말기 내부에 PCM 모듈 장착을 통한 효과적인 냉각 타당성이 3차원 수치해법으로 해석되었다. 이 외에도 사이클론형 건조기에서의 건조공정이 실험을 통하여 파악되고 에너지 분석과 액서지 분석이 수행되었으며, 자체 연속회전운동 실현을 목표로 하는 저온도차 모형 스텔링 엔진의 작동 실험 결과와 모델(SAM)에 의한 계산 결과가 분석되었다. 한편, 열해석 모델링에 대한 연구로서, 정지궤도 위성 전장품의 열설계 검증을 위한 최적 열해석 모델링 방법이 개발되어 실제 설계 및 해석에 반영되었으며, 온라인 웹 기반 원전 터빈 사이클 열성능 분석 시스템이 개발되었다.

열물성 분야에서는 순수 냉매 및 혼합 냉매의 열전달 및 압력강하 특성에 관한 연구가 활발하게 수행되었다. 또한 재료의 열확산 계수, 유체의 음속 및 열전도율, 혈액의 점도 등의 물성치 측정에 관한 연구가 이루어졌다.

순수 냉매에 대한 연구로서, R134a에 대하여 티타늄 평활관 및 전열촉진관에서 재질의 특성(열 전도도, 두께, 표면거칠기, 표면의 미세현상 등)과 표면 상태가 관외측 풀비등 열전달 성능에 미치는 영향이 보다 미시적인 관점에서 파악되었다. 프로필렌(R1270), 프로판(R290), 이소부탄(R600a), 부탄(R600),

DME(dimethylether, RE 170), HFC32 등 가연 냉매의 외부 응축 열전달 계수를 낮은 흰 관과 Turbo-C 관 등 축진 관에서 측정하고 HFC22의 경우와 비교하여 대체냉매를 사용하는 에너지 고효율 칠러의 설계에 활용하도록 하였다. 혼합 냉매에 대한 연구로서, R410a와 R407c에 대하여 수평평할 미니채널에서의 압력 강하와 비등열전달 계수가 실험으로 파악되었다. R134a와 R123의 혼합물 및 순수 성분에 대하여 수평관에서 압력 강하와 2상유동 패턴 사이의 관계가 실험을 통하여 파악되었으며 새로운 상관식이 제안되었다. 또한 R11과 R113의 혼합물에 대하여

등온벽 조건에서의 포화 풀백비 등 특성이 연구되어 최소 열전달 계수 특성과 열전달 계수 감소 원인이 파악되었다.

각종 물질의 물성치에 대한 연구로서, 재료의 열확산 계수 결정을 위하여, 축대칭 원통형 모델을 이용하고 재료 중앙을 순간 가열하였을 때 전면에서의 시간에 따른 온도이력을 이용하는 광열복사법(photo-thermal pulsed radiometry method)의 이론적 온도 해석과 측정 방안이 제시되었다. 유체의 음속에 대한 연구로서, 2원자 기체인 공기에 격자 BGK 모델을 적용하여, 썩기에 충돌하는 2차원 제트에 의해 생성되는 edgetone의 발생이 모

사되었다. 다양한 크기의 알루미늄(Al_2O_3), 산화아연(ZnO), 이산화티타늄(TiO_2) 나노입자를 물과 에틸렌 글리콜에 혼합한 나노유체의 열 전도율을 탄탈럼 열선을 사용하는 비정상 열선법(transient hot-wire method) 측정 장치를 이용하여 넓은 범위에서 측정하여 고열전도율을 갖는 나노유체를 구현하려는 연구가 수행되었다. 또한 혈액의 점도에 대한 연구로서 레이저 전송 기법과 슬릿형 유변물성 측정기를 이용한 적혈구 응집 지표, 레이저 자동 회절계(回折計, diffractometer)를 이용한 적혈구 변형성 등이 측정되었다.

[박경근, 국민대학교]

기계용어해설

겉보기질량(Apparent Mass)

구조물의 진동이 인체로 유입되는 진동량 또는 진동에너지에 대한 주파수 특성을 나타내는 것으로서, 인체 모델링 또는 진동의 불편함을 예측하기 위한 자료로 활용된다.

페달 암의 강성시험(Stiffness Test of Pedal Arm)

페달 암의 개발 단계에서 운전자가 답변부에 하중을 가할 때의 강성을 보장하기 위한 시험이다. 페달 답변부에 수직 및 횡방향으로 하중을 가하여 답변부 중앙에서의 변위를 측정하게 된다.

회전유동계수(Angular Bulk Flow Coefficient)

엔진의 흡기시스템을 통해 연소실로 들어오는 공기의 거시적 회전유동특성을 대표하는 계수

회전토크(Angular Torque)

엔진의 흡기시스템을 통해 연소실로 들어오는 공기의 거시적 회전유동에 의한 토크 값

스웰유동(Swirl Flow)

흡기시스템을 통해 엔진의 연소실로 흡입되는 공기의 회전유동 특성 중 실린더 중심축과 일치한 방향으로 회전하는 성분