

열공학부문

부문위원장 : 김 상 수(한국과학기술원, 교수)

2001년도 열공학 관련 분야에서 수행된 연구 활동을 대류 및 물질전달, 복사열전달, 연소공학, 환경과 공해, 열 시스템 제어 및 계측, 공정 열역학, 열역학 및 열물성, 열기기 및 열교환기, 냉각 및 저온공학으로 분류하여 아래와 같이 정리하였다.

대류 및 물질전달

대류 및 물질전달 분야 연구는 2000년에 수행된 연구의 연속선상에 2001년도의 연구도 수행되었으며, 실험적인 연구들이 주로 이루어졌다. 보고된 연구들 중 강제대류, 자연대류, 비등열전달, 그리고 기타분야 등에 대해 정리하면 다음과 같다.

강제대류에 대한 연구로는 고온기기 부품의 냉각방법인 충돌제트와 막냉각에 관련된 실험적 연구들이 많이 이루어졌으며, 실험방법으로는 액정기법이나 열/물질전달 상사성을 이용한 나프탈렌 승화법이 주로 사용되었다. 기본적인 단일 충돌제트 연구로

다양한 Mesh Screen을 이용하여 충돌 유동구조 변경에 따른 열전달 특성 연구나 맥동이 존재하는 경우에 축 대칭 충돌제트에 대한 열전달 특성 연구가 보고되었다. 완전 발달된 난류 원형 제트가 평판에 충돌하는 경우로 제트 레이놀즈수, 노즐 출구와 충돌 벽면간의 무차원 거리, 노즐 출구 벽면의 두께의 변화가 충돌 영역과 벽면 제트의 난류 유동장 구조에 미치는 영향에 대해서도 연구가 수행되었다. 충돌판 앞에 설치한 사다리형 로드 배열에 의한 열전달 촉진 효과나 Pedestal 형상의 칩 냉각 방법으로 충돌제트를 사용한 연구들도 보고되었다. 슬롯형 제트와 원형제트의 열전달 특성을 비교한 연구도 이루어졌으며, 원형제트의 노즐과 평판충돌면 사이에 다공질판을 삽입된 경우에 대한 열전달 연구도 이루어졌다. 수치적인 방법을 통해 경사진 충돌제트에서 모델을 이용하여 충돌면까지의 거리, 노즐의 경사각의 변화에 따른 유동 및 열전달 연구가 수행되었다. 실제적인 충

돌제트 냉각방법 적용에 대한 연구로는 충돌전후에 인접한 제트간의 상호작용이 고려되는 배열 충돌제트 연구들도 진행되었다. 배열 슬롯제트에서 노즐과 충돌면까지의 거리, 노즐간의 거리와 같은 형상변화 이외에도 분사판의 유출홀 존재유무에 따른 충돌면에서의 국소 열/물질전달 특성을 관찰한 연구가 진행되었다.

막냉각에 대한 연구로는 평판 막냉각이 아닌 반원형 모델을 이용하여 분사홀의 형상과 분사각 변화에 대한 연구가 수행되었고 반대방향의 방향각을 갖는 2열 분사구조의 막냉각 특성 연구로 분사형상 및 상류홀과 하류홀의 상대적 배열에 따른 영향 등이 다루어졌다. 경계층 와류의 존재 유무에 따른 막냉각 성능 변화에 대한 연구로서 전방 확장홀인 경우에 대해 수행되었으며, 단순분사각을 가지는 경우에도 연구가 이루어졌다. 2차원 슬롯 막냉각의 분사비-분사각도의 따른 유동의 구조와 특성 및 막냉각 성능을 규명하기 위해 유동의 가시화 실험

과 수치해석 방법이 이용되었다. 또한 막냉각이 이루어지는 표면에 국한되지 않고 비대칭 입구조를 갖는 막냉각홀 내부에 대해서도 유동 및 열전달 현상에 대한 연구가 수행되었다.

내부관에서의 강제대류에 관한 연구들도 계속적으로 진행되었다. 난류성분 촉진을 위해 설치된 다양한 연속 및 단락 요철 배열과 형상 이외에도 다양한 레이놀즈수의 변화에 대한 국소 열/물질 전달 특성 및 곡관부의 형상변화에 대한 곡관부와 곡관부 이후 2차유로에서의 열전달 특성에 대한 연구도 이루어졌다. 주유동 맥동과 경계층 외류의 상호작용이 내부관 벽면 열전달에 미치는 영향도 연구되었다.

그밖에도 터빈 블레이드 말단과 슈라우드 사이의 간극 변화 및 난류강도 변화에 대한 열전달 특성 연구가 이루어졌으며, 가스터빈의 제1단 동익 끝벽의 냉각시스템 설계를 위해 터빈 익렬 끝벽에서의 열전달 계수를 구하는 연구도 수행되었다. 또한 음향여기에 의한 2차원 후방계단과 공동내의 유동 및 열전달특성 연구도 이루어졌다. 실제적인 시스템 적용에 대한 연구로 경사진 채널 밑면에 탑재된 모사모듈의 혼합대류열전달 특성 연구나 대류와 전도열전달을 이용한 전자부품의 냉각특성 수치해석도 이루어졌다. Lumped Capacitance 방법을 이용한 환-관 열교환기의 정량적인 국소 대류열전달 계수 측정 실험 등도 수행되었다.

자연대류에 관한 연구로서는

수평 환형 내에서의 자연대류 유동의 천이에 대한 수치적 연구가 수행되었다. 단순형상이 아닌 안내관을 가진 사각 및 평행사변형이 조합된 복잡한 형상에 대한 자연대류 열전달에 관한 연구나 저주파수 벽면 가진에 의한 밀폐공간 내부 온도장의 공진 특성 실험도 수행되었으며, 주기적인 측벽의 온도진동과 균일한 발열이 존재하는 밀폐공간에서의 자연대류에 관한 연구등도 다루어졌다.

비등열전달에 대한 연구들을 살펴보면 작년에 비해 다양한 실험적 연구들이 이루어졌다. 환상공간이 긴 경우에 대한 풀비등 열전달현상 연구나 미세 수평 사각유로나 수직 유로에서의 비등 열전달에 대한 실험이 수행되었다. 미세공동의 크기가 전열촉진관군의 강제대류비 등에 미치는 영향이나 이력현상이 물의 풀비등에 미치는 영향에 대해 연구가 이루어졌으며, 미세 충돌제트의 대류비등에 대한 국소 열전달 측정이 수행되었다. 또한 핵비등에서의 기포거동에 관한 수행된 수치적 연구도 보고되었다.

기타 분야에 대한 연구들로는 그루브형 마이크로 히트파이프의 열전달 특성 대한 연구나 그루브-스크린 복합위를 갖는 평판형 히트파이프의 열성능에 관한 실험적 연구들이 이루어졌다. 유효 열전도 계수비가 작은 다공성 채널 내의 입구영역에 대한 대류열전달현상을 해석하기 위해 Two-energy Equation 모델을 사용하여 수치해석한 결과 등이 발표되었다.[조형희, 연세대학교]

복사열전달

복사열전달 분야의 연구에서는 연료의 연소과정에서 발생하는 가스 성분에 의한 흡수특성을 다루는 데에 많은 연구자들의 관심이 집중되었다. 그리고 이러한 흡수 특성을 고려하여 여러가지 응용 분야에서 복사열전달이 미치는 영향을 분석한 바 있다.

가스 성분들의 흡수특성에 대한 연구로서 기존의 Hottel 흡수율 도표를 대신할 수 있도록 비회색가스에 대한 흡수 특성의 계산 모델을 연구한 결과가 발표되었으며, 비회색가스에 대한 회색가스 가중합 근사법에 대한 연구등과 같은 가스의 복사 특성에 대한 연구가 진행된 바가 있다. 복잡한 복사 물성을 고려하여 복사열전달을 해석한 연구 결과들도 발표되었으며, 이러한 내용의 연구로서는 3차원 육면체 내부의 비회색가스 복사에 대한 기준해 연구 및 정반사(specular reflection) 표면이 있는 2차원 정 사각형 공간 내에서의 복사열전달 해석 연구 등과 같은 해석 결과의 발표가 있었다. 또한, 복사열전달의 응용 연구로서 확산 연소 화염에 미치는 복사열전달의 영향 및 NO 생성에 미치는 복사열전달의 영향 등에 대한 수치 해석적 연구가 수행되어 논문이 발표되었으며, 그리고 복사열전달이 고체 연료의 연소속도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 수치 해석적으로 구한 결과와 실험적으로 측정된 결과를 서로 비교하는 연구도 수행되었다. 그리

고 복사열전달의 측정 연구로서 실제 발전용으로 사용되고 있는 대형 미분탄 보일러의 연소실 출구 면에서 물로 냉각되는 계측 센서를 이용하여 복사 열유속 및 복사 강도를 계측한 결과도 발표되었다.[김태국, 중앙대학교]

연소공학

연소공학 분야의 연구는 편의상 기초연구와 응용연구로 분리하여 기술하고자 한다. 기초연소공학 연구분야는 층류 및 난류화염장, 분무 연소과정에 대한 기초 이론 및 실험, 그리고 모델링분야에서 주목할 만한 연구활동이 있었다. 층류화염 분야에 대해서는 대향류 비예혼합 화염 및 동축류 제트화염에 대하여 공해물질(NOx, Soot) 생성 및 환원 메커니즘에 대한 실험 및 해석, 와동이 화염구조, 화염안정화, 그리고 비정상 응답특성에 미치는 영향 해석, 그리고 삼지 화염구조를 가지는 층류부상화염에 대한 실험 및 수치적인 연구들이 수행되었다. 분무연소에 관한 기초연구로는 액적증발 특성에 대한 실험, 고압상태에서 단일 및 배열된 액적 및 증발, 점화 그리고 화염전파, 연료 및 추진제 분무의 증발과정, 미립화, 자발화, 연소과정, 그리고 공해물질 배출특성 등에 대하여 실험 및 수치해석이 지속적으로 진행되고 있다.

난류연소에 대한 연구로는 동축제트 버너 및 선화 연소기에 대한 실험적인 연구와 함께 수치해석적 연구들이 체계적으로 수행

되고 있다. 난류화염장 해석을 위하여 직접수치모사(DNS) 및 Large Eddy Simulation 등이 시도되고 있으며, 특히 난류연소모델 중 층류화염편모델(laminar flamelet model) 및 CMC(conditional moment closure) 모델의 개발 및 개선에 있어서 꾸준한 발전을 거듭하고 있다. 또한 이러한 난류와 화학반응의 상호작용을 제대로 묘사할 수 있는 난류연소모델에 있어서 유한화학반응에 의한 비평형효과를 고려하고 동시에 수치효율성을 유지하기 위하여 축소화학반응 메커니즘을 사용하는 방법과 ILDM(intrinsic low-dimensional manifolds) 방법 등에 대한 연구들이 수행되었다. 기초연소 실험분야에 있어서는 LIF(laser induced fluorescence), CARS(coherent anti-stokes raman scattering), PIV, LDA 등의 광계측기술을 이용하여 온도장, 주요 화학종 그리고 라디칼에 대한 정성 및 정량적인 계측을 포함하여 난류화염의 상세구조, 화염안정화 특성, 공해물질 생성메커니즘 분석에 대한 연구들이 활성화되는 추세에 있다.

응용분야의 연구는 차세대 연소시스템, 자동차용 연소기관 그리고 산업용 연소시스템에 대하여 많은 연구들이 이루어 졌다. 차세대 연소기기로는 산소부하 및 순산소 연소기술, 수소 및 신연료 이용기술 등 대체연료 사용에 관한 연구와 새로운 연소방법 개발에 의한 연소기기의 고효율 저공해 연소기술과 함께 MEMS 기술을 접목한 미세연소시스템

기술 등이 포함되며, 이에 연구가 국내에서도 활발하게 추진될 전망이다.

자동차 연소시스템의 연구활동은 가솔린, 디젤, GDI 엔진에 대한 유동 및 연소계측, 수치모사 등의 연구가 지속적으로 수행되었으며, 특히 차세대 저공해 연소기관으로 기대되는 균일예혼합 압축착화(HCCI) 기관에 대한 연구가 증가하는 추세에 있다. 일반적으로 가솔린엔진의 연소과정은 난류에 의해 제어되고 GDI엔진의 연소과정은 혼합기 형성에 의해 제어할 수 있으나, NOx와 PM의 동시저감을 위해 개발되고 있는 개발되고 있는 균일예혼합 압축착화기관의 연소제어에 있어서 가장 큰 문제점은 점화시기 제어의 어려움에 있기 때문에 앞으로 이 분야에 대하여 산,학,연의 집중적인 연구가 예상된다.

저공해 산업용 연소시스템에 대한 연구는 주로 저NOx 연소기술인 농담연소, 연료 및 공기 다단연소, 재연소, 배기가스 재순환, 산소연소, 진동연소 등에 초점을 맞추어 실험 및 설계해석적인 연구가 진행되고 있다. 가스터빈엔진의 저NOx 기술로는 예혼합 희박연소, 과농 희박연소 및 촉매연소 기술 등을 들 수 있으며, 현재까지는 예혼합 희박연소 기술이 가장 적합한 기술로 인식되어 대학 및 연구소에서 연구가 진행되고 있으며, 최근에는 촉매를 이용하여 NOx를 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 있으므로 새로운 연소기술의 개발에 대한 지속적인 연구가 수행될 것으로 예상된다.[김용모, 한양대학교]

환경과 공해

삶의 편리성 추구를 위한 에너지 과다사용으로 에너지 고갈 위기와 생태계 파괴가 심각한 상황이다. 모든 산업의 원동력은 에너지이지만 에너지 발생 및 사용은 환경오염을 유발한다. 따라서 에너지(energy) 문제를 생각할 때에는 환경(environment), 경제(economy)의 세 가지 E를 병행하여 고려해야 한다(그림 1 참조). 2001년의 환경과 공해 분야는 차세대 핵심환경기술분야, 실내 공기질 관리 및 개선, 나노에너지 및 환경 연구분야로 대별하여 살펴보았다.

차세대 핵심 환경기술

차세대 핵심환경기술개발사업은 현재 국내에서 직면하고 있는 환경과화기술을 집중 개발하여 심화되고 있는 환경오염 문제를 적극 해결하고 국가경쟁력을 향상시키고자 하는 것으로서 정부는 차세대 핵심환경기술개발사업 계획을 수립하여 2001년부터 10년간 총 1조 원을 투자함으로써 중장기적으로 오염저감·환경개선 등에 폭넓게 활용할 수 있는 환경친화적인 소재·제품과 공정·공법 기술개발을 선택하여

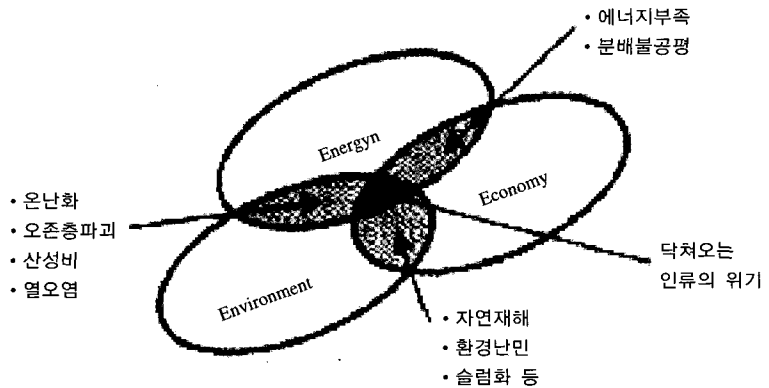


그림 1 에너지(Energy), 환경(Environment), 경제(Economy)의 3E 트라이레마(Trilemma)

집중적인 지원을 하고 있다. 이 사업은 환경오염 저감·예방·복원에 필요한 환경기술(ET)과, 나노(NT)·생명공학(BT)·정보기술(IT)의 융합을 위하여 통합환경관리기술, 생태계 보존 및 복원기술, 사전오염예방기술, 지구환경보존기술, 그리고 환경관리정보화 촉진기술 등이 진행되고 있다.

통합환경관리기술은 인체 위해성, 기술평가 및 비용편익분석으로 인체에 미치는 환경영향 인자의 경제적 통합관리를 위한 핵심 기술 개발로, 유해대기오염물질 제거기술에서 많은 연구가 이루어지고 있는데, 순환흡착방식을 적용한 유해가스(다이옥신, 중금속, 산성가스, VOC) 저감장치 기술 개발, SCR 배연탈질 촉매 및 설비 실증화 연구, 미세먼지(1 μ m 이하 포함) 및 증기상 수은 등 유해물질 동시 제거용 고효율 복합 기능여과시스템 개발, 고효율 먼지저감형 하이브리드 집진 장치 개발, 첨착활성탄과 Ion Exchange Scrubber를 이용한 유해가스 제거기술, 고성능 펄스형

전기집진 시스템 개발, 고층주택의 소음저감을 위한 방음터널 개발, 방음터널 설계안 개발 및 성능예측 개선안 도출, 하수 슬러지의 Hybrid 유동층 열분해/용융 소각시스템 개발, 샤프트형 직접 용융소각 공정기술 개발 등이 있으며, 수출유망환경기술분야로 경유자동차 입자상 오염물질 실시간 측정기기 개발, 공기 중 바이오에어로졸의 실시간 측정기기의 개발, 플라즈마를 이용한 무기성 폐기물자원화 기술, 전기소독 장치와 멤브레인 여과 조합형 정수시스템 개발 등이 연구가 진행되고 있으며, 실내오염저감기술은 뒤에 설명하고자 한다.

생태계보존 및 복원기술은 환경생태계의 정화능제고 및 이용 목적별 적정관리 및 복원을 위한 기술개발로, 도시 중규모 자연 하천(대조 하천)에 적용 가능한 자연형 하천시공 및 유지기술 개발, 높이 1m 이상의 자연형 저수로 호안 공법개발, 하천 생태기능 복원을 위한 핵심기술 개발과 유류 오염 토양/지하수 정화를 위한 Hybrid형 복원 시스템 개발 등이

연구되고 있다.

사전오염예방기술은 영세성 유해오염유발시설에 우선한 기술진단을 통한 오염발생원의 근원적 저감 및 친환경경영 기술개발로, 고기능성 이온교환섬유 필터소재 기술개발, Bench Scale의 이온교환섬유 제조공정기술, 다양한 기능을 갖는 이온교환섬유 제조, 최적의 반응을 위한 원료 혼련 기술 확립, 모듈 제조를 위한 이온교환 섬유펠트 개발, 이온교환섬유의 중금속 흡착능 시험 등의 친환경 소재·제품기술과 친환경 설계·관리 기술로는 정도 향상을 위한 질삭유 및 세척제 회수시스템, 최적인 분리막 시스템 개발을 위한 세척제 재이용 설비의 항외 여과막 모듈 선정, 막오염 방지용 전처리 여과기 개발, 세척제와 질삭유 성분 분리 시스템개발 등이 있다.

지구환경보존기술은 국제환경협력 및 무역규제와 관련된 현상의 예측, 영향평가 및 대응기술개발로, 기후변화 원인 및 장거리이동 유해물질 분석·평가기술, 지구온난화에 따른 한반도 해수면 상승과 연안 환경 변화 영향평가 및 대응기술, 해수면 변동 모니터링 및 DB화, 국지적 해수면 변동 모델 개발, 원격탐사 기법을 이용한 해수면 자료 수집/분석용 부이(buoy) 개발 등이 연구되고 있다.

실내공기질 관리 및 개선

전체 활동시간의 80% 이상을 실내에서 보내는 현대인은 점점 악화되고 있는 실내 환경으로부

터 쾌적성과 건강에 관심이 높아지고 있다. 한국풍토와 의식주 생활이 고려되지 않는 잘못된 공조, 환경의 중요성에 대한 인식부족, 시설관리 불량, 불충분한 공기정화, 필요환기 부족 등 원인에 의한 현상에서 비롯되어 호흡기질환, 두통, 기침, 현기증, 피로감, 불쾌감 등의 빌딩병증후군(sick building syndrome)이 발생하여 건강을 위협하고 있다. 대부분 공공건물과 가정에 설치된 공기조화기는 단순냉방/난방기능에 공기청정 기능을 더 하여 쾌적한 실내 공기를 제공하려 하였으나, 이러한 기능만으로는 건강 및 쾌적한 공조제어가 어렵다. 쾌적공조기술(comfortable air conditioning)이란 인간/제품/건물이 조화된 모든 실내공간에 거주자의 쾌적성 향상을 위해 공기청정도/산소/라돈/음이온 등의 공기질요소와 가습/제습/기류/환기 등의 온열환경요소를 제어하는 기술로, 비 온 뒤나 숲 속에서 느끼는 쾌적한 실내환경을 구현하는 것이다.

실내공기오염에 대한 연구보고서의 설문조사에 의하면 심각한 실내공기 오염원으로는 전체 응답자의 32.2%가 먼지를 꼽았고, 29.5%는 각종 유해물질이 문제라고 생각하고 있으며, 이러한 오염물질이 제거되지 않는 이유에 대해서는 46%가 환기시설이 미흡하다는 점을 들고 있다. 공기개선을 위한 조치에 대해서는 46%가 “환기시설 및 공기정화장치 확충이 가장 시급하다”고 답한 것을 볼 때 환기시설 설치에

대한 욕구가 대단히 큰 것을 알 수 있다. 2001년 환경부에서 “실내공기질관리법”을 입법예고(2002년 법률통과예정)하였으며, 다중이용시설, 공동주택 등에 미세먼지, 석면, VOCs 등 실내공간 유해물질을 유지 관리함으로써 그 시설을 이용하는 국민들의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방하고자 한다.

실내공기오염 저감기술 연구동향은 광촉매 복합공정을 이용한 실내공기청정기 개발, 실내공기질(IAQ) 향상을 위한 그린내장재 및 공조시스템에 관한 연구, 모듈형 최적 실내 환기 관리시스템 개발, 실내공기 정화용 광촉매 및 저온 탈취촉매 Coupling System 개발, 플라즈마와 TiO2 광촉매를 이용한 고효율 실내 공기정화기 개발, 고성능 UV/TiO2 공기청정기 개발, 쾌적한 실내환경을 위한 Indoor Air Quality 다성분 동시 청정관리 시스템 개발, 실내공간에 있어서의 환기정화장치 및 운용시스템 개발, 정전방식의 집진필터 제작, 특수지 방식의 전열교환기 개발, 세정에 의한 재생방식(환경친화적) 개발, 플라즈마-광촉매 방식의 가스제어기술 개발 등 연구가 진행되고 있다.

나노에너지 및 환경 연구

나노 바이오테크놀로지는 큰 장점중의 하나가 환경친화적인 재료를 보다 용이하게 개발할 수 있다는 점이다. 나노입자는 질량에 비해 상대적으로 넓은 표면적을 갖고 있으므로 공해물질제거

를 위한 나노입자필터의 개발이나 환경오염의 조기진단을 위한 센서개발 및 에너지 변환과정에서 다양하게 활용될 수 있는 이점이 있다. 나노기술을 이용한 환경 연구는 환경호르몬의 작용 기작 규명 및 이에 대한 방제 분자모형 연구, 환경유해분자를 흡착, 독성을 제거할 수 있는 나노입자의 설계·생산, 환경유해물질에 대한 피부보호물질의 고안, 동위원소 등 유해성 원소에 대한 분리처리 기능을 갖춘 나노필터 개발, 환경유해물질 제거 공기 필터 제조 및 나노입자 제거용 기구 개발, 적조 및 해역 오염도 센서 개발 및 활용 방안, 생태계조사 및 변화예측 나노기술 개발, 수질·대기·토양오염 방제 시스템 개발, 공장폐수·생활하폐수 정화 시스템 개발, 환경유해물질 방어 나노 섬유소재 개발, 폐기물 recycle 기술 개발, 광촉매에 의한 수소 생성 및 저장 방안 연구, 광촉매 및 태양에너지 변환 실용화 기술 개발, 에너지의 전기로의 변환/치환 저장 시스템 및 연료 전지 개발 등이 이루어지고 있다. 특히 나노크기의 광촉매(TiO_2)를 이용한 환경기술이 각광받고 있다. TiO_2 는 빛을 흡수하여 분자 내에서 산화, 환원반응이 동시에 가능한 고기능성의 광촉매로 이러한 산화환원 반응성은 중금속의 회수, 유해한 VOC화합물 분해, NO_x 와 SO_x 제거, 항균·살균, 탈취, 공기정화 등에 활용이 가능하다. 그리고 광에 의해 나타나는 표면의 친수성은 자정작용 및 오염방지 등 다양한 기능성 제품의 개발에

활용이 가능하다.[이재근, 부산대학교]

열 시스템 제어 및 계측

열 시스템 제어 및 계측에 관련해서 2001년도 한 해 동안 대한기계학회 논문집 및 KSME International Journal에는 20편 가량의 연구논문이 발표되었다. 발표된 연구논문을 세분화하면 레이저를 이용한 계측에 관한 논문이 상당히 많은 편수를 차지하였다. 레이저를 이용한 계측은 속도장 측정과 입자 액적의 크기 및 속도의 측정에 적용되는데 PIV를 이용한 연구가 활발히 진행되었다.

발표된 논문 중 PIV를 이용한 속도장 측정에 관련해서는 온도 구배가 존재하는 비등은 부력제트의 유동구조를 PIV 기법을 이용하여 알아본 연구가 발표되었으며, PIV 기법을 이용한 정사각 실린더의 근점 후류에 관한 연구가 세 편의 연속 논문으로 발표되었다. PIV법의 응용연구로서 PIV 기법을 이용하여 공장실내 환기를 개선하는 방안에 대한 연구도 있었다. 이 연구에서는 대기 경계층 내에 놓인 건물 내부의 환기문제를 PIV 속도장 측정을 통해 해석하였으며, 자연환기를 원활히 하는 개선안을 제시하였다. PIV에서 문제가 되는 위상평균을 정확하게 구하기 위하여 와류(vortex)의 중심을 추적하는 위상평균 기법을 이용한 연구도 있었다. 이 연구는 화상획득시간이 짧은 PIV의 문제점을 개선하기

위하여 시간을 대신할 개념으로 거대구조 와의 위치를 선정하였다. 이와 유사한 연구로서 고해상도 Cinematic PIV의 개발에 관한 논문도 발표되었는데 이 논문에서는 PIV에서 획득된 순간 유동장이 시간에 대한 상호 연관성이 없으므로 이를 개선하기 위하여 연속광인 Ar-Ion 레이저와 고속카메라를 사용하여 일정 시간 동안 연속적인 화상의 획득이 가능하게 장치를 구성하였으며, recursive 기법을 사용하여 공간해상도를 향상시켰다. 그리고 이렇게 개발된 방법을 이용하여 러쉬톤 교반기의 초기 비정상 유동 특성 해석에 관한 연구가 동일 저자에 의해 별도로 발표되었다. 광학적 유동측정방법을 엔진에 적용한 연구로서 실린더 내에서의 유동 패턴을 Ar-Ion 레이저를 이용한 Single-Frame Particle Tracking Velocimetry를 사용하여 측정된 논문도 발표되었다.

엔진에 관련된 또 다른 논문은 가시화가 가능한 SI엔진에서 SCV(swirl control valve)가 연소특성에 미치는 영향을 고속화상 증폭장치를 이용하여 연구, 분석하였다.

광학적 방법 이외의 유속측정에 관해서는 일반 열선유속계에 사용되는 포텐시오미터 저항 대신광도전성저항 안정화 회로를 채택한 가변온도형 열선유속계의 출력 특성에 관한 실험적 연구논문이 있었다. 이 논문에서는 광전도성저항을 비례적분제어를 사용하여 안정화시킬 수 있는 회로를 제시하였으며, 새로운 방법이 정

온도형 열선유속계에 비하여 우수함을 확인하였다.

입자 및 액적의 크기와 속도를 측정하는 연구로서는 형광/산란광 동시 측정에 의한 GDI 분부의 평균 입경 분포에 관한 연구가 있었는데, 이 연구에서는 신뢰성 있는 평균 입경 측정을 위하여 이중 프리즘을 이용하여 형광과 산란광을 동시에 측정하였으며, 산란광이 형광에 미치는 영향 최소화하였다. 홀로그래피를 이용한 분무 액적의 속도측정시스템 개발을 위한 실험적 검증에 관한 논문도 발표되었는데 이 연구에서는 3차원 재생 홀로그래피를 이용하여 입자의 크기, 거리, 속도 측정 과정에서의 오차와 불확실도를 평가하였다. 디젤엔진에서 LIS (laser induced scattering)과 LII(laser induced incandescence)를 이용한 매연 입자의 직경과 입자 밀도의 2차원적 측정에 관한 논문도 발표되었다. Laser Scattering Image를 이용한 메탄올과 메탄올 혼합물의 분무 특성에 관한 논문에서는 PIV와 엔트로피 해석을 사용하여 분무특성을 해석하였다. 액체의 기화 초기 단계의 기포의 핵성장과 성장기구 해명하기 위하여 Michelson 간섭계를 응용하여 미세 상변화 현상을 계측한 논문도 발표되었는데 이 연구에서는 상호결맞음성(mutual coherence)을 갖는 두 빔의 간섭효과를 이용하여 기포의 성장에 따른 광학적 경로의 변화를 측정하였다.

정적 연소실에서 성층화된 혼

합기 조건하의 점화 전극 사이 당량비 측정과 연소특성에 미치는 영향에 관한 논문도 찾아볼 수 있었다. 점화 전극 주위의 당량비 사이클 변동에 중요한 요소이므로 정확한 측정이 필요한데 이 연구에서는 KrF 엑시머 레이저를 이용한 라만산란법에 의하여 당량비를 측정하였다.

서브 마이크론 액적의 정확한 액적크기 분포의 측정을 위하여 냉각법 및 영상 처리 기법을 이용한 서브마이크론 점진분무 액적의 크기 분포 측정에 관한 논문에서는 액적 포집시 샘플링관 벽에 큰 액적이 많이 부착되어 크기 분포를 정확히 예측하지 못하는 기존 방법의 문제점을 개선하기 위하여 냉각에 의하여 액적의 초기 크기를 유지하고 TEM(transmission electron microscope)를 이용하여 영상을 처리하는 방법을 통하여 서브마이크론 영역에서 에어로사이지 방법보다 더 정확하게 액적의 크기 측정할 수 있다는 결과를 얻었다.

시스템의 온도측정 및 제어에 관련된 분야에서는 모드해석과 관측기를 이용한 1차원 온도분포의 실시간 예측에 관한 논문이 발표되었는데 이 연구논문에서는 몇 개의 온도를 측정하여 역해석 방법을 통하여 전체 온도장을 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법을 사용하면 로켓노즐이나 핵발전소 등 측정 장비 설치하기 힘든 곳에서 온도를 예측할 수 있다. 온도 제어에 관한 또 다른 연구로서 소재 온도 감도 계산을 통한 가열로 내 분위

기 온도 설정 방안에 관한 논문이 발표되었다. 이 연구에서는 가열로에서 소재의 적정 가열을 위하여 소재온도감도 계산법을 이용하여 연료의 유량을 제어하는 방법이 제시되었다. 홀로그래피 간섭계를 이용하여 Hele-Shaw Convection Cell 내부의 온도장을 측정하는 연구도 수행되었다. 이 연구에서는 이중노출 방법과 실시간 방법을 상호 보완적으로 적용하였는데 정상상태에서는 이중노출 방법이 간단하면서 노이즈가 적은 반면 비정상상태에서는 실시간 방법이 효과적인 것으로 나타났다.[정시영, 서강대학교]

공정열역학

2001년도 대한기계학회논문집(B)과 춘계 및 추계 학술대회 논문집에 게재된 연구보고서 중 공정열공학 분야에 해당하는 논문의 수는 총 19편으로 전년도 12편에 비하여 현저하게 증가하였다. 세부분야별로는 응고(solidification)에 관한 논문이 6편, 미립화에 관한 논문이 4편, 최적화에 관한 논문이 3편, 그리고 레이저 용발(ablation), 건조, 가스절단, 금형, 적층성형 롤러, 용융도금에 관한 논문 각 1편으로 구성되었다.

응고분야의 연구내용을 살펴보면, 우선 1차원의 경우, 이전까지 공정계(eutectic system)에 국한하여 유도되었던 일방향 주조의 상사해가 포정계(peritectic) 합금의 상평형조건 하에서 응고에 수반되는 체적수축유동을 고려하

도록 확장되었다. 2차원 수치해석의 경우, 직사각형 공간 내에서 납-주석 합금의 측방향 응고과정 동안 자연대류에 의한 열 및 물질 전달을 예측한 연구가 수행되었다. 이 연구는 이동경계를 효과적으로 추적하기 위하여 경계밀착 및 시간의존 좌표계를 사용하였으며, 중력의 크기가 감소하는 경우 거시편석의 거동에 관심을 두었다. 이밖에도 다소 고전적 주제인 액막초크랄스키(liquid encapsulated czochralski) 단결정 성장과정 동안 축대칭 2차원 유동 및 온도장을 예측한 결과 역시 보고되었다. 수치해석은 정상상태 가정 하에서 물질전달을 무시하고 자기장과 회전이 비평면고/액경계면의 형상과 대류 유동의 강도에 미치는 영향에 초점을 두고 수행되었다. 쌍롤을 이용한 박판의 연속주조공정에 관한 2차원 수치해석은, 동일한 물리적 상황에 대하여 대조적인 수확모델이 사용되어 흥미롭다. 논문집(B)에 보고된 연구는 난류유동모델과 합금 응고모델을 사용하며, 롤러 간극, 용탕 과열도 및 노즐의 형태가 유동 및 열전달 특성에 미치는 영향에 관심을 두었다. 이때, 상변화 물질과 롤러 사이의 상호작용은 롤러 표면에서 균일 열전달계수를 가정하여 단순화하였다.

반면, 학술대회에 보고된 연구는 층류유동과 순수물질 응고모델을 사용하며 계산영역 입구에서 노즐의 영향을 무시하고 균일 속도분포를 가정하여 유동 및 응고현상에 대하여는 비교적 단순

한 모델을 사용한 반면, 열전달 측면에서는 롤러 내부의 열전도와 용탕의 유동, 열전달 및 응고현상을 연계 해석하였으며, 비정렬 격자계의 효율성에 관심을 두었다. 응고분야의 유일한 실험연구는 과포정계인 주석-카드뮴 합금의 Bridgeman 일방향 응고에 대하여 수행되었다. 석출되는 미세조직을 관찰하고 용탕의 대류가 응고조직의 형성에 미치는 영향을 예측하였다. 응고분야는 전반적으로 실험을 통한 연구가 보다 활성화 되어야 하며, 수치해석에 사용되는 단순 응고모델의 타당성을 보다 엄격히 확인하는 과정이 요구된다.

미립화 및 액적생성 분야는 액체금속의 분무를 이용한 분말 내지 초미립자의 제조와 박막코팅 공정 외에도 분무도장, 농약살포, 연료분사, 잉크젯 프린터 등으로 응용분야가 확장되고 분체에 대한 관심이 증가하면서 연구가 활발해지고 있다. 2001년도 논문집에 보고된 연구의 내용을 보면, 우선, 액상 TEOS(tetraethyl orthosilicate)를 전기수력학적 방법에 의해 미립화하여 반응로에 주입하고 증발, 열분해, 화학반응, 핵화, 성장의 과정을 거쳐 생성된 실리카 입자의 특성을 입도, 형상, 하전정도를 측정하여 규명한 연구가 보고되었다. 역시 전기수력학적 분사를 통한 액적의 생성과정 중 스핀들모드가 관찰되는 공급유량과 인가전압의 범위를 찾기 위한 실험에서는 작동액체로는 물을 노즐의 재질로는 금속과 실리카를 사용하였다.

이밖에도 액적생성 관련 연구에는, 연료분사무 염두에 둔 2유체 정전분무에 대하여 위상도플러 계측법을 사용하여 액체 미립화 및 분무특성에 대한 주변 공기제트와 인가전압의 영향을 측정하는 실험과, 신속시작법(rapid prototyping)장치에서 액적생성을 위하여 압전 액추에이터에 가해지는 전압의 크기와 펄스의 주파수에 따른 액적의 분사특성을 고속카메라와 화상처리를 통하여 분석하고 상용 소프트웨어를 사용하여 예측한 결과와 비교한 연구가 보고되었다.

최적화 분야로 분류된 연구에는, 우선 두꺼운 복합재료의 성형과정에서 온도제어를 수치실험을 통하여 최적화하는 결과가 보고되었다. 또, PDP(Plasma Display Panel)의 제조공정 중 전면과 배면 사이의 기체를 빼내는 배기공정이 이루어지는 노(furnace) 내부의 열전달 특성을 해석하여 배기로의 설계를 최적화하려는 노력이 보고되었으며, 철강생산과정에서 압연소재를 재가열하는 노 내부의 최적 분위기온도를 설정하려는 연구가 보고되었다. 전자는 대량생산공정에 적용할 수치해석 모델을 얻기 위하여 시험배기로부터 모델실험을 수행하고 이를 예측치와 비교하였으며, 후자는 기본 모델식을 이용하여 추출 온도를 산출한 뒤 소재온도의 감도(sensitivity) 계산을 통한 지역별 분위기온도 증감량을 설정하는방법을 사용하였다.

레이저 용발에 관하여는 펄스 레이저의 조사에 의하여 야기되

는 상폭발 및 충격파와 조사표면에 존재하는 액막이 상호 작용하여 용발량에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석한 결과가 발표되었다. 다공성 소재의 건조공정 동안 열 및 수분의 전달을 예측하고 이를 바탕으로 습열응력과 변형 형상을 해석하는 유한요소 프로그램 개발하고, 이를 세라믹 애자의 건조공정에 적용한 연구가 보고되었다. 가스절단에 사용되는 초음속 제트유동에 대한 기초 연구의 일환으로 동축(coaxial) 초음속 노즐유동에 대한 축대칭 압축성 Navier-Stokes 방정식을 유한체적법을 사용하여 수치해석을 수행하여 보조제트가 주제트에 미치는 영향을 조사하는 연구가 진행되었다. 브라운관 유리성형용 금형의 내부에 미소결함이 존재할 때, 고온의 용융유리와 금형의 순간접촉에 의한 열전도로 인한 요철(embryo mark) 등 제품결함의 발생을 쌍곡선형 열전도모델을 사용하여 예측한 수치 계산이 수행되었다. 카트리지 히터방식의 롤러를 사용하는 건식 필름적층 성형기에서 롤러의 크기, 회전수 및 필름과의 접촉각이 롤러 내부 및 표면온도에 미치는 영향을 수치적으로 조사한 결과도 보고되었다. 아연도금강판의 용융도금과정에서 도금욕(molten pot) 중에 부유하는 입자들이 도금강판에 부착하여 발생하는 드로스(dross)결함을 해결하기 위한 노력으로 도금욕 내부유동을 모사하는 실험장치를 실제 도금욕과 상사성을 갖도록 제작하고 디지털 화상처리를 이용한

PIV 속도장 측정기법을 이용하여 내부 속도장을 측정하고 해석한 연구가 보고되었다.

이상 총 19편에 기술된 연구 중 실험과 해석을 병행한 연구가 3편, 순수한 실험연구가 5편, 그리고 순수한 수치해석에 의한 연구가 11편으로, 연구방법의 수치해석에 대한 의존도가 상대적으로 높다. 결론적으로, 2000년에 비하여 공정열공학 분야의 국내 논문 편수는 현저하게 증가하였고, 주제 및 응용분야의 다양성이 개선되었다. 2000년도의 관심 세부분야(관련 논문 3편)이었던 사출성형 공정 분야의 연구보고가 2001년에는 거의 없는 점이 특기할 만하다.[송명호, 동국대학교]

열역학 및 열물성

‘열역학’을 공학적으로 응용하는 분야를 열공학이라 부를 수 있을 것이다. 그렇다면 열공학의 세부 분야 중 하나로서 ‘열역학’은 무엇인가. 아마도 전자는 순수한 기초 학문을 뜻하고, 후자는 그 기초 학문의 내용 중에서 아직 열공학에 제대로 적용되지 않은 그래서 최근에서야 공학적 활용을 시도하고 있는 부분 또는 열공학의 다른 세부 분야에 속하기 어려운 부분을 뜻하는 것으로 판단하는 것이 가능할 것이다.

이러한 의미에서 2001년 ‘열역학’ 분야의 연구 주제로 분자 열역학과 열역학 응용(상전이, 열분해, 상변화, 열시스템 등)을 들 수 있다. 열물성 분야의 연구 주제는 냉매의 열전달 및 압력 강

하 특성, 물질의 물성 측정 및 활용, 물성치 변화의 영향 등을 들 수 있다.

2001년 ‘기계저널’에서는 분자 동역학(molecular dynamics)을 간단히 소개하였으며, 21세기에 막대한 투자와 관심에 힘입어 발전할 것으로 예측되는 micro thermofluids 기술의 중요성을 강조하였다. 또한 초소형 열유체 소자 및 관련 산업 응용을 소개하였다. 이와 관련된 연구 논문에서는 micro capillary pumped loop를 사용하는 microelectronic 냉각장치를 제시하였으며, 초소형 구조물에서의 상변화와 관련하여 micro line heater에서의 bubble nucleation에 대한 이론 해석(molecular cluster model) 및 실험을 시도하였다. 또한 micro channel 유동을 모사하기 위해 분자 운동론에 근거한 Boltzmann 식을 이용하는 Lattice Boltzmann Method(LBM)를 적용하여, 실험으로 밝혀진 미소 유체 유동의 특성을 정성적으로 예측하였다.

그밖에도 열역학과 관계된 연구로서 절대 0도 근처의 저온에서 Helium-4 또는 Helium-3가 부압 하에서 액체에서 기체로 상전이하는 현상이 가능함을 양자 터널링 개념과 분자 상호 작용에 의한 기포 형성 모델을 이용하여 규명하였으며, 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 메카니즘을 이용하여 계산한 수치 결과와 문헌에 나오는 실험 결과를 비교하여 반응 메카니즘의 정당성을 입증하였다. 상변화와 관계하여 밀폐 용기 내에서 초음파 진동에 따라 상변화 물질(파라핀)이 용해하는 시간을 파악하였으며, 합금의 응고시 응고 계면의 위치 및 형상에 대하여 고찰하고 이중 확산 대류가 편석에 미치는 영향을 증력의 크기와 함께 분석하였으며, 자기장 하에서 액막 초크랄스키 방법에 의한 단결정 성장에 관한 수치 해석 연구를 수행하였다. 열시스템과 관련하여 전기와 열을 동시에 생산하기 위한 복합 시스템인 SOFC(solid oxide fuel cell)/MGT(micro gas turbine) hybrid cycle의 성능 해석을 위한 열역학 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 중저온 산업 배열을 회수하여 전력을 생산하기 위해 랭킨 사이클에 유기 물질 R-123을 작동 유체로 사용하는 유기 랭킨 사이클 발전 시스템을 설계·설치·시운전하였다. 또한 다공성 물질 내부에서 전파되는 초단열 열파동 현상을 활용하여 수소 저장 합금 열펌프와의 열교환을 통해 성능을 향상시키고자 고안된 새로운 방식의 열변환 시스템을 자동차 배기가스를 활용하는 열구동형 냉방 장치로 사용할 경우의 성능을 예측하여 가장 효과적인 수소 저장 합금 쌍을 제시하고 실제 응용 가능성이 있음을 보였다.

한편 열물성 분야의 연구로서 우선 냉매에 대하여는 평형 물성보다는 열전달 및 압력 강하 특성

등의 연구가 이루어졌다. 특히 냉매 R-22와 그 대체 물질인 R134a, R407c(비공비혼합냉매, R32/R125/R134a, 23/25/52 wt%), R410a(공비혼합냉매, R32/R125, 50/50 wt%)의 특성을 비교한 연구가 많았으며, 평판관, 관형, Plate and Shell 형, 마이크로 핀관, 극세관 헬리컬 코일형, 전열 촉진관 등 다양한 열교환기 및 단열 모세관에 대한 실험 및 상관식 개발 연구 등이 있었다. 이 외에도 R-113에 대하여 코일형 나선 전열관에서 내부 응축 열전달 특성, R-123에 대하여 전열 촉진관에서 강제 대류 비등 특성, 습공기에 대하여 알루미늄 증발기에서 습표면 열전달과 압력 강하, 물(R-718)에 대하여 세관에서 액단상 열전달 및 압력 강하 특성 등을 연구하였다.

물질의 물성 측정 및 활용과 관계된 연구로서 수평 평판에서 일정 유량 및 유속 하에서 착상 실험을 수행하여 서리 물성치 상관식을 얻었으며, 입자의 전기 전도도에 따라 응집체의 전하 분포가 변하는 것을 고려하여 하전 입자의 응집 성장 과정을 모사하였고, 정전용량법을 이용하여 석탄회의 미연 탄소 함량을 자동 측정하기 위한 기초 분석을 하고 정전 용량과 미연 탄소량 사이의 선형 관계 경험식을 도출하였으며, 폐기물 소각로의 운전에 필수적인 발열량의 측정 장치를 제작하고 경유, 등유, 병거C유를 대상으로 발열량을 측정·분석하는 실험을 수행하여 장치의 성능을 평가하였다. T-history 방법을 이용하여

얼음과 에틸렌글리콜의 비열, 잠열량을 측정하여 실험 장치를 검증한 후 잠열재의 비열, 잠열량을 측정하였으며, 온풍기, 온수기, 보일러 등에 활용하기 위하여 고온 탄소 발열체의 인가 전류 및 시간 변화에 따른 온도 특성, 저항 특성, 발열량 등을 파악하였다. 또한 광열 변위의 위상 곡선 또는 최소 위상을 이용하여 금속 재료의 열확산 계수를 측정하였으며, 역열전도 기법을 이용하여 열가소성 복합 재료의 열물성치(열전도도와 체적 열용량)를 구하는 문제를 해석하였다. 가시화를 통한 ER 유체(electrorheological fluids, 가해지는 전기장의 세기에 따라 겔보기 점도가 변하는 유체)의 클러스터 형성 구조에 관한 연구가 이루어져 전기장의 세기가 유체 점도와 항복 응력에 미치는 영향을 파악하였다.

이 외에도 물성치 변화와 관계된 연구로서 이온 보조 반응법에 의한 친수성 처리가 냉각탑의 충전재 특성값에 미치는 영향, 흡수식 냉동기의 가공관 외벽 친수성 표면 처리가 증발 열전달에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 유체의 물성치 변화가 압력 스웰 노즐의 분무 특성에 미치는 영향을 분석함으로써 물성 변화를 고려하는 해석의 중요성을 예시하였다.[박경근, 국민대학교]

열기기 및 열교환기

지난 한 해 동안 대한기계학회 논문집과 KSME International Journal에 발표된 열기기 및 열

교환기에 관한 논문은 약 30편이다. 예년에 비해 지난 해의 논문은 아주 다방면으로 다양하게 이루어졌다. 발표된 논문의 주제를 학문적인 면에서 분류하면 관내 열전달이 연구를 주도하고 있으며, 이 중에서도 증발과 응축의 2상유동 열전달이 전체 논문의 절반에 달하는, 가장 많은 연구 논문이 발표되었다. 또한 직접접촉식 열전달에 관한 연구도 전체 논문의 15%에 해당하는 상당부분 발표되었으며, 연구의 대부분은 액체-기체간의 열전달에 관한 것이었다. 나머지에 해당하는 부분은 단상유동 열전달과 관외 열전달에 관한 연구이며, 전체로 보면 열공학 분야에서 다양하게 연구가 이루어졌다고 볼 수 있다.

연구접근방법에 대해서 고찰하면 전체 논문의 70% 이상이 실험에 의한 결과를 논한 것이고 나머지가 수치해석, 이론해석과 시뮬레이션에 관한 연구였다. 이는 학문분야에서 분류한 것과 같이 2상유동 열전달의 연구가 가장 많이 이루어진 것과 관련이 있는 것 같다.

공학 적용 분야로 발표 논문을 분류하면 열교환기에 관한 연구가 가장 많이 이루어졌다. 전통적인 원통다관형 열교환기에서 콤팩트 열교환기인 환-관 열교환기, 관형, Plate and Shell 열교환기 그리고 미세관과 전열촉진관에 관한 연구 등 아주 다방면 논문이 발표되었다. 이 중에서 1mm 단위의 미세관에 관한 연구가 작년과 같이 가장 많이 이루어졌으며, 미세관의 형태도 직선

형과 나선형으로 된 것 등 다양하게 이루어졌다. 그 다음 순위로 관형과 Plate and Shell 열교환기 그리고 전열촉진관에 관한 연구가 그 뒤를 잇고 있다. 그리고 액체전조기, 증발식냉각기 등과 같은 열물질전달에 관한 연구가 발표되었다. 그의 열전달계수 측정 기술, 흰 해석 스케일 완화 그리고 표면처리기술 등 응용 측면에서도 연구가 이루어져 예년에 비해 다양하게 연구실적이 발표되었다.

열기에 관한 발표 논문을 분류하면, 볼텍스 튜브를 이용한 에너지 분리, 마이크로 채널 방열블록, 히트파이프, 유동층, 폐열회수에 관한 연구가 발표되었다. 히트파이프와 히트싱크를 이용한 전자부품의 냉각기술과 유동층을 이용한 에너지 회수와 재활용 등 현재 당면한 공학기술에 관한 연구가 발표되었다.

열병합발전, 원자력발전 등 시스템에 관한 연구도 예년과 같이 지속적으로 발표되었다.

작년에 비해 발표된 논문 편수는 별 차이가 없었으나, 학문적인 연구분야나 공학 응용분야에서 다양하고 심화된 연구 결과들이 발표되었다.[정형호, 한국해양대학교]

냉각 및 저온공학

2001년 한 해 동안 냉각 및 저온공학 분야에서 이루어진 연구는 극저온 냉동기에 대한 연구가 주류이며 차세대 초전도 응용기술 개발이 프론티어 사업으로 시

작이 되면서, 고온 초전도 시스템의 냉각기술에 관한 연구가 한창 진행 중이다. 예전에도 그러하였듯이 이 분야에 대한 연구인력과 발표 논문의 수는 다른 열공학 분야에 비하여 적은 편이다. 하지만 국내에서도 저온공학에 대한 관심이 점점 커져가며, 연구내용의 범위도 다양해졌고 산업체와의 협력 연구가 증가하면서 응용분야에서의 연구활동이 두드러지게 나타나고 있다.

상대적으로 많은 연구가 진행되고 있는 분야는 스티어링(stirling) 냉동기와 맥동관(pulse tube) 냉동기 같은 재생형 극저온 냉동기 분야로서 소형 시스템의 필수 부품인 선형 압축기의 운전특성, 그리고 충전 압력, 작동 주파수, 압축부와 팽창부를 연결하는 관의 길이 등이 공진 현상에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가, 실제 스티어링 냉동기를 개발하는 과정에서 이루어졌다. 아직도 극저온 냉동기의 신뢰성과 수명 향상에 대한 연구는 활발하게 진행 중이며, 곧 국산 실용화 모델이 탄생할 것으로 사료된다. 또한 재생식 극저온 냉동기의 핵심부품인 재생기(regenerator) 자체에 대한 이론적, 실험적인 연구도 세계적인 수준으로 진행되고 있는데, 압력의 진폭이 크고, 재생기의 양 단 간의 온도차가 큰 환경에서의 왕복유동이라는 복잡한 물리적 상황에서 재생기의 성능을 파악하고, 왕복유동 주파수가 60Hz인 경우에 정상상태에서 구한 유체의 저항계수가 적용될 수 없다는 연구결

과도 흥미롭다.

J-T 극저온 냉각기에 대한 연구결과는 첫째, 질소와 네 가지의 탄화수소를 적절한 비율로 섞어서 혼합냉매를 사용하여 극저온을 생성시키는 시스템에 대한 연구와, 둘째, 기존의 군수용으로 개발된 순간 냉각방식의 소형 극저온 냉각기에 대한 연구가 있었다. 팽창되는 가스의 성분(질소 혹은 아르곤)에 따라서 냉각 특성이 달라짐을 실험적으로 관찰한 연구였다. 맥동관 냉동기의 근본적인 성능 저하 요인인 음향흐름(acoustic streaming)을 억제하기 위한 테이퍼 맥동관(tapered pulse tube) 냉동기에 대한 이론적인 해석과, 벽면과 가스 사

이의 주기적인 열전달현상을 연구하는 활동도 있었다.

극저온 냉동기의 개발과 관련된 연구 이외에도, 이를 이용하여 어떠한 대상을 극저온으로 냉각할 때 발생하는 문제에 대한 연구도 점차 증가하는 추세인데, 주로 초전도 자석과 같은 초전도 시스템의 냉각과 관련된 문제를 다루었으며, 전도 냉각을 하는 초전도 시스템, 고체 질소를 이용한 경우, 액체 헬륨을 이용하여 냉각할 때에도 이를 재 응축하는 극저온 시스템에 대한 연구, 액체 질소 또는 아냉(subcooled)질소를 이용한 초전도 케이블의 냉각 연구 등 다양한 연구가 이루어지고 있다.

이외에도 초유동(superfluid) 헬륨에 대한 연구와 초저온 공기 분리 장치를 국산화하는 과정에서의 공정 설계 및 성능시험 결과에 대한 연구도 돋보이는 한 해였다고 볼 수 있다. 서두에서도 언급하였듯이, 극저온 분야에 대한 연구는 우리나라의 경우 이제 본격적으로 시작되는 환경이 조성되었다. 초전도 시스템에 대한 국가주도의 대형사업이 시작되면서 더욱 활발한 연구활동과 질적으로 우수한 논문이 증가하고 있다는 것이 특기할 만한 사항이다.[정상권, KAIST]

■ 선택적 정밀도 합성법(Selective Precision Synthesis)

기구 합성과정에서 운동을 표현하는 각각의 정밀점에 임의의 정밀도 개념을 지정한 근사 합성법의 하나로서, 설계자가 기구에 요구되는 조건에 따라 합성된 기구의 운동과 각 정밀점 간의 크고 작은 편차범위를 지정할 수 있다. 이 방법은 정밀점과 편차범위의 수에 제한이 없으므로 요구되는 연속적 운동 경향을 잘 표현할 수 있으며, 편차 범위를 지정할 수 있으므로 합성된 기구의 운동이 실제 요구되는 운동에 더욱 근접하게 구현될 수 있다. 그러나 편차 범위의 지정에 따라 기구를 구성하지 못하는 경우도 발생한다.

■ 기구학적 합성(Kinematic Synthesis)

설계자에게 주어진, 기구의 성능이나 특성을 만족하도록 그 기구를 구성하는 방법론을 통칭하며,

기구에 요구되는 운동이 주어졌을 때, 이 운동을 구현하기에 적절한 기구의 형태를 결정하는 과정인 형태 합성(type synthesis)과 형태 합성을 통해 결정된 기구가 요구되는 운동을 구현할 수 있도록 링크의 길이나 기어비와 같은 치수를 결정하는 과정인 치수 합성(dimensional synthesis)의 두 영역으로 나뉠 수 있다.

■ 기구학적 구속조건식(Kinematic Constraint Equation)

기구학적 대우(pair)는 두 강체간의 상대운동을 결정하는 어떠한 조건을 부과하며, 이 조건을 해석적인 형태로 표현한 것이 기구학적 구속조건식이다. 강체를 표현하는 벡터들의 직교조건, 평행조건, 길이 일정조건 등이 식으로 표현되며, 기구 전체의 기구 운동을 유일하게 정의하므로 기구의 해석식이나 합성식으로 사용할 수 있다.