

열공학 부문

이 글에서는 대류 및 물질전달, 복사열전달, 연소공학, 환경 및 공해, 열시스템 제어 및 계측, 공정열공학, 열역학 및 열물성, 열기기-열교환기, 냉각 및 저온공학 그리고 마이크로열 공학 등의 2003년 한 해 동안 연구 동향에 대해 소개한다.

글 · 이진호 부문위원장(연세대학교, 교수)
e-mail · jinholee@yonsei.ac.kr

대류 및 물질전달

대류 및 물질전달 분야에 대한 연구들을 살펴보면 다양한 시스템에 대한 대류 열전달 특성 파악과 함께 해당 시스템의 보호를 위한 냉각 기술의 연구들이 활발히 수행되었다. 강제대류에 의한 전달현상 연구의 경우, 가스터빈이나 열교환기와 같은 고온부품과 관련하여 열전달 감소나 향상 기법 등에 대한 실험, 수치적 연구들이 수행되었다.

열교환기 내에서의 유로설계 기술의 경우, 최근 주목받고 있는 분산발전 시스템 개발에 있어 매우 중요한 연구 요소로서 작은 공간 내에서 주름지거나 꺾어진 형태의 다양한 유로 및 단면 형상의 유로를 사용하여 접촉면의 대류 열전달 향상을 목적으로 하며, 이러한 내부유로를 모사한 꺾어진 형태의 덕트에서 나프탈렌 승화법을 이용하여 꺾임각 변화 등에 따른 전열면 국소 열/물질 전달 측정 실험 연구가 진행되었다.

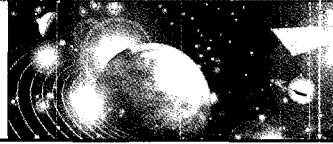
자연대류에 의한 전달현상 연구의 경우, 다양한 대상에 대한 연구가 진행되었다. 초전도 기기에 중요한 요소로 사용되어지는 전류도입선의 경우, 전선에 의한 저온부로의 열전도를 막기 위하여 저온부를 액체의 포화 압력 이하로 유지시켜 저온 기체의 자연 대류 효과를 이용하여 전류도입선을 냉각시키는 연구가 수행되었다. 또 다른 응용 연구로서 터널 내 화재시 터널 단면의 종횡비에 따른 화염 주위의 공기 거동에 관한 실험적 연구도 진행되었다. 그 밖에, 기초연구로서 사각 물체가 존재하는 밀폐계에서 종횡비의 변화에 따른 내부 자연대류 현상에 대한 수치적 연구 또한 진행되었다.

막냉각 기술은 가스터빈 엔진의 효율향상과 고온 작동조건 하에서의 허용수명 및 안정성을 높이기 위

한 냉각 기술 중의 하나로서 일반적으로 1열 또는 2열 이상의 막냉각 홀열을 사용한다. 또한, 원형홀 분사의 단점을 극복하기 위하여 주유동의 방향과 일정 각도로 유체를 분사시키거나 홀 형상을 변화시켜 홀의 출구면적으로 확장시키는 방법에 관한 연구가 진행되어왔으며, 기본적인 원형홀의 막냉각 결과와 비교되었다. 이 밖에도 보다 실질적인 실험조건 부여를 위하여 주유동의 난류강도 변화에 따른 막냉각 성능의 변화 효과도 살펴 보았으며, 저 난류강도에서의 결과물과 비교되어졌다. 이와는 별도로 가스터빈 블레이드의 틱간극 영역에서의 열부하 측정 실험적 연구도 수행되었는데, 이러한 열부하는 고속회전하는 터빈 동익의 압력면으로부터 흡입면으로의 강한 2차유동 발생에 의한 대류 열전달 효과로 인해 발생한다.

가스터빈 블레이드의 내부에 존재하는 요철이 설치된 내부관의 경우 실험적인 접근시 구현할 수 없는 실제 가스터빈의 운전조건 등을 모사하기 위하여 CFD기법 개발 연구가 수행되었다. 기존의 Reynolds 평균 Navier-Stokes 해석의 경우 내부관에서의 난류강도나 표면 열전달을 제대로 예측하지 못하는 단점을 안고 있기 때문에 내부관의 벽근처에 충분히 많은 격자를 주고 큰 에디 모사(LES : Large Eddy Simulation)를 수행하여 벽면에서의 국소 대류 열전달 분포를 예측해보려는 연구가 수행되었다.

이러한 단상 대류에만 국한되지 않고 상변화를 병행한 이상 대류열전달 연구들도 활발히 수행되어졌다. 우선, 기존의 열전달 유체인 냉온수, 증기 그리고 냉매 등은 이용 조건에 따라 각자의 사용한계가 있으며, 최근 들어 이를 보완하는 새로운 열전달 유체로 잠열에 의한 열전달 계수의 증가와 미립 입자 첨가에 따른 마찰 계수 감소 효과를 보이는 상변화



물질 슬러리(phase-change-material slurry)에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한, 실제 반도체 장비 등의 고열 발열체에 사용되어지는 이상유동에서 핵비등 발생률을 높이기 위하여 cavity를 발생시키는 연구도 진행 중이다.

전자부품 냉각기술로 주목을 받고 있는 히트파이프에 대해 발표된 연구들을 살펴보면, 스크린 메시를 사용하는 히트 파이프에서 메시의 기공률 변화에 따른 모세관력, 모세관 열수송한계 및 열저항 등에 대한 이론적인 연구가 수행되었으며, 실험적 연구로서 유입열량과 파이프 기울기 각도, 냉각수 온도를 변화시키면서 VCHP(Variable Conductance Heat Pipe)의 열적 특성 측정을 수행하였다. 또한, 진공관형 태양열 집열기에 적용되는 히트 파이프의 작동 유체로서 0°C에서 얼지 않는 2성분 혼합 작동 유체(binary mixture working fluid)를 사용하여 응축부 온도를 변화시키며 그 열적 특성을 측정하는 실험도 수행되었다. 마지막으로 VCHP에서 사용되는 NCG(Non-Condensable Gas)의 양에 따른 열전달 특성을 살펴보기 위한 실험적 연구도 수행되었다. 이 경우, NCG의 압력과 작동유체의 상의 조합이 뜨거운 매체의 온도조절에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

이 밖에 대류열전달 과정 중에 유동 내의 음향장이 열전달에 미치는 영향 및 자성유체의 대류열전달 특성 등에 대한 실험적 접근이 이루어졌다. 이와 같이 대류 및 물질전달 분야에 대한 연구들은 2003년에도 시스템에 대한 열전달 특성 및 새로운 냉각기술에 대한 연구들이 활발하게 수행되어졌다. [조형희, 연세대학교]

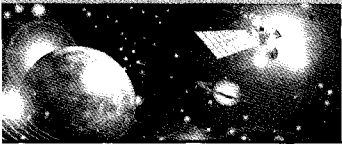
복사열전달

지난 한 해 동안 복사열전달 분야에서는 해석 기법에 관한 연구를 중심으로 2002년도에 비해 상대적으로 다양한 연구 실적들이 학회 논문을 통해 발표되었다. 복사 물질 측정, 혼합 매질 내에서의 복사 특성, 연소 등에 관한 기초 연구뿐 아니라 연소기, 쓰레기 소각로, 태양열 집열 시스템 등에 관한 다양한 응용 연구가 실험 및 이론적 방법으로 수행되고

그 결과가 보고되었다.

먼저 수치해석적 연구로서, 축대칭 밀폐공간 내에서의 흡수, 방사, 산란 매질에 대한 복사열전달을 구분종좌법(discrete ordinate method)과 유한체적법(finite volume method)을 이용하여 해석하고 방향미분항의 효과를 고찰한 연구가 수행되었다. 또한, 유한차분법(finite difference method)과 직접구분종좌법(direct discrete ordinates method)을 이용하여 무한 정사각관 내부의 전도와 복사 열전달을 계산하고 내벽 온도 및 방향에 따른 표면의 입사, 방사 특성을 해석한 연구도 발표되었다. 한편, 대기압 하에서 CO₂-H₂O-N₂ 가스 혼합물의 복사전달 특성을 파장별 회색가스가중합법(WSGGM)을 도입하여 해석한 연구에서는, 회색가스의 재조합 특성을 중점적으로 분석하였다.

확산 방사 및 반사 특성을 지닌 불투명 표면 내의 흡수/방사/산란 매질에 대한 계면의 방사율 예측을 위한 역복사해석(inverse radiation analysis) 연구에서는 계산 효율을 증진하기 위한 혼합형 유전 알고리즘(hybrid genetic algorithm)이 제시되기도 하였다. 연소 문제와 관련하여서는, 선회(swirl)가 있는 3차원 연소기 내 연소특성을 규명하기 위한 연구가 수행되어 난류연소에 의한 열적 NO 방사 특성을 분석하였다. LPG 화염의 연소 특성과 관련하여서는, 동축 공기다단(multi-air staged) 연소기 내 질소산화물(NO_x)의 생성 특성에 대한 연구가 진행된 바 있다. 특히, 과잉공기비와 선회수(swirl number)가 질소산화물 생성에 미치는 영향이 실험 및 수치 계산을 통해 중점적으로 분석되었다. 한편, 구분종좌표보간법(discrete ordinates interpolation method)이 지닌 유연성과 높은 정확도라는 장점을 살리면서도 파생 오차를 보정하기 위한 방안으로서, DOIM 기법과 유한체적법을 결합하고 검사체적 표면에서 복사강도를 고려한 2차법(quadratic scheme)과 보정법(decoration scheme)이 제안되었고, 이를 이용한 복사 열정산에 관한 해석 결과가 발표되었다. 이 밖에도, 광학적 두께가 1보다 크거나 산란 알베도(albedo)가 큰 경우에 유한체적법과 구분종좌법의 수렴이 지연되는 문제를 해결하기 위해서 FAS(Full Approximation



Storage) 다중격자법을 사용하여 해의 수렴을 촉진 시키려는 연구도 진행되었다.

복사 물성의 측정 부문에서는, 반구면경을 이용한 전도체와 절연체의 파장별방사율(spectral emissivity) 계측 기법에 관한 연구 결과가 보고되었다.

복사열전달 응용 분야에서는, 진공침탄로(vacuum carburizing furnace) 내 복사열전달 특성을 실험 및 수치 계산을 통해 해석한 연구가 발표되었다. 또한, 집시형 태양에너지 집열 시스템에서 일어나는 열손실을 예측하기 위해서 Stine 모델, McDonald 모델과 몬테칼로법을 적용한 수치계산 연구가 수행되기도 하였다. 한편, 소각로 분야에서는 저공해 도시 쓰레기 소각로의 연소특성을 파악하기 위한 수치계산 연구가 진행되었다. 이외에도 복사열전달 현상을 마이크로 열공학분야에 적용한 응용 연구로서, 레이저 가공 공정을 통한 나노입자 합성 연구가 수행되었으며 레이저 빔에 의한 액체의 급속한 기화현상을 미세 오염입자 제거 이용한 세척 공정에 관한 연구 결과가 발표되기도 하였다. [김동식, 포항공과대학교]

연소공학

2003년도 한 해 동안 대한기계학회논문집 B권에 발표된 논문 중 연소공학 분야로 분류되는 논문은 총 32편으로, 전년(2002년 30편)과 큰 차이가 없이 열유체 분야의 약 15% 수준이다. 논문의 내용을 바탕으로 화염의 구조에 관한 기초 연구, 오염 물질의 생성에 관련된 기초 연구와 연소기의 설계 등과 관련된 응용 연구의 세 분야로 크게 나눌 수 있다.

화염의 구조에 관한 기초 연구

화염의 구조와 안정성에 관련된 기초 연구로는 (1) 예혼합 화염에 대한 산소부화의 효과, 예혼합 종류 화염속도 및 화염두께 예측, 고압 하에서의 점화 이론 해석 등 예혼합 화염과, (2) 부상화염의 blow-off 특성, 확장된 축소반응기구의 비정상 응답특성, 음향 가진된 종류 비예혼합 분류 화염의 가시화, 수소-액체산소 화염의 음향과 응답 특성, 대향류 확산

화염의 비선형 음향과 응답특성, 확산화염의 CO₂ 첨가 특성, 화염 내의 단일 와동의 동적 거동, 대향류 비예혼합화염의 소염, 안정화 특성, 고온 예열 공기 난류 비예혼합 화염의 특성 등 확산(비예혼합) 화염에 대한 연구, (3) 초음파를 이용한 부상유적군의 연소, 고압에서의 분무의 증발 및 연소, 고압분사 경유-물 혼합연료, 연료 액적의 연소 수치해석 등 분무 연소에 관한 연구 등과, (4) 초소형 연소기(micro combustor)에서의 열손실, 화염 전파에 대한 연구 논문 등이 발표되었다. 특히 음향 가진에 따른 화염의 응답 특성에 대한 연구 결과가 많이 눈에 띄는 한 해였다.

화염 내에서의 NOx 등 오염물질 생성

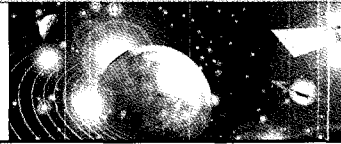
화염 내에서의 오염물질 생성에 관한 연구 논문은 NOx와 매연(soot)의 생성에 주로 관심이 있는데, 올해 다단연소기를 이용한 저 NOx 연소, 동축 공기 다단 LPG화염의 NOx 생성, 희석제 첨가에 따른 매연과 질소산화물의 배출특성 등의 5편의 논문이 발표되었으나, 전년에 비해 그 수가 많이 감소하였다.

응용 연구

응용 연구 분야에서의 연구로는 건 타입 버너의 슬릿과 스월 베인이 난류화염 유동장에 미치는 영향, 건타입 버너의 수소 연소와 쓰레기 소각로의 연소특성, 등의 3편의 연구 결과가 발표되었으나, 연소 이론 및 기초 분야와 비교하여 활발하지 못하다.

이외에는 물 분무를 이용한 화재제어 실험, 화염을 이용한 탄소나노튜브의 합성, 보일러 화염감시 시스템 개발 등이 흥미로운 논문이었다.

발표된 연구 논문을 중심으로 2003년의 연소공학 분야의 연구 경향을 정리해보면, 전년인 2002년과 유사하게 화염 구조와 안정성에 관한 연구 분야의 논문, 오염 물질의 생성에 관련된 연구 내용이 큰 흐름이지만, 2003년도에는 화염의 구조 분야의 연구 결과의 발표가 많이 늘어난 반면 오염물질 제어 분야와 연소 응용 분야의 연구 결과 발표는 상대적으로 저조하였다는 점이 특징이며, 전년에 이은 미세연소기에 관련된 연구 결과와 연소공학 분야의 새로 떠오르는 연구 주제인 화재제어, 탄소나노물질 합성, 화염감



시 시스템에 대한 논문이 발표된 것이 흥미를 끄는 수확물이다.

화염의 구조에 관한 기초 연구 (20)

- $CH_4/CHCl_3/O_2/N_2$ 예혼합 화염 구조에서 산소부화의 효과, 이기용(K.Y.Lee)
- 메탄-공기 예혼합기에서의 층류 화염속도 및 화염두께 예측, 권순익(S-I K), 보웬 필립(Philip J. Bowen)
- 고압하에서 수소-산소의 정체점 점화에 관한 이론적 해석, 이수룡(S-R L)
- 동축 확산 부상화염의 Blow-off와 연소 특성, 광지현(J.H.Kwark), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)
- CH_4 비예혼합화염의 수치계산에 적용하기 위한 확장된 축소반응기구의 비정상 응답특성 검토, 오창보(C.B.Oh), 박정(J.Park), 이창언(C.E.Lee)
- 음향 가진된 층류 비예혼합 분류 화염에서 거대 와류 거동에 관한 가시화 연구, 이기만(K.M.Lee), 오세기(S.K.Oh), 박정(J.Park)
- 수소/공기 대향류 확산화염의 비선형 음향파 응답특성에 관한 연구, 김홍집(H.J.Kim), 정석호(S.H.Chung), 손채훈(C.H.Sohn)
- CH_4 -공기 제트 확산화염에서 CO_2 첨가에 따른 단일 와동의 동적거동에 관한 연구, 황철홍(C-H H), 오창보(C-B O), 이대엽(D-Y L), 이창언(C-E L)
- 대향류 반응 및 비반응 유동장에서의 단일 와동의 동적 거동, 유병훈(B-H Y), 오창보(C-B O), 황철홍(C-H H), 이창언(C-E L)
- 와동과 상호작용하는 대향류 비예혼합화염의 소염특성, 오창보(C-B O), 이창언(C-E L)
- 다수 비예혼합 화염의 안정화 특성, 김진선(J-S K), 이병준(B-J L)
- 스웰이 있는 3차원 모델 연소기 내의 연소특성, 김만영(M.Y.Kim)
- 고온 예열 공기에 의한 난류 비예혼합 화염의 연소 특성, 광지현(J.H.Kwark), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)

- 가스터빈 연소기내 CARS 온도측정을 통한 연소해석, 이종호(J.H.Lee), 박철웅(C.W.Park), 한영민(Y.M.Han), 고영성(Y.S.Ko), 이수용(S.Y.Lee), 양수석(S.S.Yang), 이대성(D.S.Lee)
- 초음파를 이용한 부상유적군의 연소기구에 관한 기초연구, 정진도(J.D.Chung), 김승모(S.M.Kim)
- 고압에서의 분무의 증발 및 연소 현상에 관한 연구, 왕태중(T-J W), 백승욱(S-W B)
- 고압분사 경유-물 혼합연료의 연소특성, 정대용(B-Y J), 이종태(J-T L)
- 탄화수소 연료 액적의 연소 특성에 관한 수치해석, 이봉수(B.S.Lee), 이경재(K.J.Lee), 김종현(J.H.Kim), 구자예(J.Y.Koo)
- 압력 변화 모사를 통한 초소형 연소기에서의 열손실 예측 모델 개발, 최건형(K.H.Choi), 권세진(S.J.Kwon), 이대훈(D.H.Lee)
- 초소형 연소기내 화염전파의 수치모사, 최권형(K.H.Choi), 권세진(S.J.Kwon), 이대훈(D.H.Lee)

오염 물질의 생성에 관련된 기초연구 (5)

- 다단연소기를 이용한 저 NO_x 연소특성 연구, 조은성(E.S.Cho), 성용진(Y.J.Sung), 정석호(S.H.Chung)
- 동축 공기다단 LPG화염의 NO_x 생성특성에 관한 연구, 김한석(H.S.Kim), 안국영(K.Y.Ahn), 김호근(H.K.Kim), 유명종(M.J.Yu), 백승욱(S.W.Baek)
- 정체점 유동장에서 수소-액체산소 화염의 음향과 응답 특성, 박성우(S.W.Park), 정석호(S.H.Chung), 김홍집(H.J.Kim)
- 난류 비예혼합 평면화염의 유동과 연소 특성, 광지현(J.H.Kwark), 정용기(Y.K.Jeong), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)
- 층류 확산화염에서의 매연과 질소산화물의 배출특성 : 공기축/연료축 희석제 첨가에 따른 영향, 이종호(J.H.Lee), 엄재호(J.H.Eom), 박철웅(C.W.Park), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)



연소기의 설계 등과 관련된 응용 연구 (4)

- 콘형 배플판을 갖는 Gun식 가스 버너의 난류 유동장에 대한 슬릿과 스웰배인의 역할, 김장권(J.K.Kim), 정규조(K.J.Jeong)
- 저공해 도시 쓰레기 소각로의 연소특성 연구, 손영민(Y.M.Sohn), 김만영(M.Y.Kim), 백승욱(S.W.Baek)
- Gun식 가스버너의 난류유동장 발달에 미치는 슬릿과 스웰배인의 영향, 김장권(J-K K)
- 건타입 버너의 수소 연소에 관한 연구, 이영림(Y.L.Lee), 이금배(K.B.Lee), 심규성(K.S.Sim), 전용두(Y.D.Jun), 유재은(J.E.Ryu)

기타 (3)

- 물분무를 이용한 화재제어에 관한 실험적 연구, 김성찬(S.C.Kim), 박현태(H.T.Park), 유홍선(H.S.Ryou)
- 메탈나이트레이트가 도포된 기판과 C2H4 역확산화염을 이용한 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유의 합성, 이교우(G-W L), 정중수(J-S J), 황정호(J-H H)
- 보일러 연소관리를 위한 화염감시 시스템 개발에 관한 연구, 백운보(W.B.Baek), 신진호(J.H.Shin)

www.metric.or.kr/에서의 검색 결과
대한기계학회논문집 B 2003.

2003. 1.

- 가솔린 직접분사식 고압선회 분사기의 분무영역별 분무 특성 고찰, 송범근(B.K.Song), 김원태(W.T.Kim), 강신재(S.J.Kang)
- 다단연소기를 이용한 저 NOx 연소특성 연구, 조은성(E.S.Cho), 성용진(Y.J.Sung), 정석호(S.H.Chung)
- 압력 변화 모사를 통한 초소형 연소기에서의 열손실 예측 모델 개발, 최건형(K.H.Choi), 권세진(S.J.Kwon), 이대훈(D.H.Lee)
- 스웰이 있는 3차원 모델 연소기 내의 연소특성,

김만영(M.Y.Kim)

2003. 2.

- 바이오디젤유(미강유 에스테르)를 이용한 농업용 디젤기관의 연소 특성, 유경현(K.H.Ryu), 윤용진(Y.J.Yun), 오영택(Y.T.Oh)
- 동축 공기다단 LPG화염의 NOx 생성특성에 관한 연구, 김한석(H.S.Kim), 안국영(K.Y.Ahn), 김호근(H.K.Kim), 유명종(M.J.Yu), 백승욱(S.W.Baek)
- CH₄ 비예혼합화염의 수치계산에 적용하기 위한 확장된 축소반응기구의 비정상 응답특성 검토, 오창보(C.B.Oh), 박정(J.Park), 이창언(C.E.Lee)
- 음향 가진된 층류 비예혼합 분류 화염에서 거대 와류 거동에 관한 가시화 연구, 이기만(K.M.Lee), 오세기(S.K.Oh), 박정(J.Park)

2003. 3.

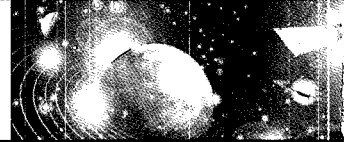
- 물분무를 이용한 화재제어에 관한 실험적 연구, 김성찬(S.C.Kim), 박현태(H.T.Park), 유홍선(H.S.Ryou)

2003. 4.

- 정체점 유동장에서 수소-액체산소 화염의 음향과 응답 특성, 박성우(S.W.Park), 정석호(S.H.Chung), 김홍집(H.J.Kim)
- 난류 비예혼합 평면화염의 유동과 연소 특성, 광지현(J.H.Kwark), 정용기(Y.K.Jeong), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)
- 콘형 배플판을 갖는 Gun식 가스 버너의 난류 유동장에 대한 슬릿과 스웰배인의 역할, 김장권(J.K.Kim), 정규조(K.J.Jeong)
- 저공해 도시 쓰레기 소각로의 연소특성 연구, 손영민(Y.M.Sohn), 김만영(M.Y.Kim), 백승욱(S.W.Baek)

2003. 5.

- 고온 예열 공기에 의한 난류 비예혼합 화염의 연소 특성, 광지현(J.H.Kwark), 전충환



(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)

- 순수 DME의 직접분사식 디젤기관의 성능 및 배기가스 특성, 표영덕(Y.D.Pyo), 이영재(Y.J.Lee), 김강출(G.C.Kim), 김문현(M.H.Kim)
- 층류 확산화염에서의 매연과 질소산화물의 배출특성 : 공기측/연료측 희석제 첨가에 따른 영향, 이종호(J.H.Lee), 엄재호(J.H.Eom), 박철웅(C.W.Park), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)
- 초소형 연소기내 화염전파의 수치모사, 최권형(K.H.Choi), 권세진(S.J.Kwon), 이대훈(D.H.Lee)
- CH₄/CHCl₃/O₂/N₂ 예혼합 화염 구조에서 산소부화의 효과, 이기용(K.Y.Lee)

2003. 8.

- 동축 확산 부상화염의 Blow-off와 연소 특성, 박지현(J.H.Kwark), 전충환(C.H.Jeon), 장영준(Y.J.Chang)
- 가스터빈 연소기내 CARS 온도측정을 통한 연소 해석, 이종호(J.H.Lee), 박철웅(C.W.Park), 한영민(Y.M.Han), 고영성(Y.S.Ko), 이수용(S.Y.Lee), 양수석(S.S.Yang), 이대성(D.S.Lee)
- 수소/공기 대향류 확산화염의비선형 음향파 응답특성에 관한 연구 / Air Counterflow Diffusion Flames, 김홍집(H.J.Kim), 정석호(S.H.Chung), 손채훈(C.H.Sohn)
- 초음파를 이용한 부상유적군의 연소기구에 관한 기초연구, 정진도(J.D.Chung), 김승모(S.M.Kim)

2003. 9.

- 메탄-공기 예혼합기에서의 층류 화염속도 및 화염두께 예측, 권순익(S-I K), 보웬 필립(Philip J. Bowen)
- CH₄-공기 제트 확산화염에서 CO₂ 첨가에 따른 단일 와동의 동적거동에 관한 연구, 황철홍(C-H H), 오창보(C-B O), 이대엽(D-Y L),

이창언(C-E L)

- 대향류 반응 및 비반응 유동장에서의 단일 와동의 동적 거동, 유병훈(B-H Y), 오창보(C-B O), 황철홍(C-H H), 이창언(C-E L)
- 고압에서의 분무의 증발 및 연소 현상에 관한 연구, 왕태중(T-J W), 백승욱(S-W B)
- Gun식 가스버너의 난류유동장 발달에 미치는 슬릿과 스웰베인의 영향, 김장권(J-K K)

2003. 10.

- 고압하에서 수소-산소의 정체점 점화에 관한 이론적 해석, 이수룡(S-R L)
- 와동과 상호작용하는 대향류 비예혼합화염의 소염특성, 오창보(C-B O), 이창언(C-E L)
- 다수 비예혼합 화염의 안정화 특성, 김진선(J-S K), 이병준(B-J L)
- 고압분사 경유-물 혼합연료의 연소특성, 정대용(B-Y J), 이종태(J-T L)
- 메탈나이트레이트가 도포된 기관과 C2H4 역 확산화염을 이용한 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유의 합성, 이교우(G-W L), 정종수(J-S J), 황정호(J-H H)

2003. 11.

- 건타입 버너의 수소 연소에 관한 연구, 이영림(Y.L.Lee), 이금배(K.B.Lee), 심규성(K.S.Sim), 전용두(Y.D.Jun), 유재은(J.E.Ryu)
- 보일러 연소관리를 위한 화염감시 시스템 개발에 관한 연구, 백운보(W.B.Baek), 신진호(J.H.Shin)
- 탄화수소 연료 액적의 연소 특성에 관한 수치해석, 이봉수(B.S.Lee), 이경재(K.J.Lee), 김종현(J.H.Kim), 구자예(J.Y.Koo) [정종수 · 이교우, 한국과학기술연구원]

환경 및 공해

환경 및 공해와 관련된 기술은 좁은 의미의 기술과 넓은 의미로 나누어 볼 수 있다. 좁은 의미의 환



경 및 공해 기술은 단순히 환경오염의 방지나 처리와 관련된 기술을 말한다. 즉 대기오염, 수질오염 등을 방지하거나 저감하는 시설 등을 제조 혹은 서비스하기 위한 기술을 이야기 한다. 넓은 의미에서의 환경 및 공해 기술은 새로운 환경 창출과 관련된 모든 재화 및 서비스까지 창출하기 위한 기술을 의미한다. 처음 환경 및 공해와 관련된 문제가 사회적으로 이슈화 되고 이에 대한 기술개발의 필요성이 재기 되었을 때 기술개발 흐름이 좁은 의미에서 머물렀던 것과는 다르게 현재는 넓은 의미의 기술 개발까지 관심을 가지고 기술적인 흐름이 나아가고 있다. 특히 21세기 환경 및 공해 문제를 해결하기 위한 기술 개발 중 기계공학적인 접근 방식은 더욱더 필요해지고 있다. 최근에는 기계공학에서 접근할 수 있는 요소기술이나 시스템 기술이 환경기술(BT)와 나노기술(NT)이 결합되는 새로운 형태로도 나타나고 있다. 2003년에 대한기계학회논문집에 수록된 국내 기계공학 연구자들의 연구를 1) 연소기관의 성능향상 및 공해저감을 위한 연소기술, 2) 실내 공기질 및 환기기술, 3) 환경처리기술 및 오염제거기술과 4) 친환경적 나노기술로 분류하여 살펴보았다.

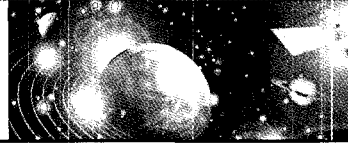
연소기관의 성능향상 및 공해저감을 위한 연소기술

세계 각 국은 대기환경문제에 큰 관심을 보이고 있으며, 지구환경을 보호하기 위해서 국제적인 협약을 통해서 지구환경을 보존하기 위한 국제적인 대응이 이루어지고 있다. 또한 자국의 환경을 보호하기 위해 수입되는 차량과 제품에 대해서 자국에서 요구하는 수준의 환경 기준치에 맞출 것을 요구하고 있다. 하지만 자동차 연료의 주종인 화석연료는 연소가 이상적으로 이루어진다고 해도 CO₂ 발생을 피할 수 없는 한계가 존재한다. 따라서 이를 해결하기 위해 CO₂ 자체를 연소나 후처리기술로 저감할 수 있는 방안은 제시되어 있지 못하고, 연료 사용을 획기적으로 저감하는 저연비 자동차를 개발함으로써 CO₂의 생성량을 줄이는 것이 가장 현실적인 대안으로 제시되어 있다. 따라서 계속하여 강화되고 있는 배출가스 기준을 만족하면서 동시에 저연비 기술을 개발하여야 하는 저공해 저연비 기술이 향후 자동차 개발

의 핵심 방향이 되고 있다. 이와 관련된 연구는 가솔린 기관과 디젤 기관 연구 분야로 크게 나눌 수 있으며 2003년도 기계공학부문의 연소기관의 성능 향상과 공해저감을 위한 연구를 보면 디젤 자동차의 경우 직접 분사식 디젤 기관의 성능 및 배기가스 특성에 관한 연구가 있었으며 공기와 연료의 희석 비율에 따라 매연과 질소산화물의 배출특성에 관한 연구가 있었다. 가솔린 기관과 관련해서는 가솔린 직접 분사식 고압선회 분사기의 분무영역별 분무 특성에 관한 연구가 있었다. 최근 정부차원에서 차세대성장동력 산업으로 미래형 자동차를 선정하였고 이와 관련해서 저공해 자동차 엔진 개발과 차량용 친환경 기술 개발 등을 핵심 개발 과제로 선정하였다. 따라서 향후 이 분야에 많은 연구가 진행되리라 전망된다.

실내 공기질 및 환기기술

우리나라는 1980년대 말부터 청정기술에 관심을 갖기 시작하여 1990년에는 한 대학 연구소에서 개최한 국제 심포지움을 계기로 공기질 및 환기에 관한 클린텍에 대한 연구가 활발해졌다. 정부 차원에서는 1992년부터 시작한 G-7 프로젝트(국가적선도기술개발사업)중 환경기술개발사업에 청정기술이 포함된 것이 시초이다. 특히 2003년도에는 새집 증후군 등과 같은 실내 공기질 문제가 사회적인 이슈화가 되어 정부차원에서는 실내 공기질에 관한 관심과 위험성을 반영해 기존의 지하생활공간공기질관리법(환경부)을 실내 공기질 관리법으로 수정하였고 법적인 규제치를 대폭 보강하였다. 학계에서는 실내 공기질의 관심에 부합하여 최근에 한국실내환경학회가 창립되었다. 환기 기술과 관련해서는 터널과 지하철 등의 대형 사고를 계기로 사회적으로 많은 관심이 증가하여 많은 연구가 진행되었다. 2003년도 실내 공기질과 관련된 연구를 보면 실내에 존재하는 미세 먼지의 특성을 분석하고 필터 및 집진 방식을 이용한 저감 방법에 연구가 있었다. 필터 방식의 경우 산업 현장에서 사용되던 필터 성능 평가 방식을 벗어나 실내 환경에 맞는 평가 방식이 제안되었으며 집진 방식의 경우 입자 제거 효율을 극대화하기 위한 설정 조건과 코로나 방전 방식을 이용한 전기 집진기의 성능 평가 등에 대한 연구가 있었다. 환기 시설의 경우는



난류모델을 이용한 정사각형 덕트 내 유동해석, 극저습 공조실의 환기성능에 대한 수치적 모사, 터널 환기제어를 위한 차종별 오염물 배출량 추정 등의 연구가 있었다.

환경처리기술 및 오염제어기술

환경문제는 수질오염, 폐기물 처리 등 우리생활 주변의 문제와 더불어, 대기오염이 원인이 되는 오존층 파괴, 지구온난화, 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. 2003년 기계공학 부문과 관련된 연구로 중화기를 이용한 나노입자의 하전 특성 분석, 고하전 입자의 크기분포 측정과 중화기 성능과의 관계 등 대기 중의 나노입자 특성 분석에 대한 연구가 있었다. 미세 입자 및 가스상 물질 저감을 위한 연구로는 배리어 유전체 방전을 이용한 미세먼지 제거, 활성탄 또는 촉매를 이용한 배리어 유전체 방전기의 나노입자 제거 특성 등이 있었다. 또한 도시에 존재하는 소각로에서 배출되는 연소 물질들의 특성을 분석하여 소각로 연소 특성을 분석한 연구도 있었다.

친환경적 나노기술

국내의 경우 나노 기술 연구기반 구축을 위하여 과학기술부와 산업자원부가 중심이 되어 나노입자 제어기술, 초미세표면과학연구, 극미세구조기술 개발, 분자과학 연구, 테라급 나노소자 개발, 소재(분석)환경 공정 생체과학 소자/시스템, 고기능 나노복합체 개발 등에 중점을 두고 있다. 나노 기술은 전자소자를 중심으로 국내에서도 빠른 속도로 산업화되

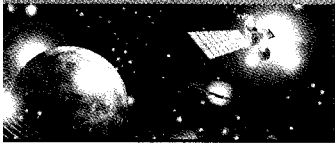
고 있는 추세이다. 환경부가 주관하고 있는 차세대 핵심환경기술개발사업은 현재 국내에서 직면하고 있는 환경과학기술을 집중 개발하여 심화하고 있는 환경오염 문제를 적극 해결하고 국가 경쟁력을 향상시키고자 하는 것으로서 2001년부터 10년간 총 1조 원을 투자함으로써 중장기적으로 오염저감 환경개선 등에 폭넓게 활용할 수 있는 환경친화적인 소재 제품과 공정 공법 기술개발을 선택하여 집중적인 지원을 하고 있다. 이 사업은 환경오염 저감 예방 복원에 필요한 환경기술(ET)과, 나노(NT) 생명공학(BT) 정보기술(IT)의 융합을 위하여 통합환경관리기술, 생태계 보존 및 복원기술, 사전오염예방기술, 지구환경보존기술, 그리고 환경관리정보화 촉진기술 등이 진행되고 있다. 이와 관련해서 2003년 기계공학 분야의 연구로는 금속 마이크로 입자 및 압밀 시편의 펄스레이저 어블레이션에 의한 나노입자 합성과 전기가열 튜브로를 이용한 나노/서브마이크론 입자의 발생에 관한 연구가 있었다. 또한 전자부품의 패키징에 사용되는 솔더를 나노기술을 이용해 친환경적인 물질로 제조하려는 연구가 있었다. 향후 전자 제품에 살균기능이 추가되고 환경에 관심이 증가하면서 환경 친화적인 나노입자의 제조에 대한 연구가 활발히 진행되리라 생각된다. [황정호, 연세대학교]

열 시스템 제어 및 계측

열 시스템 제어 및 계측에 관련해서 2003년도 한 해 동안 대한기계학회논문집에는 30편 정도의 연구 논문이 발표되었다. 이는 전년과 비교하면 거의 같은 편수로서 이 분야에서의 연구 활동이 꾸준히 이루어지고 있음을 나타내고 있다. 2003년도에 발표된 열 시스템 제어 및 계측 분야의 논문을 몇 개의 세부 분야로 나누어 정리하였다.

레이저 이용 PIV, 가시화 등

연구논문을 측정 방법에 따라 세분화하면 레이저를 이용한 계측에 관한 논문이 상당히 많은 편수를 차지하였다. 레이저를 이용한 계측 중 PIV는 속도장 측정과 입자 액적의 크기 및 분포를 측정하는 데 적용되는데 작년에 이어 올해에도 PIV를 생체공학에



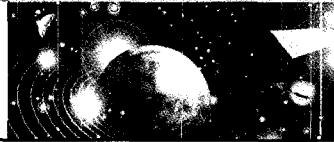
적용한 연구가 눈길을 끌었다. '아테노이드 비대중에 의한 비정상 비강 내 유동의 PIV 해석'은 비강 내의 질환에 대하여 의사들의 주관적 판단에만 의존할 것이 아니라 유동해석 결과를 참조하여 보다 객관적인 진단을 할 수 있게 하기 위한 연구이다. 이 연구에서는 비강 내의 공기 유동을 PIV를 이용하여 정량적으로 측정하는 방법론을 확보하고, 표준 한국인의 비강모델을 기본으로 하여, 비정상 비강내의 공기 유동에 대한 첫 데이터를 제공하였다.

'PIV/LIF기법에 의한 교반혼합기 내의 속도장과 농도장 동시 측정'은 러쉬톤 터빈을 이용한 교반기 내의 순간적인 속도장과 농도장을 측정한 논문이다. 이 연구에서는 혼합메카니즘에서 수동적인 스칼라량이 난류혼합영역에서는 국소적인 유동과 큰 영향이 있음이 밝혀졌다. 동일한 저자에 의한 유사한 주제로서 '스테레오 PIV 기법에 의한 임펠러 와류유동의 3차원 구조측정'이 발표되었다. 이 연구에서는 혼합탱크의 팁 근처의 측정 부피를 일정 두께로 분할한 여러 평면을 스테레오 입자영상유속 측정기법을 이용하여 계측하여 일정 부피 내의 평균 유동장을 획득하였다. 스테레오 PIV에 관한 연구로 'Stereo-scopic PIV 기법을 이용한 선박용 프로펠러 후류의 3차원 속도장 측정'에서는 프로펠러 후류의 복잡한 유동 구조를 스테레오 PIV를 이용하여 파악하였다. 이 연구에서는 3차원 속도장을 측정해야 속도 성분에 들어있는 원근오차를 줄일 수 있다는 것이 밝혀졌고, 후류의 거리가 증가하면 원근오차가 상대적으로 작게 나타나기 때문에 2-D PIV를 이용한 공학적 해석도 유용하다고 제시되었다. 스테레오 PIV에 관한 또 다른 연구로 '호모지니어스 좌표계를 이용한 3차원 스테레오 PIV 알고리즘의 개발'이 발표되었다. 이 연구에서는 본격적인 3차원 유동장의 한 단면상의 속도 벡터를 PIV로 계측하기 위하여 호모지니어스 좌표계와 상호상관식을 이용한 2프레임의 3차원 스테레오 PIV 기법이 제안되었으며, 영상 좌표를 사용하여 3차원 위치 정보를 획득함으로써 카메라 보정에 관한 오차를 줄일 수 있다는 결과를 얻었다. 동일 저자들에 의하여 유사한 연구로 '3차원 Volume PIV의 개발'이 발표되었다. 이 연구는 영상의 스테레오 정합시 에피폴라 라인을 이용하여 영상정합의

정확도를 높이고, 처리속도를 빠르게 한 의의가 있다.

PIV를 공조 분야에 응용한 연구로 'PIV 유동 계측을 통한 천장형 실내기의 최적 제어 설계'가 발표되었다. 대형 공간에 사용되는 천장형 실내기에 대하여 기류의 흐름을 1/10 모델공간에 대하여 PIV 속도계측 기법을 이용하여 가시화하였으며, 재흡입 현상과 소음 등을 고려하여 배인의 최적 각도를 30°로 제시하였다. '음향 가진된 층류 비예혼합 분류 화염에서 거대 와류 거동에 관한 가시화 연구'에서는 고정된 관 공명 주파수로 가진한 층류 비예혼합 화염에서 가진 크기에 따른 가시화 연구를 수행하였다. 이 연구는 같은 층류 화염 영역에서 가진 강도와 유동조건에 따라 전혀 다른 화염 부상 경로와 형태를 갖는 두 가지 영역이 존재한다는 사실을 처음으로 제시하였다. 이 이외에도 'PIV 기법을 이용한 병렬 평면제트의 유동특성(1)'에 관한 논문도 발표되었다.

PIV 이외의 광학 계측 분야로서 '열확산도 측정을 위한 광열 신기루 기법 개발'에 관한 연구가 있었다. 이 연구에서는 3차원 열전도 이론으로부터 기존의 열파결합식을 확장한 형태로 광열 신기루법을 적용하여 열적으로 두꺼운 시편의 열확산도를 측정할 수 있는 새로운 기법을 제시하였다. '비분산 적외선 분광법을 이용한 CO₂ 고속 분석기의 Sampling Module 특성에 관한 실험적 연구'는 고속 판단속이 가능한 반도체 레이저와 dual type photo-conductor 반도체 소자를 이용한 배기가스의 CO₂ 농도를 측정에 관한 연구이다. 이 연구에서는 실험과 함께 sampling module 수치해석을 통해 분석기 내부 가스의 속도와 밀도를 예측할 수 있는 방안도 제시하였다. '반구면경을 이용한 스펙트럼 방사를 측정법'에서는 왕복회전운동을 하는 반구면경을 이용하여 고체 재료의 스펙트럼 방사를 측정하는 방법을 연구하였다. 반구면경의 유효반사율은 제작당시에 이론적으로 설계된 값이 실제로 사용하면서 감소하게 되므로 이로 인한 측정 오차를 줄일 수 있는 유효반사율 측정 방법을 고안하였다. Synchrotron X-ray 미세영상기법은 내부가 보이지 않는 물체의 내부를 자세히 관측하는데 유용하다. 'Synchrotron X-ray 미세영상기법을 이용한



식물 목질부 내부 수액 유동의 계측'에서는 이 방법을 이용하여 비접촉식으로 내부가 보이지 않는 대나무 잎 내부 구조와 수액의 이동 과정을 실시간으로 관찰하였다. Synchrotron X-ray 미세영상기법은 식물과 같은 생체의 내부구조와 함께 물관 내부를 흘러가는 유체유동을 자세히 가시화함으로써 이 분야의 연구에 큰 진보를 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

입자 측정

입자의 크기 분포를 측정하는 방법에는 여러가지가 있으나, 광학적으로 측정하기 어려운 작은 크기의 입자는 전기적 입자분리기인 DMA(Differential Mobility Analyzer)로 분리해 응축 입자 계수기인 CPC로 측정하는 방법이 많이 사용되고 있다. '혼합 효과가 DMA와 CPC를 이용한 입자분포 측정에 미치는 영향에 관한 연구'에서는 부정 적분을 통해 얻은 시스템의 커널과 CPC 시간 응답 데이터를 이용해 입자분포의 근사값을 구해 그 결과를 비교하였다. '100nm NIST 표준입자를 이용한 미분형 전기 이동도 분석기의 교정 및 불확실도 측정'에서는 100nm NIST SRM 1963을 이용하여 DMA의 유량 교정, 정밀도 분석 및 불확실도를 측정하였다. 이 연구를 통하여 나노 입자의 측정 기술이 확립됨으로써 측정기기의 성능이 발전되고, 반도체 생산 시 공정 모니터링 장비의 정확한 검·교정이 가능해질 것으로 기대된다.

'에어로졸 중화기의 성능이 고하전 입자의 크기분포 측정에 미치는 영향'에서는 양극성 하전기인 에어로졸 중화기의 성능이 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer) 시스템의 입경분포 측정 결과에 미치는 영향을 연구하였다.

기타 측정법

5공프로브는 3차원 흐름에서 피치각, 요각, 전압과 정압을 직접 측정할 수 있는 수단이다. '5공 피토펜관 및 회전 열선 유속계에 의한 축류 환 내부 유동장 계측 및 평가'에서는 저압 축류환의 설계점 및 탈설계점 작동조건에 대해 열선 센서를 날개에 고정된 상대좌표계 관점에서 익단 흐름을 상세히 측정하여,

익단 누설 와류에 대한 정상 및 비정상 유동 특성을 고찰하였다.

'배관구조에 따른 속도분포 변형과 선화가 오리피스 유량계의 압력차에 미치는 영향에 대한 수치적 연구'는 T자관, 엘보, 헤더를 갖는 세 가지 실제 배관 형상에 대하여 삼차원 유동해석을 통해 오리피스 유량계의 측정오차에 미치는 영향을 연구한 논문이다. 이 연구에서는 이차원 보다는 삼차원 배관구조에서 영향이 더 크게 나타나는 것으로 밝혀졌다.

'횡방향으로 회전하는 90도 정사각 단면 곡덕트에서 발달하는 난류유동의 측정'에서는 열선유속계를 사용하여 평균 속도와 난류 속도를 측정함으로써 코리올리힘과 원심력의 영향이 평균 유동과 난류 구조에 미치는 효과를 관찰하였다.

'코리올리스 질량유량계의 유량측정에 영향을 미치는 인자에 관한 실험적 연구'는 상업용 코리올리스 질량유량계의 측정신호의 안전성, 유체물성 및 와류의 영향, 고압가스의 측정응용 및 펌프로 인해 발생하는 진동의 영향을 실험적으로 다룬 논문이다. 연구 결과 코리올리스 질량유량계는 와류의 영향을 받지 않기 때문에 관로에 설치 시 직관부가 필요 없고, 펌프로 인한 진동에 의해 측정오차가 커지는 것이 밝혀졌다.

'무선계측기법을 이용한 회전 송출공의 압력계수 측정'에서는 압전저항형 압력변환기를 사용하여 회전체 내부의 정압을 측정할 수 있는 무선 계측기가 개발되었다. 회전체에 부착된 압력센서를 이용하는 경우 압력센서가 원심력에 의해 영향을 받아 추가적인 신호가 발생한다. 이에 의한 오차를 최소화하기 위해서는 압력 감지부 변형 방향과 원심력 방향이 수직이 되도록 해야 하며, 잔존하는 원심력 효과는 보정실험을 통하여 보상할 수 있다.

'기름 유량표준장치의 개발 및 측정 불확도에 관한 연구'는 기름 유량의 국가표준 장치인 중량식 유량표준 표준장치의 설계, 제작 및 측정 불확도의 평가에 관한 논문이다. 이 연구에서 개발된 장치는 확장불확도 0.04%로 국제적 수준의 불확도와 측정 범위를 달성하였다.

'과도 액정 기법을 이용한 와동발생기 하류의 유동장 및 열전달 측정'은 5공 프로브와 과도상태의



액정을 사용하여 유동장 및 열전달 실험을 수행한 연구이다. 이 연구를 통해 과도상태의 열전달 측정법의 타당성이 입증되었다.

소자 단면에서의 온도 측정은 소자의 표면에서 온도를 측정하는 것보다 높은 정밀도를 얻을 수 있는 장점이 있다. '작동중인 MOS 전계 효과 트랜지스터 단면에서의 상대온도 및 전위 분포 측정'은 작동중인 소자 단면에서의 상대온도와 전위의 분포를 측정 한 논문으로 온도는 직류방법과 교류방법으로 측정하였다. 작동중인 소자의 단면에서의 온도 분포측정은 소자의 동작을 분석하는데 중요한 정보를 제공하며 소자의 개발에 효과적인 도구로 사용될 것이다.

측정 불확도를 평가하는 방법에는 감도계수를 이용하는 방법, 행렬을 이용한 방법, 몬테카를로 모사를 이용한 방법 등이 있다. '기체 유량 측정에서 몬테카를로 모사를 이용한 측정 불확도 평가'는 기체 유량 측정에 몬테카를로 모사를 이용하는 방법을 종래의 감도계수를 이용한 방법과 비교한 연구이다. 이 연구에서 측정 불확도 요인을 적절히 분석하고 각 요인에 대한 확률분포 모델과 모사 횟수를 적절히 선택하면 몬테카를로 방법이 종래의 방법을 대체할 수 있음을 확인하였다.

제어

광디스크 드라이브의 저장밀도가 높아짐에 따라 빔 스폿 사이즈가 작아지고, 렌즈와 디스크의 간격이 좁아짐에 따라 먼지 입자들에 의한 문제점이 대두되고 있다. '광디스크 드라이브의 입자 오염 및 열축적 제어를 위한 설계 제안'은 디스크 드라이브 자체에 입자의 유입을 줄일 수 있는 방안과 이러한 방안을 적용할 때 발생할 수 있는 문제점에 대한 해결방안을 제시하였다. 입자의 유입을 줄일 수 있는 방안으로 드라이브의 밀폐 및 깨끗한 공기의 강제 주입이 있는데 두 경우 상당한 효과가 있음이 밝혀졌다. 밀폐 시 내부의 발열에 의한 온도상승이 문제가 될 수 있으므로 방열판과 환과 필터를 사용하는 것이 유리하다는 결론을 얻었다.

에어로졸 입자를 나노기술에 적용하기 위해서 각 용도에 맞게 응집체의 크기와 형상을 제어하여야 한다. '단극하전을 이용한 나노입자 응집성장 제어'는

이에 관한 논문으로 외부에서 첨가된 이온이 화염반응기를 통해 생성된 응집체의 성장과정에 미치는 영향을 광산란법을 이용하여 연구하였다. 이 연구 결과는 촉매제조 공정과 같이 비표면적이 넓은 입자를 필요로 하는 공정에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

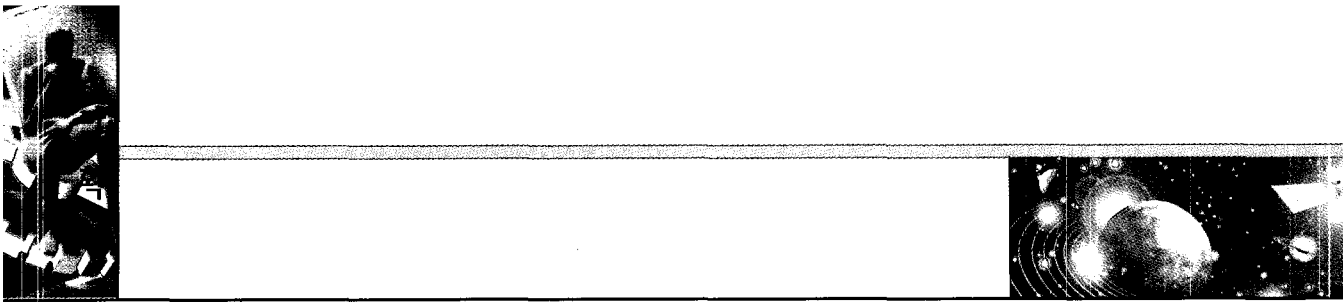
'물분무를 이용한 화재제어에 관한 실험적 연구'는 화재시 물분무에 의한 소화과정 및 열전달 과정에 관한 논문이다. 이 논문에서는 물분무량이 산소 차단효과와 함께 화염의 냉각효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

냉동기의 성능 진단을 위해서는 부분부하에서의 냉동기 성적계수를 파악하여야한다. '뉴로 퍼지를 이용한 냉동기 성능 진단 기법'에서는 현장에서 얻어진 운전데이터를 토대로 표준 조건에서 부하 별 성적계수를 예측하기 위한 인공신경망 설계 방안이 실험적으로 연구되었다. 이 연구에서 퍼지 규칙 수는 입력변수 별로 두 개가 적절하며 그 이상이 되면 계산량이 급증하는 과도근사의 경향이 나타나는 것으로 밝혀졌다. [정시영, 서강대학교]

공정열공학

2003년도 대한기계학회논문집과 KSME International Journal에 게재된 연구보고서 중 공정열공학 분야로 분류 가능한 논문의 수는 총 16편으로 전년도에 비하여 일견 감소한 듯하다. 그러나 나노 또는 마이크로 기술 관련 논문들을 마이크로 열공학 분야로 별도 분류하기 시작한 사실을 고려하면, 마이크로열공학을 제외한 공정열공학 분야의 연구관심은 증가하였다고 말할 수 있다. 당해분야의 논문들을 관련 물리현상 및 응용분야의 측면에서 살펴보면 매우 다양한 주제의 분포를 가진다. 그 중 액적 또는 기포의 생성, 제어 및 소멸에 관한 논문의 수가 6편으로 주류를 이룬다 하겠다.

우선 액적의 거동과 관련된 논문을 살펴보면, 소량의 시료를 채취하고 전처리 과정을 거친 뒤 반응, 분리 및 분석 과정을 한 개의 칩 위에서 구현하는 μ TAS 장치에서 액적의 미세유동을 제어하기 위해 사용되는 전기습윤현상을 해석한 결과가 보고되었



다. 먼저 전기이중층과 선장력의 영향이 추가된 수정 Lippmann-Young식을 유도하고 이 식에 나타난 항들의 영향을 수치해석을 통하여 정량적으로 결정하였다. 이 밖에도, 액적의 증발과 관련하여 화재 진압용 소화제의 성능을 향상시키려는 의도로, 계면활성제를 첨가한 액적의 증발과 이에 수반되는 냉각 특성의 변화를 파악하는 실험이 수행되고 결과가 보고되었다. 계면활성제의 농도가 증가할수록 액적과 접촉면 사이의 접촉각은 감소하고 냉각 열유속은 증가하여 계면활성제를 첨가한 소화제가 가연물의 냉각 성능이 상대적으로 우수함을 입증하였다.

기포의 생성과 성장에 관하여는, 액막 보조 레이저 세척공정에서 도포된 액막의 영향에 중점을 두고 일련의 광학측정 활용실험을 통해 물리적 메커니즘을 분석한 연구가 보고되었다. 압력충격이 기포의 핵성장 초기단계에 발생됨을 발견하였고 벌크 액체를 이용한 실험을 통해 액막 보조 레이저 세척의 물리적 기구를 파악할 수 있음을 알게 되었다. 또, 마이크로 기포를 이용한 마이크로 구동기의 개발과 관련하여, 액체에 열을 가하여 증기 기포의 성장을 야기하고 이로 인한 인접 고체 박막의 변형을 실험적 그리고 이론적으로 해석하여 기술하였다. 이외에도 핵비등에서 기포의 성장 및 이탈 거동에 관한 수치해석을 Level Set 방법을 사용하여 수행한 연구를 통하여, 기포와 벽면의 접촉부분에 형성되는 마이크로 액체층 주변에서의 열유속은 평균 열유속에 비해 50 배까지 크며, 중력이 감소되는 경우 가열량의 변화가 기포의 거동에 미치는 영향이 증가함을 발견하였다. 마지막으로 펄스레이저에 의해 유기된 폭발적 나노초 기화과정을 해석하기 위해 온도와 압력을 측정할 실험의 결과가 보고되었다. 펄스레이저에 의한 압력과 발생 시 낮은 폴른스에서는 열탄성파가 생성되어 전자기-음향 에너지 변환이 작고, 레이저 플루언스가 기포 핵생성에 필요한 한계값을 넘으면 압력파의 크기가 급격히 커지는 동시에 에너지 변환 비율이 증가함을 발견하였다.

부식에 대한 연구들도 액적과 기포의 거동이 중요하다. 대형 터빈 날개의 수액적에 의한 부식의 진행을 기술하는 실험식을 제공하기 위하여, 실제 증기 터빈의 운전을 통하여 얻은 실험자료로부터 경험식

을 결정한 연구가 보고되었다. 모델식 수립과정에서 부식의 진행에 가장 심각한 영향을 미치는 인자로 충돌속도, 충돌 액적의 유량, 액적의 크기 및 피충돌면의 경도를 포함의 네 가지를 규명하고 이 인자들을 경험식에 고려하였다. 또 다른 부식관련 연구로는 캐비테이션으로 인하여 인공심장 밸브디스크에 발생하는 부식손상을 관찰하였다. 부식에 영향을 주는 인자로 압력의 최대 시간변화율, 최대 닫힘속도 등을 고려하여 가장 심각한 손상이 일어나는 밸브 닫힘속도와 밸브표면의 위치를 알게 되었다.

유전탐사를 위한 천공과정 등에서 수반되는 고정외관과 회전내관 사이의 동심원관 유동에서 진흙의 유동특성을 모사하는 물질로 유기물 수용액을 이용한 실험을 수행하고 압력손실과 벽마찰계수를 결정하는 실험식을 도출한 연구가 보고되었다. 고정외관과 회전내관 사이의 동심원관 유동인 점은 같으나 축방향으로 반경이 변하고 나선형 스크루가 부착된 decanter형 원심분리기가 액체로부터 슬러지를 제거하는 공정에 필요한 동력을 예측하는 수식들을 유도하고 보고하였다. 소요동력의 크기에 영향을 주는 인자로 슬러지와 접촉면 사이의 마찰계수, 콘 각도, 회전속도와 스크루의 피치 등을 고려하였다.

생산공정에 관하여는, 강판의 부식을 막기 위한 연속식 용융아연 도금공정에서 단부에 발생하는 과도금현상의 원인을 해석하기 위해 강판의 단부 부근에서 발생하는 3차원 비정상 와동에 대한 수치해석 결과가 보고되었다. 일정한 주기를 가지면서 소멸과 생성을 반복하는 와동이 존재하며 그 영향으로 강판 단부의 평균압력이 중앙부보다 저하하는 현상이 과도금의 원인이며 차폐막을 설치하여 와동과 그에 따른 과도금의 발생을 억제할 수 있음을 제안하였다. 또, 고압의 액체 제트를 사용하여 스케일을 제거하는 장치(finishing scale breaker)에서 실험을 통하여 얻은 대류 열전달계수를 토대로 온도분포를 계산하고, 실험을 통하여 얻은 충돌압력을 함께 고려하여 최적 오버랩거리를 결정한 연구가 보고되었다. 이 밖에도 폴리머 압출제품에 목재와 유사한 질감을 내기 위해 목분을 혼합한 고분자 용융체를 압출하는 과정을 수치해석한 결과가 보고되었다. 폐기되는 PET병 및 폐목재 분말의 혼합 용융체 압출공정의



생산성을 높이는 목적으로 압축다이 내의 3차원 유동 및 열전달 수치해석을 수행하여 최적형상을 결정하였다. 마지막으로 웨이퍼 처리과정에서 고품질을 달성하기 위해 필수적인 조건인 가열판 온도의 정확한 제어와 균일 온도분포를 얻는 새로운 설계안을 제시하였다. 핫플레이트 내부구조와 발열부 위치를 변경하여 상부 플레이트의 총 온도편차를 요구수준 이하로 감소시킬 수 있음을 제안하였다.

개별 장치에 관한 연구로는, 광디스크 드라이브에 발생하는 먼지입자 문제를 해결하기 위해 방열판, 팬 및 필터의 사용을 제안한 연구가 주목된다. 드라이브 내로 깨끗한 공기를 주입하여 광디스크 드라이브의 신뢰성을 저하시킬 수 있는 먼지 입자의 유입을 막는 팬 및 필터와 이로 인하여 발생하는 발열 문제를 해결하기 위해 설치하는 방열판의 영향을 실험적으로 고찰하였다. 또, 배관검사계이지(PIG : Pipeline Inspection Gauge)의 동적 특성을 예측하는 이론모델과 계산방법을 수립하고 정당성을 검증하기 위해 계산결과를 인천과 남동공단 간의 천연가스 공급관 내부에서 실제 수행한 실험결과와 비교한 연구가 보고되었다.

이상 총 16편에 기술된 연구 중 실험과 해석을 병행한 연구가 3편, 순수한 실험연구가 11편, 그리고 순수한 이론 및 수치해석에 의한 연구가 5편으로, 연구방법의 실험에 대한 의존도가 크다. 결론적으로, 공정 열공학분야(마이크로 열공학 분야 제외)의 게재논문 편수는 증가하는 추세이며, 응용범위가 매우 다양해지며 공정 또는 제품의 개발과 직접 연관되는 연구의 비중이 커지는 양상을 보인다. [송명호, 동국대학교]

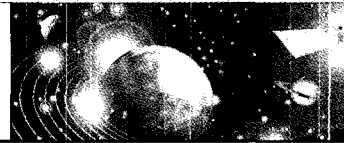
열역학 및 열물성

2003년 '열역학' 분야의 연구 주제로 기초 연구, 엑서지 해석, 스텔링 엔진 등을 들 수 있다. '열물성' 분야의 연구 주제로는 냉매의 기-액 상평형 특성 파악, 물질의 물성 측정 연구, 물성치 변화를 고려한 해석 등을 들 수 있다.

열역학 분야의 기초 연구로서, Lagrangian 관점에서 이동일을 정의하는 방식으로 열역학 제1법칙에 접근하고 이상기체 엔트로피의 존재를 확인하고 생

성 엔트로피를 먼저 정의하는 방식으로 열역학 제2법칙에 접근하는 교육 방법이 제안되었으며, Carnot 사이클의 효율에 관한 정리를 직접 이용하여 외부 열원의 온도가 사용되는 Clausius 부등식을 입증하는 방법이 제시되었고 두 개의 Clausius 부등식의 입증과 두 적분항 사이의 대소 관계가 규명되었다. 엑서지 해석에 대한 연구로서 스팀 동력 플랜트의 엑서지 및 열경제학적 해석을 통하여 산출 엑서지의 생산 단가를 구하였으며, 제2법칙을 이용하는 물대물 열펌프 시스템의 최적화가 수행되어 주어진 조건에서 엑서지 효율을 최대화하기 위한 연구가 이루어졌으며 질량유량비가 최적화에 중요한 매개변수임이 파악되었다. 스텔링 엔진에 대한 관심도 지속되어 스크롤 기구를 적용한 신형식 스텔링 엔진의 원리와 열역학적 기계적 특징과 향후 가능성 등이 소개되었으며, 태양열을 열원으로 하는 저출력용 스텔링 엔진 발전 시스템을 설계하고 시스템의 운전제어 범위를 검토하여 전체 성능이 예측되었고, 저온도차 모형 스텔링 엔진의 설계 조건으로 최대 출력이 나타나도록 하는 최적 위상각과 압축비의 파악에 대한 실험이 이루어졌다.

한편 열물성 분야의 연구로서 등온증발 혼합냉매(azeotropic refrigerant mixture)를 이루는 2성분 혼합냉매, Propane+R227ea(heptafluoropropane)에 대해 기-액 상평형 실험을 수행하여 P-T-x-y 선도를 얻었고 이를 상태 방정식을 이용하여 재현할 수 있도록 하였으며, 천연냉매인 이산화탄소(R744)에 적절한 오일 선정을 위한 연구로서 R744/광유 및 R744/POE 혼합물의 증기압을 측정하고 상용성을 관찰하여 POE의 상용성이 좋음이 보고되었다. 빙축열 시스템의 PCM(phase change material)으로 쓰이는 TMA-물계 포접화합물에 Ethylen Glycol, Ethanol, Acetone 등을 첨가하였을 때 상변화 온도와 상변화 개시 온도까지의 소요 시간 및 과냉도 등의 열물성에 대한 실험을 수행하여 성능 향상을 목적으로 Acetone의 첨가가 추천되었으며, 순수 물질(N₂, O₂ 등)의 열역학적 상태량을 계산하기 위해 필요한 질차가 제시되고 이를 활용하는 전산 프로그램의 개발이 이루어졌다. 다항식 형태의 3항 증기압 상관식을 제안하고 이를 기존의 상관식



의 성능과 비교하였으며 성능면에서 최소한 대등함을 보였다. 물질의 물성 측정 및 활용과 관계된 연구로서 시스템의 성능과 밀접한 관계가 있는 착상 현상을 규명하기 위해 다양한 운전 조건에서 실험을 수행하여 서리 물성치(서리층 두께, 밀도, 표면 온도, 유효 열전도계수) 변화를 예측할 수 있는 일반화된 무차원 실험 상관식을 제시(Reynolds 수, Fourier 수, 절대습도, 무차원 온도의 함수)하였으며, 박막의 제조 분석 및 이용에 필요한 물성치 중의 하나인 열확산도 측정을 위한 비파괴 비접촉 계측법의 개발하여 박막재료 측정의 기반을 마련하였고, 레이저 스펙클 토모그래피(laser speckle tomography)를 이용하여 실시간으로 부탄 유동의 3차원 밀도장을 얻을 수 있었다. 나노유체의 열전도율 측정을 위한 새로운 비정상열전법 센서설계와 자료처리방법이 개발되었으며, 단극하전 나노입자의 응집성장 과정에서 입자의 전기전도도가 미치는 효과가 연구되었고, 액체 극미세사의 열역학적 물성과 안정성 연구가 분자동역학 해석을 이용하여 수행되었다. 연료 물성치 변화가 HCCI용 스웰 인젝터의 분무 특성에 미치는 영향을 파악함으로써 물성치 변화를 고려하는 연구의 중요성이 예시되었다. [박경근, 국민대학교]

열기-열교환기

2003년 한 해에 동안 열기 및 열교환기에 관한 연구는 발전소, 원자로, 가열로, 자동차, 냉장고 등에 대하여 단상 열유동 해석, 증기의 열 및 물질전달, 착상, 엔진의 성능 및 열경제학까지 그 폭이 넓다.

단상유동에 대한 연구⁽¹⁾로는 원자로의 부수로 내에서 연료봉과 냉각재 사이의 열전달 효율을 증가시키기 위한 수치해석 연구가 수행되었다. 네 종류의 혼합날개 형상에 따른 삼차원 열유동 특성을 분석하여 열전달 성능을 개선하고자 연구하였다. 이 연구에서는 범용 CFD코드를 사용하여 혼합날개의 비틀림 각도가 선회유동 발생, 난류강도, 열전달에 미치는 영향을 분석하였다.

상변화 연구로서 냉장고 증발기의 착상현상을 분석하고자 수평 사각덕트에서 열 유동 및 수증기 질량 분율을 해석하고 서리층 내부는 수증기 확산 방정

식과 에너지 방정식으로 해석한 연구⁽²⁾가 수행되었다. 수치적 모델 해석결과를 실험값과 비교하고 서리층 성장 예측모델을 제시하였다. 연소기의 폐열회수기에 적용하고자 테프론 코팅 전열관 표면에서 열 및 물질전달에 대한 실험적 연구⁽³⁾가 수행되었다. 이 연구에서 스테인리스 원형관 표면에 400 μ m 두께의 테프론 FEP를 코팅한 전열관의 관외 열 및 응축 열전달 특성을 실험적 방법으로 연구하였다. 테프론 코팅관은 스테인리스 나관보다 총괄열전달계수는 감소하나 물질전달계수는 유사하다는 결과를 얻었다. Reynolds수가 큰 경우에는 테프론 관의 물질전달계수가 증가하는 실험자료를 제시하였다. 스테인리스, 알루미늄 및 테프론 재질에 대한 접촉각 자료를 제시하고 접촉각과 열전달 간의 상관성을 설명하였다. 대체냉매의 비등열전달에 대한 연구⁽⁴⁾도 수행되었다. 직경이 1.8mm와 2.8mm의 소구경 관내부에 R22 및 R407C의 비등열전달 과정에서 압력강하 및 열전달에 대한 실험자료가 제공되었다. 이 연구에서 건도가 높은 경우 직경이 작을수록 열전달계수는 증가한다고 보고하였다. 또한 대체냉매의 열전달계수가 기존의 순수냉매에 대한 열전달 상관식보다 상당히 낮다고 평가하였다.

열유속 측정기법에 대한 연구⁽⁵⁾가 수행되었다. 가열로 내에 있는 소재의 온도를 측정하여 소재에 가해지는 열유속을 역으로 추정하는 기법이 소개되었다. 이러한 역해석 과정을 통하여 소재를 가열하기 위하여 필요한 기초적인제어자료를 확보하고자 하였다.

가솔린 기관에 대한 연구⁽⁶⁾로 기존의 스파크 점화 방식과 다른 Controlled Auto-Ignition(CAI) 연소방식에 대한 실험 연구가 수행되었다. 이 연구에서 별도의 스파크 점화장치 없이 상용 단기통 기관에 유입되는 흡입공기를 가열 및 제어하여 가솔린 연료의 착화성을 향상시키고자 하였다. 공기연료비, 기관회전수 및 흡기공기의 가열온도 변화에 대한 기본 성능 및 배기 특성을 보고하였다.

동력 플랜트⁽⁷⁾에 대하여 MOPSA 방법을 이용하여 엑서지 및 열경제학적 해석을 수행하였다. 이 연구에서 137MW 급 스팀 동력플랜트에 대하여 질량, 엑서지 보존식, 엑서지 비균형식을 스팀 발전 시스템의 각 구성기기에 적용하였다. 이 연구에서 기



존의 단열인 경우에 적용할 수 있는 한계를 열전달이 있는 경우로 확대 해석하였다. 이 연구로부터 열 시스템의 효율적인 운영을 피하고자 하였다.

위에서 열거한 바와 같이 2003년도 열기기 및 열교환기에 대한 연구는 종래의 단상유동에 대한 연구부터 열경제학까지 확대되고 있다. 이 분야에 대하여 연구논문의 질적 수준은 우수하지만 수가 많지 않아 이 분야에 대한 활성화가 요구된다.

(1) 기사 명 : 원자로 부수로내 혼합날개를 지나는 삼차원열유동 해석(Numerical Analyses of Three-Dimensional Thermo-Fluid Flow through Mixing Vane in A Subchannel of Nuclear Reactor)/ 저자 : 최상철, 김광용/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집./ 발행 기관 : 대한기계학회/ 발행 국가 : kor/ 권(호) : 27(3)/ 쪽 범위 : 311/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 18/ 사용언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 저자 키워드 : Mixing Vane(혼합날개), Spacer Grid(지 지지자), Nuclear Reactor(원자로), CFD(전산유체역학), Heat Transfer(열전달), Friction Factor(마찰계수)/ 관리번호 : 0000260802.

(2) 기사 명 : 난류 유동 하에서 덕트 내의 착상(Frost Formation in a Straight Duct under Turbulent Flow)/ 저자 : 양동근, 이관수/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집/ 발행 기관 : 대한기계학회/ 권(호) : 27(8)/ 쪽 범위 : 1114-1121/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 18/ 사용 언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 색인어 : Frost Formation(착상), Heat and Mass Transfer(열 및 물질 전달), Turbulent Flow(난류 유동), Standard k-Turbulence Model(표준k-난류 모델)/ 관리번호 : 0000874203.

(3) 기사 명 : 테프론 코팅 전열관 표면으로의 열 및 물질 전달 특성에 관한 실험적 연구(Experimental Study on the Characteristics of Heat and Mass Transfer on the Teflon Coated Tubes)/ 저자 : 이장호, 김형대, 김정배, 김무환/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문

집/ 발행 기관 : 대한기계학회/ 권(호) : 27(8)/ 쪽 범위 : 1051-1060/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 14/ 사용 언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 색인어 : Heat and Mass Transfer(열 및 물질 전달), Condensation(응축), Latent Heat Recovery(잠열 회수), Stainless Steel Tube(스테인리스 관), Teflon Coated Tube(테프론 코팅관), Steam Air Mixture(스팀공기혼합기체)/ 관리번호 : 0000874196.

(4) 기사 명 : 수평미세관의 직경이 R-22 및 R-407C 비등열전달에 미치는 영향(Effect on Boiling Heat Transfer of Horizontal Micro-channel Diameters for R-22 and R-407C)/

저자 : 윤국영, 최광일, 오종택/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집/ 발행 기관 : 대한기계학회/ 발행 국가 : kor/ 권(호) : 27(2)/ 쪽 범위 : 163/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 20/ 사용 언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 저자 키워드 : Boiling Heat Transfer(비등열전달), Micro-Channel(미세관), Mass Flux(질량유속), Heat Flux(열유속), Inner Tube Diameter(관내경)/ 관리번호 : 0000225561.

(5) 기사 명 : 역해석을 이용한 가열로 내 소재의 1차원 열유속 추정에 관한 연구(A Study on the Estimation of One-dimensional Heat Fluxes on the Slab in Reheating Furnace by Using Inverse Analysis)/ 저자 : 강덕홍, 광동성, 김우승, 이용국/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집 / 발행 기관 : 대한기계학회/ 발행 국가 : kor/ 권(호) : 27(1)/ 쪽 범위 : 61/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 11/ 사용 언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 저자키워드 : Reheating Furnace(가열로), Inverse Analysis(역해석), Conjugate Gradient Method(공액구배법), Heat Flux(열유속)/ 관리번호 : 0000225000.

(6) 기사 명 : 압축점화 기술링기관의 성능 및 배기특성(Performance and Emission Characteristics of Compression Ignition Gasoline Engine)/ 저자 : 김홍성, 김문현/ ISSN : 1226-



4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집/ 발행 기관 : 대한기계학회/ 권(호) : 27(7)/ 쪽 범위 : 1007-1014/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 17/ 사용언어 : kor/ 소장기관 : 한국과학기술정보연구원/ 색인어 : Compression Ignition Gasoline Engine(압축점화 가솔린기관), Inlet Air Heating Temperature(흡입공기 가열온도), Self-Ignition(자발화), Heat Release Rate(열발생률), Mass Burned Rate(질량연소율), Carbon Monoxide(일산화탄소), Hydrocarbon(탄화수소), Nitrogen Oxide(질소산화물)/ 관리번호 : 0000873852.

(7) 기사 명 : 스팀 동력 플랜트의 엑서지 및 열경제학적 해석(Exergetic and Thermo-economic Analysis of Steam Power Plant)/ 저자 : 김덕진, 정정열, 박호영/ ISSN : 1226-4881/ 저널 명 : 대한기계학회논문집/ 발행 기관 : 대한기계학회/ 발행 국가 : kor/ 권(호) : 27(1)/ 쪽범위 : 76/ 발행 일자 : 2003/ 참고문헌 수 : 14/ 사용언어 : kor/ 소장 기관 : 한국과학기술정보연구원/ 저자 키워드 : Exergy(엑서지), Thermo-economics(열경제학), Exergetic Cost(엑서지 비용), Steam Power plant(스팀 동력 플랜트)/ 관리번호 : 0000225002. [전창덕, 충주대학교 : 강희찬, 군산대학교]

냉각 및 저온공학

정보화시대라고 불리는 21세기는 급속한 기술 발달에 따른 다양한 정보의 분석, 관리 및 획득을 위한 고성능 중앙처리장치(CPU) 등 첨단 산업 분야에 적용하기 위한 반도체 소자용 냉각기술의 개발과 생활 수준의 향상에 따른 실내 공간의 활용 극대화화 및 쾌적성에 대한 요구가 점차 높아지고 있다. 이러한 고성능 반도체 소자의 냉각기술과 공간 쾌적성에 관한 연구는 크게 30W/cm² 이상의 국소 발생열을 넓은 면적으로 분포시키는 열 확산기(heat spreader)와 넓은 면적의 분포열을 시스템 외부로 방열하는 열 분산기(heat dissipator)를 적용한 국소 냉각 방식을 병합한 소형 냉각장치 기술과 산업용 냉동, 중대형

건물 공조 등에 적용되는 EHP, GHP, 흡수식 냉난방 시스템 및 시스템간 병합을 통해 공간 냉난방, 동력을 얻는 Cogeneration 개념의 CHP(Combined Heating, Cooling, and Power Generation) 시스템 기술로 나뉠 수 있으며, 자연 냉매로 부각된 CO₂ 냉매를 적용한 초임계 냉동 사이클에 대한 기술 개발도 최근 크게 부각되고 있다. 차세대 초전도 응용기술이 프론티어 산업으로 진행되고 통신 장비의 초고속화와 더불어 우주항공 및 군사시설 등이 발달함에 따라 고온 초전도 시스템의 냉각기술인 초소형 냉각기와 그 응용분야에 대한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있으며, 특히 마이크로 채널을 적용한 열 분산기와 열 확산기를 병합한 고성능 반도체 소자용 소형 냉각장치에 관한 연구가 정보화 산업 발달의 큰 비중을 차지하고 있다.

고온 초전도인 통신 장비용 소형 반도체 소자의 냉각방식은 크게 수십 μm 의 마이크로 채널을 적용해 790W/cm²의 고성능 냉각을 구현한 액체 강제 냉각 방식과 마이크로 제트 분사 방식과 공기 냉매를 적용해 15W/cm²의 냉각성능을 얻을 수 있는 기체 강제냉각 방식, 냉각제의 잠열을 이용한 마이크로 히트파이프와 소형 표면장력 열 구동회로를 병합한 이상 유동 냉각 방식 등으로 나뉘며, 열 구동 회로를 적용한 30W/cm²급 냉각장치를 연구개발 중인 국내 기술에 비해 텍사스 A&M 대학, 샌디아 연구소, 스탠포드 대학 연구소 등 기술 선진국의 연구소는 이미 200W/cm²급 냉각장치의 상용화 연구가 진행되는 등 아직까지는 기술수준의 차이를 보이고 있다. 또한, 우주항공 및 군사시설 등 광범위한 분야에 적용 가능성을 보여주고 있는 극저온 기술의 발전은 초기 G-M, 스테링 냉동기 및 맥동관 냉동기를 이용한 헬륨 재 응축 온도 4.2K뿐만 아니라, 자기냉동 및 핵단열 소자에 의한 μK 의 극저온을 달성하였으며, 헬륨액화온도에서 큰 비열을 갖는 자성체 재료(Er₃Ni, Er_xYb_{1-x}Ni)를 축냉재료로 적용함으로써 2.6K의 극저온과 4.2K에서 1W 이상의 냉동능력을 얻고 있으며, 최근 국내 기술도 산학연 프론티어 사업추진과 이산화탄소(CO₂)를 이용한 반도체 세정장비인 유기 EL cell cleaner를 세계 최초로 상용화하는 등 저온 관련 기술 및 고온 초전도 냉각장치의 발전과 동



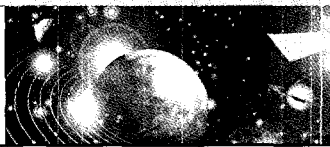
시에 이를 응용한 유전자 칩(DNA chip)의 초소형 분석 시스템(Micro TAS), 초소형 효소중합반응기(micro PCR) 등의 생명공학 기술 등 다양한 분야에 대한 파급효과와 기술개발 성장가능성을 보여주고 있다.

최근 하절기 전력 및 가스 수급의 불균형과 에너지 자원의 효율적 활용을 위해 방안으로 기존 EHP 시스템의 압축기를 가스엔진으로 구동하는 방식인 GHP(Gas engine Heat Pump) 기술 개발이 산요, 미쓰비시, York, Goettl 등 일본, 미국의 주요 기업과 국내 산업체를 중심으로 활발히 이루어지고 있으며, 연소, 배기가스 폐열 등의 가스엔진 배열 이용, 저압축 고평창 밀러 사이클 엔진의 적용, 희박 연소, EGR, 착화지연 등 기존 냉난방 기술과 함께 다양한 분야의 기술연계를 통해 성능 향상을 도모함으로써 종합적인 응용 산업의 형태를 보여주고 있으며, 최근 대형 빌딩에 적용되고 있는 멀티형 냉방 제어시스템의 다중연결 및 Fuzzy 알고리즘을 이용한 제어방법에 이르기까지 그 대상범위가 확대되고 있다. 기존 CFC, HCFC계열 냉매에 의한 환경문제로 인해 국제협약을 통해 이들 냉매의 사용을 제한함에 따라 열역학적 물성, 전달물성이 우수하고, 독성이 없으며 화학적으로 안정된 CO₂ 등의 환경친화적 대체냉매를 이용한 CO₂냉동 시스템과 H₂O를 냉매로 사용하는 흡수식 냉난방 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 환경적 측면을 중시해 온 기술 선진국들에서는 1990년대 초부터 노르웨이의 SINTEF, 미국 일리노이주립대의 ACRC, 메릴랜드 주립대의 CEEE, Graz Univ., 등 대학 및 기술연구소들을 중심으로 CO₂ 냉난방 시스템 개발을 위한 기술개발이 진행되고 있는데 반해 국내의 기술수준은 아직 부족한 실정이었으나 최근 성적계수 3.5 이상, 냉방능력 10.5kW급 CO₂냉난방 시스템 개발에 대한 대책과제가 산학연 공동연구로 진행됨에 따라 본격적인 기술개발에 박차를 가하고 있다. 최근에는 기존의 단독 사이클에 의한 냉각 및 냉난방 시스템 연구에서 벗어나 두 개 이상의 시스템 연계를 통한 냉난방, 동력발생의 효율 극대화를 추구하는 Cogeneration 개념의 Hybrid system인 CHP(Combined Heating, Cooling, and Power)

시스템에 대한 연구가 미국, 유럽 등 기술선진국을 중심으로 연료전지, 마이크로 가스터빈, 가스엔진 등을 동력발생장치로, 열펌프로는 EHP, GHP, 흡수식 등을 고려하여 현장시험들이 이루어지고 있다. 국내에서는 아직 전력 생산 시 판매에 대한 법적 문제가 해결되지 않아서 아직은 활발하지 않으나, 논의는 활발히 벌어지고 있다. 기존의 냉난방 기기는 실내 환경문제에 대해서는 주의를 많이 기울이지 않았으나 올해 5월부터 시행된 다중이용시설 실내 공기질에 대한 법이 시행됨에 따라, 냉난방 기기와 실내 환경과 관련된 환기, 실내 공기 질 유지를 위한 오염 물질 농도 제한 등을 위한 시스템 개발에 관심이 모아지면서 건축설비와의 관계도 밀접해지고 있다. 실내 오염물질 농도를 위해 필요한 최소 환기 문제는 에너지 소비와 밀접하게 되면서 에너지 소비 절감을 위한 전열 열교환기 등의 에너지 절약기기 사용 빈도도 빈번해 지고 있다. 또한 건물 중앙공조에 사용되던 대형 흡수식 또는 터보 칠러 대신 EHP, GHP 등도 대체용으로 사용이 증대됨에 따라 이들 시스템의 고장 진단 및 예지를 위한 FDD(Fault Detection and Diagnosis) 시스템 개발도 적용되면서 공조시스템 제어도 중요성이 증대되고 있다. [조금남, 성균관대학교]

마이크로 열공학

미세 열전달(microscale heat transfer)은 미세 유체공학(micro-fluidics)와 더불어 미세 열유체공학의 중요한 한 부분을 차지하고 있는 연구/개발분야로서 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 예상되며, 이에 따른 회로 선폭(feature size)의 극미세화에 따라, R. Feynmann이 예견한 바와 같이 화약의 폭발에 버금갈 만한 열방출이 현실화되고 있고, 이를 위한 고성능 냉각시스템의 개발이 요구되고 있다. 또한 나노 전자소자의 개발과 함께 나노 소자의 구조 및 동작을 분석할 수



있도록 나노 스케일에서의 열발생, 열물성, 열전물성 등을 분석할 수 있는 도구의 개발이 필요해지고 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, 열물성, 열전물성 또는 유속 측정, (2) 미세 시스템에서의 열방출, (3) 열적/비열적 레이어 가공, (4) 미세 열유체 시스템을 위한 MEMS 기술개발 (5) 나노입자 및 나노튜브의 제조 및 이를 활용한 열전달 촉진방법에 관한 연구 (6) 반도체/LCD 제작에서의 열공정의 최적화 등의 응용연구로도 분류가 가능하다.

최근 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) 연료 전지 분리판의 형상설계를 위하여 쌍극성 기판에서의 음극, 양극, 그리고 냉각채널 주위에 대한 유동해석에 대한 연구, 미세동력장치(power MEMS) 개발을 위한 미세 연소기 부품의 설계/제작/시험에 대한 연구, 초소형 촉매 이상 분해 반응기의 해석 및 평가에 관한 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 고점성 유체를 이용한 고출력 저전력 마이크로 분사기 설계/제작 연구 등을 들 수 있다.

그리고 미세 열전달 현상해석에 대하여 기존의 거

시적 이론을 수정한 연구 및 마이크로/나노 스케일에서 적용될 수 있는 bottom-up 방식의 MD (Molecular Dynamics)와 MC(Monte Carlo) 시뮬레이션 적용연구, 포논 산란(phonon-scattering)이 열전달에 미치는 영향을 고려한 연구 등이 진행되고 있음을 확인하였다. 마이크로 평판 내 증발에 의한 확장 메니스커스(extended meniscus)에서의 열유동 특성에 대한 수학적 해석모델 연구, 마이크로 액츄에이터(micro actuator)에서의 희박기체에 대한 DSMC(Direct Simulation Monte Carlo), 마이크로 채널 냉각을 위한 다공성 매질에서의 국소적 열평형 기준에 대한 연구, 펄스초급 극초단 펄스 레이저에 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. 한편 최근 들어서는 나노입자 및 나노구조물의 제조 및 이를 활용한 열전달 촉진 기술에 관한 연구들이 활발히 수행되고 있다. 펄스 레이저 어블레이션에 의한 나노입자의 합성, 전기가 열튜브를 이용한 나노입자의 발생, 역확산화염을 이용한 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유의 합성, 그리고 입자가 포함된 유체의 유동특성에 관한 연구 등이 수행되었다. 나노 스케일 측정기술로는 광열신키루 기법(photothermal mirage technique)을 활용한 박막의 물성 측정기술과 금속산화물 전계효과 트랜지스터(MOSFET)에서의 발열현상 측정기술에 관한 연구도 보고되었다.

이 분야에 대한 국내 연구는 2000년 이전에는 산발적으로 수행되어 왔으나, 2001년의 마이크로 열 시스템 연구센터 및 2002년의 나노메카트로닉스 기술개발 사업단의 출범, 그리고 2004년도부터는 과학기술부 핵심연구사업 중 하나로 극초단 펄스레이저 응용 미세가공분야가 선정이 될 예정이다. 따라서, 이를 기반으로 이 미세열전달에 대한 연구가 더욱 활성화 될 것으로 기대한다. [권오명, 고려대학교 ; 박승호, 홍익대학교]