

유체공학부문

이 글에서는 2005년도 유체공학 분야의 주요 연구동향을 유체기계, 난류, 전산유체공학, 마이크로 유체역학, 생체유체, 유동소음, 환경유체역학, 유동제어 및 계측, 그리고 나노유체 등으로 나누어 소개한다.

유체기계

유체기계 분야는 유체공학의 산업적 응용이 가장 두드러지게 나타나는 분야로서, 유체공학의 발전과 산학연 협력의 활성화에 따라 신기술과 신제품의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 유체 기계에 관한 국내 연구는 지속적으로 연구분야와 연구방법이 다양해지고 연구의 수준도 높아지고 있음을 2005년도에 발표된 연구논문들을 통해 알 수 있다. 유체기계의 각 세부분야에 대한 2005년도 국내 연구 동향은 이미 유체기계저널 제9권 제1호에 특집으로 발표된 바 있어 여기서

는 이 특집의 내용을 정리함으로써 각 분야의 연구동향을 소개하고자 한다.

펌프

2005년에 주요 국내 학술지에 발표된 펌프와 관련된 연구 논문은 총 22편으로 이중 유체기계저널(유체기계공업학회)에 9편, 대한기계학회논문집에 3편, 대한설비공학회논문집에 5편, 유공압시스템학회에 2편, 그리고 한국추진공학회에 3편이 발표된 것으로 파악되고 있다. 펌프분야의 논문들을 세분하면 터보펌프, 원심펌프, 특수펌프, 마이크로펌프 등 각종 펌프 종류에 관한 연구와

수격현상 등에 대한 연구들이 있다. 터보펌프에 관해서는 인듀서의 성능 및 유동특성에 관한 실험 2건, 수치해석적 연구 1건 및 성능해석 프로그램 개발에 관해 2건 등 총 5편의 논문이 발표되어 펌프분야의 연구 중에서는 터보펌프에 관한 연구가 가장 활발하게 진행되었음을 알 수 있다. 각종 원심펌프에 관한 논문이 2편이 발표되었으며, 재생용 특수펌프에 관한 논문이 1편 발표되었다. 최근 차세대 성장동력원으로서 마이크로펌프가 각광을 받고 있는데, 이에 관한 논문이 4편이 발표되어 이 분야에 대한 높은 관심도를 반영하고 있다. 이

외에도 수격현상에 관해 2편의 논문이 발표되었고, SMART 원자로 주냉각재 펌프의 설계 및 검증에 관해 2편의 논문이 발표되었다.

송풍기

송풍기의 해석과 설계에 관해 지난해 국내 주요 학술지에 발표된 논문은 총 8편이 파악되고 있으며, 이들은 대한기계학회논문집에 1편, 유체기계공업학회 논문집인 유체기계저널에 4편, 설비공학논문집 1편, 전산유체공학회 학술대회논문집에 1편, 그리고 소음진동학회 논문집에 1편이 발표되었다. 파악되지 않은 학술대회 논문집에 더 많은 논문이 발표되었을 것으로 사료되나 2003년도에 동 학술지들에 총 15편의 논문이 발표된 것이 비하면 전반적으로 송풍기에 관한 국내 연구가 최근 침체되고 있음을 알 수 있다. 송풍기에 관한 논문들은 다양한 형태의 형상설계, 수치최적화, 기초실험, 성능시험, 유동해석 및 유동소음 해석 등에 대해 수행되었다. 연구논문의 수는 줄었으나 대부분의 연구에서 성능시험과 아울러 전산유체역학적 해석이 동시에 수행되어 이들의 결과가 유기적으로 반영된 한 단계 심화된 설계가 이루어지고 있어 연구의 수준은 한층 높아지고 있음을 알 수 있다.

압축기

압축기와 관련된 연구는 2005

년 한 해 동안 유체기계공업학회, 대한기계학회 및 대한설비공학회 논문집과 학술대회에 총 27편이 발표되었다. 이는 전년도 대비 약 63%에 불과한 논문편수로써 이 분야에 관한 논문발표가 급감한 것을 알 수 있다. 분야별로 원심압축기에 대해 9편, 축류압축기에 대해 6편 등 터보 압축기에 대해 총 15편의 논문이 발표되었고, 용적형 압축기에 대해서는 총 12편이 발표되었는데 이 중 로터리 압축기에 대해 4편, 사판식 압축기에 대해 2편, 그리고 스크롤 압축기에 대해 6편의 논문이 발표되었다. 발표된 논문들은 설계 및 해석기법의 개발에 관한 연구보다는 비정상 특성해석, 가변용량을 위한 제어기술, 저소음 기술 등과 같이 이미 개발된 설계기법을 이용해 고효율화 및 최적화 기술들을 개발하는 데 초점을 맞추고 있다.

가스·스팀터빈

가스·스팀터빈 분야에서도 2005년 발표된 논문의 편수는 전해에 비해 다소 감소하였으나 연구의 다양성에서는 발전이 있었다. 2005년도에 발표된 논문들을 유체기계공업학회, 대한기계학회, 대한설비학회 논문집과 학술대회에 발표된 논문들을 중심으로 분류하면 유동장 해석에 관해 2편, 열전달 해석 7편, 내부냉각 10편, 충돌제트 냉각 3편, 막냉각 1편, 가스터빈 개발 및 성

능평가 12편, 그리고 스팀터빈 및 복합발전기에 관해 5편의 연구 논문 등 총 40편의 논문이 발표되었다. 유동장 및 열전달 해석 연구는 예년과 비슷하였으나 전반적으로 실험 및 해석이 실제 상태에 보다 가까운 대상을 모사하는 경향을 보였다. 가스터빈 엔진에 관련된 연구는 주로 개발 쪽보다는 운전 및 성능평가에 관한 연구들이 수행되었으나 향후 본격적으로 진행될 소형 열병합 발전용 가스터빈 사업 및 한국형 헬기 개발사업 등을 고려할 때 엔진개발에 관한 연구가 활발히 진행될 것으로 기대된다. 스팀터빈에 관한 연구는 매년 조금씩 증가하고 있으나 주로 현장중심의 연구가 이루어지고 있어 학계의 보다 많은 관심이 요구된다.

유량계 및 밸브

유량계 및 밸브에 관해 2005년도 대한기계학회논문집과 유체기계공업학회 논문집 및 학술대회에 발표된 논문은 22편으로 파악되며, 이 중 유량계에 관한 논문이 10편이고 밸브에 관한 논문이 12편으로 비슷하다. 2005년에는 유량계 분야의 교정기술이 진일보하였다. 전류형 전자기 유량계와 초음파 유량계, 세그멘탈 웨지를 이용한 차압식 유량계, 스크류 유량계 등에 대해 정확도를 높이기 위한 다각도의 노력이 진행되어 국산 유량계의 성능 향상에 기여하였다. 밸브 분야에서는

정압기의 작동 특성에 대한 시뮬레이션, 모터구동 게이트 밸브의 부하율개선 연구, 글로브 밸브 내 유동장 해석 등의 연구가 있었고, 원자력 발전소용 역지밸브에 대한 국내외 운영기술, 화력발전소용 증기터빈 바이패스 밸브의 해석 등 발전소용 밸브에 관한 기술개발에도 진전이 있었다.

기 타

물을 정화하는 필요한 수처리 기계는 환경적인 측면에서 중요시되고 있는 유체기계인데, 이에 관해 유체기계공업학회 논문집과 학술대회에 2005년 한 해 동안 발표된 논문은 총 12편으로 이에 관한 관심이 점진적으로 증가하고 있음을 보여주고 있다. 유체기계와 관련된 회전체 동역학에 관한 연구도 활발히 진행되어 국내 주요 학회 논문집과 학술대회에 총 27편의 논문이 발표되었다. 이중 회전체시스템의 동역학적 해석연구와 관련하여 5편의 논문이 발표되었고, 회전기기 요소인 베어링 관련 논문이 13편, 실 및 댐퍼, 마운트 관련 논문이 9편 발표되어 예년과 비슷한 수준의 연구가 진행되었다. 새롭게 연료전지와 관련된 회전체 및 윤활계에 대한 연구가 시도된 것이 주목할 만하다.

[김광용, 인하대학교]

난 류

난류는 오랜 시간의 연구에도 불구하고 여전히 해결해야 할 것이 남아 있는 어려운 분야임과 동시에 도전적인 분야다. 또한 난류는 공학적 문제의 해결에 있어서 반드시 포함되어야 할 기초연구 분야이기 때문에 열/유체 분야뿐 아니라 다양한 공학 분야에서 연구되고 있으며 그 활용 범위가 점점 넓어지고 있는 추세이다. 최근 전세계에서 에너지 문제가 급속도로 대두되고 있는 만큼 공학적 시스템의 효율성에 큰 영향을 미치는 난류에 관한 연구는 그 필요성이 점점 커지고 있다. 이로 인하여 2005년에도 난류유동에 관한 많은 연구결과들이 학계에 보고되었다. 2005년 국내에 보고된 난류연구를 다음과 같이, 난류현상의 물리적 이해를 위한 기초연구, 큰 에디모사, 난류모델링, 실험 연구, 난류제어 등의 주제로 세분화하였다. 각 분야별로 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

난류현상의 물리적 이해를 위한 기초연구

난류의 물리적 특성을 파악하기 위해서는 유동장에 관한 상세한 정보가 필요한데 이에 가장 효과적인 것이 직접수치모사 방법을 통한 연구다. 직접수치모사는 유동장에 존재하는 모든 스케일의 유동을 해석하기 때문에 실험적 방법으로 제공할 수 없는 자세한 정보를 제공한다. 물론,

이 방법은 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있으나, 컴퓨팅 파워의 비약적인 발전과 함께 활발히 연구가 진행되고 있는 연구 분야이다. 원형 실린더 또는 회전하는 원형 실린더를 지나는 균일 전단 유동, 이산 웨이블릿 변환을 이용한 3차원 난류채널 유동, 회전하는 원형단면 실린더 주위의 난류유동, 2개의 구를 지나는 유동, 밀도 성층 유동 해석을 위한 가상 경계법, 배경회전 하의 수평 보텍스 거동, 축방향 난류 경계층의 벽 전단응력섭동에 관한 특성 등 난류의 물리적 특성을 다양한 측면에서 살펴본 연구들이 발표되었다.

큰 에디모사

직접수치모사 기법보다 비용과 시간의 측면에서 훨씬 효율적이며 기존의 RANS 모델에 비해 유동장의 정보를 상세하게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있는 큰 에디모사는 점점 그 응용 범위가 다양해지고 있다. DMM모델을 이용한 난류 채널 유동, 이산 웨이블릿 변환을 이용한 3차원 난류채널 유동, DVM SGS 모델 개발 등에 관한 연구들이 보고되었다.

난류모델링

열/유체유동과 관련된 공학문제에 있어서 효율적 접근 방식이라고 볼 수 있는 난류 모델링을 이용한 수치해석은 높은

Reynolds 수에서의 유동 해석을 가능하게 한다. 특히 $k-\epsilon$ 계열의 모델들은 유체유동 해석뿐만 아니라 열전달 분야에도 널리 사용되고 있으며 이와 관련된 많은 논문들이 발표되었다. 또한 기존의 단점들을 보완하고자 다양한 모델링 연구들도 진행되었는데, 타원방정식에 의한 벽면 부근의 난류열유속 모형화, ϵ -SST 난류 모델을 이용한 벽근처 사각 실린더 주위 유동 등 다양한 연구들이 보고되었다.

실험 연구

전자장비와 계측장비의 발달로 인하여 다양한 실험이 수행되었다. 특히 최근 급속도로 성장하고 있는 디지털 가시화 장비의 발달은 PIV/PTV의 다양한 응용을 보여주고 있다. 디지털 홀로그래픽 PIV 기법 개발과 제트유동, 광 디스크 드라이브 내부 유동, 횡 방향 유동이 존재하는 총돌제트/유출냉각에서 원형 핀이 설치된 유출 면에서의 열/물질 전달 특성, 유량에 따른 축류 팬의 익 단누설와류 및 후류특성, 두개의 평행한 평면 제트, 삼각형 멀티 탭이 부착된 난류제트에 대한 유동, 직렬로 배열된 두 정사각기둥 주위의 유동, 90도 사각 곡관에서의 난류 발달 등에 관한 연구가 보고되었다.

난류제어

난류에 대한 지식의 실제 응용

이란 측면에서 난류제어에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 난류유동을 정밀하게 예측하는 것의 어려움으로 인하여 아직까지 실용적 결과들은 미비한 실적이며 앞으로도 많은 노력이 필요하다 하겠다. 얇은 사각 리블렛 주위의 난류유동, 자기장이 인가된 총돌제트의 유동, 원형 핀이 부착된 실린더 주위의 유체 유동, 횡 방향으로 진동하는 전자기력을 이용한 난류경계층의 마찰 저항 감소 등에 대한 연구가 보고되었으며, 앞으로도 좀더 다양한 제어 방법과 이론들이 등장할 것으로 기대된다.

[최해천, 서울대학교]

전산유체공학

전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)은 Navier-Stokes 방정식, 경계층 유동방정식, 고차 모멘트 방정식 등의 유동 지배방정식을 컴퓨터를 이용하여 계산하는 방법으로, 각종 유동 관련된 정보를 제공하여 과학적, 공학적인 응용을 가능하게 하는 학문이다. 전산유체역학 분야는 실험을 보완/대체하는 기능을 수행하며 제품의 연구 개발 시간 및 비용을 상당히 줄일 수 있다. 최근 NASA에서는 비행체의 공기역학적인 설계의 설계 소요시간(turn-around time)을 획기적으로 줄이는 사례(수십일에서 수일 또는 수 시간)

가 발표되고 있다.

2005년 국내에서의 전산유체역학에 관련 논문 발표된 현황을 보면 대한기계학회 논문집 B권에 52편, Journal of Mechanical Science and Technology에 61편이 있다. 한국전산유체공학회지에는 38편의 논문이 발표되었다. 또한 KSME International Journal에는 2004년 기준 집계로 약 40편의 논문, 따라서 연 약 200여 편의 논문이 발표되고 있는 실정이다. 발표된 논문을 분석해보면, 크게 수치알고리즘 개발, 수렴 가속화 기법, 난류 모델의 개발, CFD 응용, 마이크로 유체역학 등의 주제로 분류할 수 있다.

수치알고리즘 개발

수치알고리즘 분야는 전혀 새로운 개념의 해석기법 개발보다는 기존의 수치해석 및 고등 응용수학의 방법을 유동 관련 분야로 응용하여 논문이 발표되고 있다. 비교적 새롭게 소개되는 수치해석기법으로는 시간 진행 문제에 희소점 표현(sparse point representation) 방법을 적용하여 필요 정보점을 줄여 계산량을 줄이는 기법이 있다. 또한 massive한 유동 계산 및 이의 계산 결과를 적절히 관리하기 위해서, wavelets을 이용하여 유동 지배방정식 수렴 가속화 및 데이터 압축, 유동 특징 추출(feature extraction), 격자점

형성 등의 목적을 달성하는 기법이 사용되고 있다. 한편 Lattice Boltzmann Method(LBM) 방법을 이용하여 낮은 Reynolds 수의 유동에서 2상유동계산기법 등이 소개되었다.

수렴가속화기법

수렴을 가속화시키는 분야는 목적인 미세격자(fine grid)에서 방정식을 완화법(relaxation method)으로 풀어 그 곳에서 단파장의 오차를 감쇠시킴과 동시에 오차의 수정방정식을 성긴 격자(coarse grid) 상에 구성하여 장파장의 오차를 빠르게 수렴시키는 Multigrid 방법, 행렬의 수렴 특성과 안정성 증진을 위하여 예조건화 행렬을 도입하는 preconditioning 방법, 시간간격의 문제를 극복하고 2차의 수렴성을 얻을 수 있는 Krylov subspace 방법, conjugate gradient 방법을 이용하여 수렴을 가속화 시키고 일반적인 비대칭 행렬에 적용이 가능하고 안정성이 우수한 GMRES(Generalized Minimum Residual) 방법 등이 있다. 한편 최근 새롭게 2nd generation wavelets과 관련하여, 희소점 표현 방법이 소개되었다. 이는 조밀한 격자의 값을 원 데이터로 하여, 정해진 기준에 따라, 점점 성긴 격자의 값을 예측함으로써 데이터 압축을 통해 계산 속도를 향상시킬 수 있다. 또한 free surface

behavior에서 time step의 제한자(limiter)를 수정하여 수렴을 가속화시킨 modified simple algorithm 등이 소개되었다.

난류 모델의 개발

공학 문제의 해결에 필수불가결한 난류모델링 개발은 기존 모델의 성능을 확장하여 다양한 종류의 유동에 적용되고 있다. 특히 컴퓨터의 발달로 인해 전산유체역학을 이용한 난류모델 연구는 모델 개발에 많은 발전을 이루어 냈으며 현재에도 많은 연구가 진행되고 있다.

2005년에 발표된 전산유체역학을 이용한 난류 모델 연구를 살펴보면, 레이놀즈 응력의 난류구배 수송을 위한 텐서시간척도에 대한 연구와 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 3차원 난류 채널 유동에 관한 해석이 있다. Schmidt 수에 따른 회전하는 원형단면 실린더의 주위의 난류해석을 통해 물질전달 대한 직접 수치모사가 진행되었고 터빈 동익의 입사각에 따른 후류 난류유동이 미치는 영향을 해석하였다. 또한 타원-혼합 2차모멘트 모형에 의한 강제와 자연대류가 복합된 수직 평판 난류유동이 예측되었고 저 레이놀즈수 난류유동에 대한 회전하는 원형단면 실린더 주위의 직접수치모사가 발표되었다.

CFD 응용

CFD 적용 및 응용에 대한 연

구로는 해석, 설계 사례가 많이 발표되고 있으며, 최근에는 상용 패키지를 사용하여 여러가지 공학적 문제를 해결하는 예가 점차 증가하고 있다. 사용되는 패키지로는 Fluent, CFX, STAR-CD, CFD-ACE 등이 있으며 주로 유동 해석이나 열전달을 포함한 최적설계의 수단으로 사용되며 다양한 응용문제에 적용되고 있다.

2005년도 발표된 논문 중 CFD를 적용한 대상으로는 여전히 팬, 압축기, 펌프 등의 임펠러와 디퓨저 등 유체기계 관련 연구가 가장 많으며 마이크로 유체역학(microfluidics)의 연구 증가가 눈에 띈다. 특히 생체 유동에 관한 전산 유동해석 연구가 증가하고 있으며 마이크로채널 유동을 이용한 생체계발장치 개발, 유동 가시화 및 마이크로 믹서의 혼합효율 개선 등의 연구가 진행되었다.

마이크로 유체역학

마이크로 유체역학은 최근 MEMS의 발달과 더불어 복잡한 미소형상 내부의 유동 현상 규명을 위한 분야이다. 기기가 마이크로 단위로 작아지면 그동안 고려하지 않았던 각종 효과가 무시할 수 없을 정도로 증가한다. 따라서 마이크로 스케일에서의 벽면 효과 등 각종 효과를 고려하여, 거시 유동과는 다른 유동 지배 방정식 또는 수정된 경계 조건을 이용하여 유동 특성을 계산하게

된다.

2005년도 대한기계학회논문집에는 마이크로 유체역학에 관련이 있는 논문 3편, 2004년 KSME International Journal에 8편 등 총 11편 정도가 게재되었다. 마이크로채널 내 액체에서의 역삼투압 현상에 대한 이론 및 시뮬레이션으로 유동의 온도 와 속도 분포를 측정된 것과, 와도 지수에 의한 비용해성 물질의 혼합을 유동장과 농도장 계산을 통해 예측한 것, Y-채널 마이크로 믹서 내에 장애물의 배치에 따른 혼합효과를 해석한 연구 등이 소개되었다.

최근 연구 동향을 통해 전산유체역학은 많은 발전을 이루고 있으며 다양한 부분에 응용이 확대되고 있음을 확인하였다. 지속적인 수치알고리즘 개발과 다양한 응용은 전산유체역학의 발전을 이끌 것이다. 또한 상용패키지를 이용한 공학적 응용과 마이크로 유체역학 분야에서의 연구는 보다 실용적으로 발전할 것이다.

하지만 우수 연구 인력이 상대적으로 부족하고, 산업체에 필요한 유체관련 설계 해석을 위해서는 전산 자원이 아직도 많이 부족하다. 대용량 전산 자원(수퍼컴퓨터 등)을 값싸고 손쉽게 활용할 수 다양한 방법이 개선되어야 한다. 앞으로 지속적인 연구와 여건 개선이 있으면 많은 분야에서 국제 경쟁력을 갖춘 전산유체역학 발전을 기대할 수 있을 것이

다. [이도형, 한양대학교]

마이크로 유체역학

최근 전기기계장치를 초소형화하는 MEMS 기술이 괄목하게 발전함에 따라, 마이크로 기기 분야에 대한 학술적 혹은 산업적 관심이 매우 높다. 특히 MEMS 기술과 바이오 기술(BT)을 접목시킨 Bio-MEMS 분야는 새로운 차세대 국가 동력원으로 각광을 받고 있다. 마이크로 유체역학은 밀리미터 단위보다 작은 길이 스케일을 가지는 유체유동을 다루고 제어하는 기기와 방법으로 대표되는 학문이다. 이는 Bio-MEMS 분야의 마이크로 기기 설계에서 가장 중요시되는 분야로서, 시료의 이송(transport), 혼합(mixing), 분리(separation), 그리고 최종 단계인 분석(analysis)을 위한 화학반응의 속도를 제어하는 등 Bio-MEMS 기기의 시료처리 전체 과정에서 최적 설계조건을 찾는 데 필수적으로 적용되어야 한다.

마이크로 유체역학의 중요성을 감안하여 최근 국내외에서 많은 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 대한 대표적인 연구 분야를 간단히 소개하면 다음과 같다.

- Electrokinetic flow
 - Electroosmotic flows
 - Electrophoretic motion of particles and related

flows

- Dielectrophoretic motion of particles and related flows

- Surface-tension driven flow; multiphase flows

- Effect of surfactant or chemical gradient; diffusocapillary
- Effect of temperature; thermocapillary
- Effect of electric charge; electrocapillary

- Mixing; chaotic advection

- Passive mixing
- Active mixing
- Mixing index

- Numerical method

- FVM, FDM, FEM
- Immersed boundary method (IBM)
- Lattice Boltzmann equation (LBE)

- Level set method

- Experimental method

- Visualization of flow pattern

- Velocity measurement; μ PIV, μ PTV, holographic PIV

2005년도 대한기계학회논문집과 Journal of Mechanical Science and Technology(JMST)에는 마이크로 유체역학 관련이 있는 논문이 각각 4편과 1편이 게재되었으며, 2004년도에 비해 그 편수가 현저히

줄었다(열전달, 생체 및 연소분야 제외). 내용을 살펴보면 대한기계학회논문집에는 열삼투현상, 액적형성, 혼합 예측 및 증대 등에 관한 수치해석 논문이 게재되었으며, JMST에는 유동장 측정에 관한 실험 논문이 게재되었다. 2005년도에 게재된 논문의 수가 감소된 현상은 일시적이라 판단되며, 국내외의 활발한 연구 활동을 고려해본다면 앞으로 게재될 논문의 질과 양은 더욱 향상될 것으로 기대된다.

[강상모, 동아대학교]

생체유체

최근 생체유체 연구는 국내에서도 기존의 생체유체의 유동현상에 대한 해석과 더불어 이를 이용한 Micro바이오센서 및 진단기기 등으로 연구 영역이 급속히 확대되는 양상을 보이고 있다. 이러한 추세를 반영하여 2005년 3월 제주도에서 개최된 제6회 한일 열유체공학 학술회의(6th KSME-JSME TFEC)에서도 바이오MEMS(13편) 및 BioMedical Eng. 부문(16편)이 각각 두 개의 세션으로, 생체유체역학(5편)이 한 세션으로 운영될 만큼 유체공학 분야에 큰 비중을 차지하며 성장하고 있음을 보여주었다. 이러한 학술회의 발표 논문들은 소량만이 국내 학술지에 게재되는 아쉬움이 있었지만, 실제로 연구자들의 연구실적을 추적하여

보면 대부분이 해외 저명한 저널에 게재되는 내실을 다지고 있음을 확인할 수 있었다.

현재 국내에서 생체유체와 관련하여 논문과 학술발표는 주로 우리 학회의 유체공학부문이 이를 선도하고 있으며, 타 기관으로는 순환기질환의공학회, 대한의용생체공학회, 한국유변학회, 한국가시화정보학회, 한국광학회(의광학분과) 등이 있고 더 나아가서는 대한순환기학회, 대한당뇨병학회, 대한진단검사의학회 등의 의학 관련 학회에서 공학과 의학이 만난 결과들이 발표되고 있다. 이를 공학 논문 위주로 정리해보면 아래와 같다.

생체유동 가시화

가시화 기법으로 다양한 기술들이 생체유동에 새로이 적용되었다. X-ray PIV기법을 이용하여 광학적으로 불투명한 소재 내부를 흐르는 혈액유동에 대한 특성 해석과 혈류량 측정법이 발표되어 in-vivo 연구의 가능성이 더 높아지고 있으며 이 기술은 digital radiography의 접목과 함께 의학영상 응용분야로 신속히 접근해나가고 있다. 또한, 소멸파 형광 이미지 분석법과 전반사 형광을 이용한 세포의 유전자 발현, 부착성, 운동성 등을 가시화하는 기술이 소개되어 유동이 세포에 미치는 영향 등을 관찰하는 mechanobiology 등의 학문 분야에 생체유체를 더 접근시키

게 하였다. MEMS 공정을 통해 제작된 미세 급작 협착관에서의 세포들의 변형성을 고속카메라를 이용하여 혈구의 변형성이 유동에 미치는 중요성을 가시화하는데 성공하였으며, 미세채널에 형성된 부드러운 협착관에서의 유동 특성을 분석, 혈구의 tank-treading 현상과 rolling 현상을 협착관 상류 및 하류에서 각각 발생하는 것을 확인하였으며 PIV 기법을 이용하여 코 흐름 시 복잡한 기도 형상 내에서의 공기유동을 가시화하는 데 성공하기도 하였다.

한편, 2005년도에 개최된 국제광학회(SPIE)주관 Bio-Photonics 2005(미국 San Jose)에서는 기존의 생체유동 가시화가 점차 in-vivo 상태에서 가능하도록 하는 연구 및 기술발전이 최근 빠르게 전개되는 기술이 소개되었는데, 그 중 주목할 것은 OCT(Optical Coherence Tomography)와 OPS(Orthogonal Polarization Spectrum)를 이용한 가시화 기술이다. 상기 기술 모두 생체내부의 형태학적 구조를 관찰하는 광학 기술로 개발되었지만, 이를 혈관에 대해 적용하면서 혈구의 유동을 계측하는 기술로 발전하게 되었다. 국내에서도 한국광학회(OSK) 시각 및 의광학 분과를 중심으로 BioPhotonics 분야가 활발히 연구 중에 있으며 bio-medical imaging 워크숍 등이

개최되고 있다. 이러한 의광학 기술은 생체유동을 in-vivo 상태에서 계측할 수 있다는 점에서 그 파장이 매우 크며 전세계적으로 매우 빠르게 학계와 산업계가 집중 연구하는 분야로 부상되고 있다.

혈류역학

혈류역학은 주로 전산유동해석을 이용하여 혈관 내의 혈류유동의 특성을 연구한 논문이 주를 이루었다. 허혈성 심장질환의 주요 원인으로 부각되는 관상동맥 분지관에서의 혈구부착현상을 유체역학적으로 설명하는 논문이 발표되었으며 동맥경화 발생 관련된 혈류역학적 특성을 정리하는 연구가 발표되었고, 또한 이때 혈액 점도의 증가가 미치는 영향에 대해 고찰하여 고점도 혈액의 건강 위험성을 규명하고 확인하였다. 또한, 분지와 협착의 위치에 따른 맥동현상을 해석하였고 스텐트가 삽입된 혈관 하류 부근에서 혈관재협착 발생 원인에 대한 유체역학적 규명이 돋보였다. 혈관의 형태학적 특성변화와 동맥경화 발생이 상호 깊은 관계가 있음을 밝혔으며 또한 및 혈관성형술 후 동맥경화 재발생에 대해서도 연구 발표되었다. 또한, 관상동맥질환자의 누운 자세 변화가 자율신경계에 미치는 효과 및 약물의 효능에 대한 연구 논문이 발표되었으며 혈전에 의하여 혈관이 막혔을 경우 혈전

용해제를 분사하는 경우 여러 가지 변수들에 따라 혈전용해 특성을 해석하여 최적치를 제시하기도 하였다. 한편 뇌혈관 유동 분야로, 윌리셔를 뇌혈관 유동에 대한 전산유동해석이 자기공명사진과 함께 뇌혈관 유동의 자율 순환됨을 역학적으로 해석하는 논문이 발표되어 임상의들의 관심을 끌기도 하였다.

혈액유변학

2005년에는 제12회 국제생체유변학술회의(Int. Congress of BioRheology) 및 제5회 국제임상혈액유변학회가 중국 중경(Chongqing)에서 개최되어 많은 연구들이 쏟아져 나왔으며 국내에서도 제1회 국제 혈액유변학 심포지움이 개최되어 국내외적으로 풍성한 연구·토론의 장이 마련되었다. 혈액의 물리적 특성 및 미세혈관유동에 대한 계측과 분석 등이 유체공학에서 접근할 수 있는 분야로 제한되어 있던 하지만 아직도 미개척된 영역이 많이 남아 있어 관심있는 기계공학 연구자들의 창의적 연구를 필요로 하고 있다. 국내에서는 혈구의 변형성이 투석기와 같은 유동장에서 과도한 전단력에 노출되었을 때, 혈구의 손상과 경화도와의 상관관계가 보고되었으며 이를 통해 투석시스템 내의 최적 유량을 제안하였다. 혈구변형성은 당뇨에 의해서 크게 감퇴되는 것으로 알려져 왔는데, 이를 다수의 환자에

대해 검사할 수 있는 장비가 국내에서 개발되어 관련 연구가 매우 활발하게 진행 중에 있다. 특히, 혈구변형성은 당뇨병의 초기 잠복기에도 미리 진단할 수 있는 것으로 나타났으며 당뇨병성 미세혈관합병증 발생 이전에 혈구 변형성의 감퇴 정도를 가지고 조기진단할 수 있음이 보고되었다. 혈구의 응집(aggregation)은 혈액의 점도를 크게 좌우하는 인자로서 최근 이슈가 되는 분야로 혈장 안에 존재하는 고분자 단백질들을 제거하여도 혈구가 응집되는 현상이 발견되어 혈구는 자체 스스로 응집능(aggregability)을 갖는 것으로 밝혀져 후속 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

바이오센서 및 의료기기

2005년도의 생체유체 연구 특징의 하나로서 생체유체 계측기술이 진화하여 바이오센서 및 의료기기로서 발전되는 것을 볼 수 있다. 속도계측형 호흡기류 센서 설계, 혈압계측 관련 계측장치 구현, 최소통증 채혈방법과 채혈량 분석을 통한 채혈기 개발, 현존 혈액투석기의 수치해석을 통한 혈액투석기 성능향상 연구 등이 발표되었다. 그 외에도, 주사용 미세유량 조절기 설계 및 제작, 이식형 약물주입장치 개발에 관한 연구 논문이 전년에 이어 지속적으로 발표되었다. 특히, 경동맥 내중막 두께 측정을 통한 심

혈관질환의 조기진단에 대해 공학적 개발과 함께 임상실험을 병행해 발표하기도 하였으며, 자기공명영상과 심초음파를 이용한 좌심실의 기능을 평가하는 기술이 소개되었다. 한편, MEMS 기술의 발달과 함께 생체유체 분야로 많은 논문이 발표되었다. 유동장 내부에 전기장을 인가하는 기술을 응용하여 단일 DNA를 부착시키는 기술 및 Y채널에서의 단백질 분리, 미세유체역학을 이용한 무동력 미세혈액분리기, 미세채널유동 내 광역산란기법을 이용한 혈구응집층 측정 등의 다수 논문이 발표되었다 이와 같이 국내외적으로 BioMEMS 분야는 유체공학의 새로이 각광받는 분야로 부상하면서 활발한 연구의 장이 형성되어 가고 있다.

[신세현, 경북대학교]

유동 소음

최근 들어 유동 소음 연구의 세계적 동향은 원리/이론을 바탕으로 한 학문적 해석보다 산업적/군사적 활용을 목적으로 한 기술적 응용이 주류를 이루고 있다. 이는 미국/유럽에서뿐만 아니라 국내 연구 동향에서도 알 수 있다.

NASA는 유동 소음 연구를 위해 Glenn Research Center를 비롯하여 Lewis, Langley, Ames Research Center 등을 두고 있다. 이 중 GRC의 2005년도 기술 보고서에 따르면 마이크

로폰과 LDV를 이용한 팬 소음 측정/분석/감소 실험뿐만 아니라 Lilley 방정식을 응용한 제트 소음 예측, 항공 운송체에서의 소음 감소 시스템 개발에 이르기까지 매우 다양한 연구 결과들을 발표하였다. Stanford 대학 내 난류 유동 연구를 목적으로 설립된 Center for Turbulence Research(CTR)에서도 기포 진동에 의해 발생하는 음향 특성, 난류에 의한 소음장 해석 등을 주제로 세미나를 개최하고, 제트 소음의 예측, 날개 후미에서 발생하는 와류 진동에 의한 소음 예측 등에 대한 연과 결과들을 발표하였다. 또한 정기 학술회로서, ASME에서는 Turbo Expo를 개최하여 유동 박리 배기 시스템에서의 소음 예측, LES를 이용한 유동 예측 및 항공 운송체의 팬에서 발생하는 소음 예측, High By-pass 팬에서의 유동 소음 계산 등을 발표하였으며, Cascade 유동에서의 소음 예측, 축대칭 팬에서 발생하는 와소음의 모델 개발 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 터보 기계에서의 유동 소음뿐만 아니라 hybrid 방법(비압축성 Navier-Stokes 방정식+Inhomogeneous wave 방정식)을 이용한 최신 소음 저감 개념 및 방법, 미해군성 중심의 초음속/아음속 배기 제트 소음에 관한 연구가 진행 중이다.

유럽 CEAS(Confederation

of European Aerospace Societies)의 경우 2005년도 A A A F (Association Aeronautique et Astronautique de France) Workshop을 개최하여 팬 소음 및 비행체 소음을 저감하기 위한 능동 제어 기법들을 발표하였고, AIAA와 공동 주최한 2005년 공력 소음 학술대회에서는 'Are There Practical Technology Solutions to Reduce Noise and Emissions?'를 주제로 한 연구 결과를 발표함으로써 소음 저감의 실제적 응용에 한 걸음 더 나아가는 계기를 마련하였다. 또한 EuroMech Colloquium에서는 날개 후미에서 발생하는 소음 예측을 위해 Zonal RANS/LES를 이용한 연구 결과가 발표되었다. 영국의 Cambridge 대학에서는 미국 MIT와 연계하여 'The Silent Aircraft Initiative(SAI)'를 진행해오고 있다.

2005년도 한 해 동안 국제학술대회/논문집에 발표된 유동 소음 관련 논문을 살펴보면 다음과 같다. 제트 유동 소음 관련 논문이 88편 발표되었으며, 팬 유동 소음 관련 82편이 발표되었다. 공동에 관련된 논문 중 유동 유기 소음과 직접 관련 있는 논문 2편이 발표되었으며, 실린더 소음 분야에서 1편의 논문이 발표되었다. Wake와 fine-scale 난류에서 발생하는 유동 유기 소음과 관련하여 각 1편씩이 발표되

었다. 비행체에서 발생하는 유동 유기 소음과 관련하여 23편의 논문이 발표되었으며, Lighthill 방정식을 사용한 유동 및 음향 해석 연구에서 18편의 논문이 발표되었다. 이 외에도 다양한 형상에서 유동 실험/해석을 수행하여 압력을 측정/모사함으로써 유동 유기 소음의 연구에 데이터베이스를 제공한 연구들이 많다.

2005년도 국내 유동 소음 연구를 살펴보면 대한기계학회논문집에 음향 공명기가 장착된 가스터빈 연소실의 음향장 해석, 저소음 엔진 냉각 팬의 최적 설계, 저마하수 난류 끝단 소음, 전방 계단에서의 난류 소음 등과 관련하여 5편의 연구 결과가 발표되었다. 한국소음진동공학회 논문집에는 유동 소음과 관련하여 10편의 연구 결과가 발표되었는데, 원심 압축기의 공력 소음에 관한 연구, 난류 와류의 입사에 의한 2차원 평판 에어 포일 케이스케이드의 광대역 소음장의 계산, 산업용 송풍기 소음기의 성능 개선을 위한 실험적 연구, 에어 포일 케이스케이드 광대역 소음장의 고주파 근사 예측식의 개발, 상용 프로그램을 이용한 유동 소음 해석 등이 대표적인 연구 주제들이다. 또한 유체기계공업학회지에는 신규 저소음 및 고효율 머물러 적용 회전식 압축기 개발이라는 주제로 1편의 논문이 발표되었고, 한국전산유체공학학회지에는 탄성 날개 끝단의 공력 소음에 관한 전산해

석 연구가 1편 발표되었다. 정보 저장시스템학회 학술대회를 통해 고속회전 육각형 디스크의 유동 기인 소음 저감에 관한 연구가 1편 발표되었다. 이러한 논문 발표 외에도 2005년도에는 '21세기 프론티어 기술 개발 사업'의 일환으로 추진 중인 '스마트 무인기 기술 개발 사업'의 연구 결과로 '스마트 무인기의 능동 소음 제어 기술 개발에 관한 이론적 연구' 결과가 발표되었다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 2005년도 국내외 유동 소음 연구는 고성능/고효율/저소음 터보기계를 위한 팬 설계나 저소음 항공/수중 운송체 설계를 위한 독자적 기술 개발 확보라는 산업적 응용이 주류를 이루고 있다. 그러나 유동 소음 제어 기술을 실제 산업에 적용하기 위해서는 더욱 현실적이고 심도있는 연구가 선행되어야 하므로 2006년도에도 국내외적으로 활발한 연구 발표가 예상된다.

[성형진, KAIST]

환경유체역학

환경유체역학 분야는 유체역학 중에서도 환경관련, 예를 들면 대기오염, 수질오염 및 실내공기질 관련 유동현상에 대한 기초적인 연구나 응용연구를 의미한다. 넓게 보면 유체유동이 포함된 모든 환경관련 분야로 볼 수 있으나 여기에서는 유동현상의 분석 및

응용이 핵심적인 부분을 차지하는 환경관련 분야로 국한하여 고찰하고자 한다. 국내에 이러한 분야에 활발한 연구를 수행하고 있는 연구자는 그리 많지 않으며, 유체역학을 전공하는 연구자 중 주연구 분야가 아닌 응용의 한 분야로서 연구력의 일부를 할애하여 관련 연구를 수행하는 연구자 위주로 연구들이 수행되고 있다. 2005년 한 해 동안 환경유체역학 관련 연구동향을 조사하고 앞으로의 연구방향에 대한 고찰의 기회로 이번 연감작성을 삼고자 한다.

조사의 대상은 작년 한 해 동안 발간된 학술대회초록과 학술지이며 다음에 정리하였다.

- The Sixth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference (3/20-24, 부산)

- 대한기계학회 춘계학술대회 (5/25-27, 부산)

- 대한기계학회 추계학술대회 (11/2-4, 용평)

- 대한기계학회 논문집 1월호-12월호

- Journal of Mechanical Science and Technology 1월호 - 12월호

- 한국대기환경학회지 제6회 한일열유체공학 학술대회에서는 Environmental Thermo-Fluid Mechanics Session에서 세 편의 논문이 국내연구자에 의해서 발표되었다. 고밀도가스의 확산예측을 위한

라그랑지안 입자확산모델의 개발(연세대 연구팀)과 터널화제의 열유동 특성연구(성균관대 연구팀), 그리고 원격탐사에 의한 한국바람지도 작성(부산대 연구팀) 등이다. 대한기계학회 춘계학술대회에서는 환경유체세션이 따로 분류가 되지는 않았으며, 난류세션에서 벽 근처 가속도모델링에 의한 확산예측(연세대 연구팀)에 관한 연구결과 발표되었으며, 포스터 세션에 환기현상의 수치적 해석을 위한 난류모델의 영향(김철환 등, 창원대, 국방연), 실내분진의 비저항 특성에 따른 전기집진 효율(정성일 등, 부산대, 에너지기술연구소), 미세입자 제거를 위한 양전하가 부가된 수처리 필터 제조 및 성능평가(진근호 등, 부산대), 폐수처리용 응집제 혼화기술(양희천 등, 여수대) 등 네 편의 논문이 발표되었다. 추계학술대회의 경우 모든 분야에서 발표된 논문수가 적었으며 환경 관련하여 한 편의 논문만이 포스터 세션을 통해 발표되었다. 춘계학술대회에서 선행연구결과가 발표된 난류유동에서 이차 라그랑지안 스토캐스틱 모델에 의한 확산연구(김경록 등, 연세대)가 발표되었다.

대한기계학회논문집의 경우 작년 한 해 동안 환경유체 관련 논문은 단 한 편으로 자연 및 강제 배기 시의 터널 내 연기거동에 관한 실험적 연구(황철홍 등, 인하대)의 제목으로 모형터널에서

온도, 농도 측정실험결과가 6월호에 발표되었다. 영문저널의 경우, Measurement of Indoor Air Quality for Ventilation with the Existence of Occupants in Schools(Shin et al., Pusan U.)의 제목 하에 모델 챔버에서 환기에 의한 CO₂ 농도변화 측정결과가 단 한편 4월호에 게재되었다. 기계공학 관련 논문집은 아니지만 환경유체 관련 논문이 가끔 게재되는 한국 대기환경학회지에는 작년 한 해 동안 두 편의 관련 논문을 찾아볼 수 있다. 제21권 제5호에 나란히 실린 CFD 모형을 이용한 도시 도로협곡에서의 흐름체계 분류(김재진, 서울대)와 고밀고가스 확산모델 개발(김병구 등, 연세대) 등이다.

발표된 논문수가 많지 않기 때문에 통계에 의한 분석은 큰 의미를 갖지 않으나 몇 가지로 분류하여 파악할 수 있다. 지속적으로 일관성 있게 논문이 발표되고 있는 확산모델 개발 분야(연세대 연구팀), 입자오염 관련 측정분야(부산대 연구팀), 터널이나 실내의 공기질 환기관련 수치적, 실험적 연구결과(성균관대팀, 창원대팀, 인하대팀, 부산대팀), 그리고 수질관련 연구(여수대팀) 및 도심지 도로협곡 관련 CFD연구(서울대팀) 등으로 분류할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 적은 논문수로 인해 이러한 특성분류는 매년 조금씩 변동이 있을 것으로

예상한다. 조심스럽게 파악해볼 수 있는 것은 최근 들어 실내공기질(indoor air quality)에 대한 관심이 높아짐에 따라 이와 관련된 연구가 활발해지고 있는 것 같다.

환경에 대한 관심은 쾌적한 생활추구에 대한 욕구가 커짐에 따라 점차 증대되어가고 있는 것은 사실이나 환경 분야의 성격상 기계배경을 갖춘 연구자들의 적극적인 참여가 저조한 편이다. 대표적인 환경문제의 특성은 여러 가지 물리현상이 복합적으로 혼재되어 발생하고 있다는 점이다. 따라서 전통적인 환경공학 분야에서의 접근방식은 다분히 과감한 근사나 가정의 과정을 거쳐 전체 시스템에 대한 통합적인 솔루션(total solution)을 제공하는 데 초점이 맞추어져 있다. 각 요소성 연구에 훈련되어 있고, 허용하는 에러바의 범위에 대해 비교적 엄격한 잣대를 유지하고 있는 기계배경의 연구자들에게는 다소 꺾고려운 연구 분야로 비칠 가능성이 높다. 이에 기계배경의 연구자들이 이러한 접근방식에 숙달될 수 있는 과제의 수행경험이나 충분한 시간의 연구투자가 이루어진다면 엄밀한 해석에 능하다는 장점을 최대한 살려서 이 분야에 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다. 대부분의 환경문제에 유체유동이 필수적으로 결부되어 있으므로 유동현상에 대한 깊은 이해와 분석능력을 갖춘 기계배경의 연구

자들이 더욱 더 참여하여 기계공학의 범위를 넓혔으면 하는 바람이다. [이창훈, 연세대학교]

유동제어 및 계측

항력감소와 유동소음 저감과 관련한 유동제어 분야 연구는 예년에 비해 크게 늘어나지 않았다. 능동적 유동제어 연구에서는 회전 및 진동, 음향여기, 전자기력, 초음파 가진, 흡입과 injection 등이 활용되었다. 예를 들어 회전하는 원주 후류의 유동특성과 물질 전달, 주기적으로 회전 진동하는 원주 후류의 공진특성에 대한 연구가 수행되었다. 또한 횡방향으로 진동하는 전자기력에 의한 난류경계층 유동제어, 전자기력을 이용한 구 주위 유동제어, 회전하는 원통과 덕트 내부 유동에 대한 연구내용이 발표되었다.

수동적 유동제어로 원형 핀이 부착된 평판과 원주와 비원형 단면을 가진 원주의 저항감소와 후류 제어에 관한 연구가 수행되었으며, 얇은 사각형 riblet이 평판의 저항 감소에 미치는 영향에 대한 연구가 소개되었다. 그리고 횡방향 곡률을 가진 축류 경계층 유동, 회전 곡관 내부 유동, 회전하는 하드디스크 내부 유동과 입자 생성에 대한 연구, 원주 후류에 놓인 익형 주위 유동 등에 대한 연구내용이 발표되었다. 충돌 제트의 유동제어와 관련하여 자기장을 인가하거나 삼각형 멀티탭(tap)을 노출 끝단에 부착하는 연구가 수행되었다. 이 밖에 표면

조도가 채널 벽면의 압력강하에 미치는 영향에 대한 연구와 함께 익형의 지연효과에 관한 연구, 타원형 원주의 두께와 레이놀즈수 변화가 비정상 점성유동에 미치는 효과에 대한 연구, J-구루브를 이용한 캐비테이션 억제에 대한 연구 등이 보고되었다.

유동계측과 관련하여 단일 광경로 스캔 PIV, 3차원 속도장 측정기법 디지털 holographic PIV, 생체 내부 유동을 계측할 수 있는 X-ray PIV 기법 등의 속도장 측정기법의 개발이 보고되었다. 그리고 난류유동의 시간에 따른 속도장 변화를 고속으로 해석할 수 있는 dynamic PIV 기법이 새롭게 개발되었으며, 이상(two-phase) 유동해석을 위한 토모그래피 기법이 소개되었다. 이 밖에 광압을 이용한 입자빔 집속기술, 회전하는 물체의 표면 압력섭동 측정기법과 함께 defocusing 기법을 이용한 미세유동의 3차원 유동해석 연구도 발표되었다. 그리고 PIV 표준화 사업의 일환으로 2D PIV와 3D PIV 속도장 측정기법의 정량화 기술 포럼이 개최되었으며, 측정 오차에 대한 해석 연구가 수행되었다.

PIV 속도장 측정기법을 이용한 응용연구는 예년에 비해 크게 늘었는데, 다양한 원주 후류, 경계층 유동, 평면제트, 충돌제트, 교반기 내부 유동, 후향단 유동, 실내 환기유동, 곡관 유동, 프로펠러와 선미 후류, 임펠러 내부 유동, 진공청소기 흡입유동, 자동차

후류, 구(球) 후류, 엔진 내부 유동 등에 대한 응용 연구가 수행되었다. 그리고 2색 LIF기법과 PIV기법을 결합하여 열유동의 속도장과 밀도장을 분석하였으며, 비산하는 사막모래와 주변 공기 유동의 속도장을 동시에 측정하여 비산 모래 거동을 분석하기도 하였다. 이 밖에 스마트 무인기에 관한 풍동 실험연구와 회전 진동하는 원주 주위 흐름 속도장의 시간적 변화를 고속으로 계측하는 실험이 발표되었다.

또한 BT/NT 분야에 대한 관심 증대로 인해 미세 채널 내부 흐름과 유동제어에 관한 연구도 예년에 비해 많이 소개되었다. 예로서 micro-PIV 속도장 측정기법을 이용한 미세 분지관 내부 유동과 마이크로 믹서 내부 3차원 유동의 측정, 미세채널 내부에 형성된 전기삼투(electro-osmosis) 유동의 제타(zeta) 포텐셜 측정 연구가 수행되었다. 그리고 미세채널 내부 열삼투현상, 전기삼투를 이용한 미세유동의 혼합 증진, 마이크로 믹서 내부 혼합 예측, 미세 원형튜브 내부 입자부유 유동 등도 연구되었다. 생체유동과 관련하여 비강 및 호흡기 관련 내부 유동, 관상동맥 내부 혈류 유동, 적혈구의 변형과 응집(aggregation), 점도 등에 대한 혈류 유변학적 연구결과가 발표되었다.

최근의 세계적 연구 경향을 따라 국내에서도 미세유동과 생체유동에 대한 연구가 지속적으로 증가하고, 고성능 컴퓨터와 디지

털 화상처리를 이용한 광계측 기술의 활용이 크게 늘어날 것으로 예상되어 진다. [이상준, 포스텍]

나노유체

지난해에는 나노유체 제조방법, 관련 열물성 측정, 실제 열전달에 의 응용과 관련된 논문의 발표건 수가 비약적으로 증가하였다. 춘·추계학술대회에도 특별 부문이 구성되어 관심 있는 회원들을 중심으로 활발한 활동이 이루어지고 있다. 그러나 현재까지 논문의 발표는 기초연구중심으로 이루어지고 있으며 주로 학계에서 주도하고 있다. 향후 산업체를 중심으로 한 활발한 나노유체 실증 응용연구가 기대된다. 2005년도에 학술대회에서 발표된 대표적인 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

나노유체와 관련된 현재까지의 연구가 단성분 나노유체의 열전달 메커니즘 규명에 한정하여 주로 이루어졌으나 새로운 응용분야로서 흡수식 냉난방 시스템에 적용되는 이성분 나노유체에 대한 분산안정도 시험과 열 및 물 질전달실험이 실시되었다. 암모니아 기포의 흡수과정에서 나노입자와 분산을 위해 상용된 계면활성제의 역할이 실험적으로 연구되었다.

미세유로에서 산화알루미늄 나노입자(Al_2O_3)를 이용한 나노유체의 열전달 향상 실험이 실시되었다. 유로방향으로 배열된 온도

센서를 통하여 국소 열전달계수와 마찰계수가 측정되었다. 미세유로에서 나노유체의 사용에 의한 열전달 향상효과를 보고하였다. 상대적으로 나노입자에 의한 마찰손실 증가는 작은 것으로 나타났다. 나노유체에 대한 연구에서 열전도도 향상에 대한 실험 및 이론적 데이터는 많이 보고되었으나 점도와 같은 다른 물성치에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 기초 물성치 측정을 위한 실험으로 MWCNT, Fullerene, CUO 나노입자를 이용하고 기본유체로 물과 mineral oil을 사용하여 제조한 나노유체에 대하여 체적분율에 따른 동점도 실험데이터를 제시하고 이론적 분석을 수행하였다. 기존에 제시된 점도 예측식과 다르게 많은 차이를 가져왔는데 이를 사용된 나노입자의 형상, 분산안정성, 혼합농도의 변수로 차이를 설명하였다.

나노유체의 열전도율은 유체 속에 부유된 나노입자의 부유안정성과 밀접하게 관련된다. 나노입자의 침전정도를 정량적으로 평가하기 위한 장치로 UV-vis spectrophotometer를 사용하였으며 입자와 유체의 상호작용 그리고 분산 안정제의 첨가에 따른 특성을 평가하였다.

나노유체가 통과하는 관에서의 압력강하실험도 실시되었다. 이 경우의 유효점성계수를 기존의 관계식인 Einstein Model과 비교하였는데 관의 내경이 작아짐에 따라 기존의 관계식과 일치하

지 않는 결과를 나타내었다. 그 원인을 입자의 하전에 따른 electroosmotic flow에 의한 유량증가로 설명하였다.

제조된 나노유체에 레이저를 조사하여 열전도율의 변화를 측정하는 연구도 실시되었다. 일정 수치 이상의 레이저를 투사하면 나노유체속의 입자의 평균크기가 변화하는 것을 관찰할 수 있었으며 이것이 나노유체의 열전도율 향상에 영향을 줄 수 있음을 보였다.

전력기기에 사용되는 변압기 절연유에 나노유체를 상용하기 위한 연구가 진행되었다. 변압기의 특성상 절연파괴의 강도를 고려해야 하므로 사용되는 입자의 선정에 많은 제약이 따른다. 즉, 전기적 내압강도가 우수한 입자들만 시험해야 하는데 이들의 특징은 입자 또는 모재의 열전도율이 금속에 비하여 낮다는 것이다. 현재 많이 시험되고 있는 입자는 질화알루미늄이며 입자의 표면개질을 통하여 분산 안정성이 우수한 나노절연유 시료를 대량을 제작할 수 있는 기술이 확보되었다. 실용상 1% 미만의 혼합 입자 농도에 대하여 약 10% 정도의 유체열전도율 상승이 보고되고 있는데 기존에 알려진 상승정도에서 크게 벗어나지는 않는다. 실제 변압기에 대한 실증실험이 실시될 예정에 있으며 목표는 내부 변압기 코일의 온도를 현재보다 낮추는 것이다. [이신표, 경기대학교]