

# 유체공학부문

부문위원장 : 노 병 준 (전북대학교, 교수)

2000년도 한 해 동안 유체공학과 관련하여 국내의 논문집 및 학술대회를 통한 연구활동 내용을 요약하였다. 서술편리상 유체공학 분야를 유체기계, 난류, 전산유체공학, 유동제어 및 계측, 다상유동, 환경유체공학, 생체유체공학, 유동소음 등으로 분류하고 각 분야 별 활동상황을 아래와 같이 정리하였다.

## 유체기계

2000년 한 해 동안 연구된 유체기계 연구를 압축기, 송풍기, 터빈, 펌프로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 먼저 압축기에 대한 연구는 압축기의 성능 특성에 영향을 주는 요인을 확인하고자 틱간극에 대한 실험적, 수치 해석적 연구가 수행되었고, 또한 가스터빈용 소형 원심 압축기의 탈설계점 성능 및 서지 불안정성에 대한 실험적 연구를 다룬 논문들이 발표되었다. 이 외에도 파울링에 기인한 압축기의 성능저하에 대한 논문이 발표되었다. 부품에 대한 연구로는 임펠러에 대한 수치해석적, 실험적 연구가 병행되었고, 임펠러와 볼류트의 유동간섭, 익

렬의 누설유동이 각각 실험적, 수치해석적 방법을 통해 연구되었다. 또한 대체냉매를 압축시키는 스크루 압축기의 성능 그리고 스크롤 압축기의 유체 및 구조에 기인한 소음에 대한 실험연구도 수행되었다.

송풍기에 대한 연구로는 원심 송풍기 및 사류 송풍기에서 저유량 특성 등을 고려하여 해석적인 방법을 통해 성능을 예측한 연구와, 설치각의 영향을 고려한 프로펠러 팬의 성능 측정 등을 들 수 있다. 또한 진동 및 소음의 원인 분석과 저소음화를 위한 연구가 주로 수치 해석적으로 연구되었고 공력 음향학적 요소가 고려된 설계방법이 제시되었다. 이 외에도 자동차에 사용되는 각종 송풍기에 대해서도 활발한 연구가 진행되었다.

터빈에 대한 연구에는 주로 수치 해석적인 방법이 동원되어 터빈 및 실의 유동 해석 등, 터빈 각 요소에 대한 해석이 진행되었고, 또한 블레이드의 막냉각에서의 열전달 특성 및 효율이 측정되었다. 그 외에도 액체로켓 추진 및 화재진압을 위한 가스터빈에 대한 연구도 활발히 진행되었다.

펌프에 대한 연구는 주로 원심 펌프와 사류 펌프의 설계를 다루었고, 펌프의 규격 결정에 관한 연구가 수행되었다. 실험적 방법으로는 유동장의 간섭을 피할 수 있는 PIV 측정방법을 동원한 유동장 가시화가 이루어졌고 디퓨저 펌프의 정익, 원심펌프의 회전차 출구에서의 유동 특성이 측정되었다. 이 외에도 제트 펌프, 고압 펌프용 인듀서, 사판식 피스톤 펌프 등이 그리고 인체내의 유동과 관련 있는 맥동류에 대한 해석적인 연구도 수행되었다.

지난 한 해의 유체기계 연구는 실험과 수치해석 모두 병행되고 있지만 상대적으로 보다 수치해석적 방법을 통한 연구가 많이 진행되고 있고, 분야에 있어서는 압축기에 대한 연구 결과들이 보다 많이 나오고 있다. 또한 송풍기에서는 공력 성능 외에 소음 특성이 보다 중요한 문제로 나타나고 있다. [송성진, 서울대학교]

## 난류

2000년도에 수행·보고된 난류 관련 연구동향은 3월에 개최된 난류연구회와 9월에 개최된

제1회 한국유체공학 학술대회 논문집에 수록된 논문들로부터 파악할 수 있다. 타 분야와의 중복성이 있긴 하나 다음과 같이 세분할 수 있다.

- (1) 난류경계층 유동
- (2) 박리유동
- (3) 난류제어
- (4) 대와류모사
- (5) 난류모델
- (6) 난류열전달
- (7) 수치기법
- (8) 2상난류유동
- (9) 환경난류

실험기법, 특히 PTV/PIV 등에 관한 내용이나 유체기계 분야는 별도로 취급되기 때문에 본 분류에 포함시키지 않았다. 각 분야에 대하여 동향을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 난류경계층 유동

가장 많은 수의 논문이 발표되었으며, 주로 낮은 레이놀즈수의 경우 직접수치모사를 통한 연구결과와 실험의 의한 연구결과가 보고되었다. 직접수치모사의 경우, 난류경계층 내부 벽 근처에서의 난류를 생성하는 와구조의 연구, 투과성 벽을 가지는 난류 채널유동의 유동구조에 대한 연구 등이 발표되었으며, 실험적으로는 충돌제트가 있는 회전하는 디스크 위의 3차원 경계층 구조에 대한 연구, 축대칭 물체 주위의 압력분포, 소음에 관한 연구, 천이지역에서의 벽전단응력 측정에 관한 연구 그리고 타원 실린더에 의해 교란되는 난류경계층에 대한 연구 등을 들 수 있다. 이 외에도 밀도변화가 초음속 경계층에 미치는 영향, 라그

랑지안 난류모델의 난류경계층에서의 확산계산에의 적용에 대한 고찰 등이 발표되었다. 비교적 응용과는 직접적인 연관이 부족한 기초적 연구의 성격을 띄고 있으나, 꾸준히 연구결과가 발표되어 난류 자체의 특성에 대한 이해를 높이고 있다.

#### 2) 박리유동

후향계단 주위의 유동에 대하여는 꾸준히 실험적, 해석적 연구결과가 발표되고 있으며, 후향경사계단에서 발생하는 난류경계층의 제어에 관한 실험도 보고되고 있다. 또는 실린더나 구 주위의 유동에 대하여도 PIV에 의한 실험 또는 대와류모사에 의한 연구결과가 보고되었다. 자동차 모양을 단순화한 사각형 장애물 주위의 유동에 대하여 대와류모사를 포함한 난류모델의 적용결과가 발표된 바도 있다. 또는 박리가 발생하지 않도록 평판 디퓨저의 최적 형상설계를 위한 수학적 이론의 적용에 대해서도 연구가 수행되고 있다. 항력감소의 목적으로 전자기력을 이용한 실린더 주위의 유동의 제어도 수행되었으며, 리블렛 표면을 가진 원주후류에서의 유동에 대한 실험적 연구도 보고되었다. 전반적으로 유동제어의 목적으로 박리유동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

#### 3) 난류제어

세계적으로 난류제어에 관한 관심이 비교적 시들해지고 있는 상황에서 국내에서의 난류제어에 대한 연구는 주로 실험적으로 검증이 가능한 블러프바디 주위의 유동제어를 중심으로 수행되고

있다. 사각실린더 주위의 유동 제어에 대한 수치적, 실험적 연구, 리블렛 표면을 가진 원주후류 유동 구조에 대한 실험적 연구, 전자기력을 이용한 실린더 주위의 유동제어 등이 보고되었으며 이외에도 난류경계층에서 바닥벽의 변형에 의한 경계층 제어에 대한 실험적 연구, 플리머 첨가에 의한 항력 감소, 국소 교란에 의한 제어 등에 대한 수치적 연구결과가 발표되었다. 아직까지는 실용적으로 의미 있는 연구결과를 도출하고 있진 않으나 지속적인 연구투자가 필요한 분야라 할 수 있다.

#### 4) 대와류모사

전통적으로 사용되어온  $k-\epsilon$  모델과 같은 RANS계열의 난류모델과 더불어 최근 대와류모사에 대한 활발한 적용이 수행되고 있음을 알 수 있다. 급확대부를 갖는 실린더 챔버 내의 유동, planar-jet 연소기 내의 유동, 혼합층 내의 입자 분산에 대한 대와류모사가 수행되었다. 또는 전단 유동하의 구 주위의 유동, 사각형 장애물 주위의 유동에 대한 대와류모사가 보고되었다. 기존의 RANS모델에 비하여 우월한 결과를 제시하고 있어서 적용범위가 넓어질 것으로 기대된다.

#### 5) 난류모델

미미하긴 하나 난류모델의 개발에 관한 연구가 보고되었다. 하이브리드 RANS/LES 모델이 제시되었으며, 저레이놀즈수 2차 모멘트 모델이 제시되고 곡관난류유동의 계산에 적용되었다.

## 6) 난류열전달

주로 직접수치모사를 통한 스칼라 전달에 대한 수치모사가 시도되고 있다. 난류채널유동에서 여러 프란틀수의 열전달 특성, 유동 교란이 있을 때 난류속도장과 온도장의 상이성 등에 대한 직접 수치모사 결과가 보고되었다. 또한 열전달 제어 측면에서 초음파를 이용한 열전달 촉진에 대한 실험적 연구가 발표되었다.

## 7) 수치기법

압축성 유동의 수치모사시 요구되는 dealiasing에 관한 연구, 일반 고 레이놀즈수의 직접수치모사, 대외류모사에 필요한 웨이브 해상능력을 갖춘 수치스키의 개발에 관한 연구가 보고된 바 있다.

## 8) 이상 난류유동

아직까지 2상 난류(고체입자+기체)에 대한 활발한 연구는 이루어지고 있지 않으나, 대기 중에 가스 입자가 혼합된 2상 난류유동의 수치모델링에 대한 연구결과 1편 보고되었다. 2상 난류유동은 광범위한 적용분야를 가지며, 엄밀한 수치해석 측면에서도 매우 도전적인 분야라 할 수 있다. 이에 대한 연구는 앞으로 상당히 활발해질 것으로 기대한다.

## 9) 환경난류

대기경계층 내부에 장애물 주위의 유동에 대한 실험적, 수치적 연구가 각각 한 편씩 보고되었다. 이상에서 고찰한 바와 같이 다양한 분야에 골고루 논문이 발표되었으며, 아직 연구인력이 절대적으로 부족하여 통계적인 의미

는 갖진 않지만 균형적인 연구가 진행되고 있음을 시사하고 있다. [이창훈, 연세대학교]

## 전산유체공학

전산유체공학(CFD) 분야의 연구는 크게 수치해석기법 자체에 대한 연구와, 이를 실제 기계류 및 다양한 구조물에 적용 및 응용하는 연구로 나눌 수 있다. 수치해석기법은 상당부분 정립되어 있어 수치해석기법 자체에 대한 연구 결과는 많이 발표되고 있지 않고, CFD를 최적화 알고리즘에 연동시키고(optimization), 그리고 CFD와 구조해석을 동시에 수행하는 유동/구조 연성해석(fluid/structureinteraction)의 방법론에 대한 연구발표가 보고되고 있다. 또한 CFD의 응용 문제로서는 기존의 전통적인 유체기계류에 대한 유동해석과 함께 자기유체역학(MHD : Magnetohydrodynamics), 미소기계류(MEMS : Microelectromechanical System) 등 최근 주목되고 있는 분야의 유동해석 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구들은 단순히 기계공학적인 접근 방법을 벗어나, 타학문분야와의 연계를 통한 해석이 이루어져야 하며, 이를 통해 전산유체공학 부문 연구범위를 확장시켜가고 있다는 특징을 보여주고 있다.

### 1) 최적화

이 연구는 유동해석과 함께 개념 설계 단계에서 결정된 수치해석 대상의 기본 형상에 대한 최적 설계기법을 적용함으로써 최적 성능을 갖는 형상을 유도하는 연

구이다. 최적설계의 방법으로는 전통적인 설계변수에 따른 목적함수의 구배에 따라 설계변수를 변경시켜 나아가는 방법과, 최근의 유전 알고리즘(genetic algorithm)을 응용한 최적화 방법을 들 수 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 응용하여 공력, 구조분야의 세부 기술 단계의 최적화를 시스템 단계의 최적화로 끌어올려 자동차, 항공기, 선박 및 유체기계류 등의 성능을 향상시킬 수 있는 효율적인 설계를 유도할 수 있다. 유동해석을 통한 최적화를 수행하기 위해서는 개념 설계 수준 이상의 해석/설계 기법 개발이 요구되며, 아울러 해석을 진행하며, 각 분야간의 상호작용을 어떻게 관리하고 최적화를 할 것인지에 대한 최적화 기법과 시스템 통합기술의 개발이 필수적일 것이다.

### 2) 유체/구조 연성 해석

#### (fluid/structure interaction)

이 연구는 유동에 크게 영향을 받는 구조물이 존재하는 유동장의 해석을 하기 위한 방법이다. 즉, 유동에 의해 구조물이 변형되고, 그 변형된 구조물의 형상에 의해 유동장이 변화하는 문제로서, 유동해석과 구조해석을 같이 수행하여야만 평형상태의 형상과 그에 따른 유동장을 구할 수 있는 문제이다. 이제까지 다른 영역에서 해석되었던 유동해석과 구조해석을 순차적으로 해석함으로써, 보다 실제적인 유동해석이 이루어질 수 있다. 이러한 연구의 일환으로 혈관 및 심장내 밸브의 움직임 등 생체역학적 분야 및 오일 펜스 등의 해석 결과들이 보고

되어 있다.

### 3) 자기유체역학(MHD : magnetohydrodynamics)

MHD은 전자기장의 효과를 포함하는 이온화된 기체에 대해 확장된 유체역학의 한 분야로서, magnetic fusion devices, Industrial processing plasmas, ionospheric/astrophysical plasmas 등의 해석에 이용된다. 국내에서 이루어지고 있는 연구로는 자기장 속을 유체가 운동을 하면 자기장의 방향 및 유체의 운동방향과 각각 직각이 되는 방향으로 전류가 발생하는 패러데이의 전자기유도법칙을 응용한 MHD발전이 있다.

아울러 외부의 전기장이나 자기장에 반응하는 전기유변유체(ER Fluid : Electrorheological Fluid), 자기유변유체(MR Fluid : Magnetorheological Fluid)에 대한 응용 및 해석이 상당수 이루어지고 있다.

### 4) 미소기계 유동해석

최근 MEMS기술을 이용한 미소기계류 제작을 위한 연구가 활발히 진행중이며, 그 중 일반적인 유동현상과 다른 경향을 보이는 미소기계류에서의 유동 현상을 이해하기 위한 수치해석이 이루어지고 있다. 이러한 연구들은 물리적·화학적·기계적인 현상을 분자 수준에서 이해하여 응용하고 있으며, 명확한 유동해석방법의 확립은 이 분야의 발전에 크게 영향을 미칠 것이다.

[허남건, 서강대학교]

## 유동제어 및 계측

2000년도 대한기계학회논문집에 발표된 유체부문의 연구에서 유동제어분야 및 계측에 대한 연구가 활발하였다. 최근 국내에서도 활발해진 난류유동의 제어에 대한 연구가 꾸준히 계속되었다. 그 동안의 유동제어에 대한 연구들이 유동장에 대한 물리적인 이해를 바탕으로 주로 수치적인 모사에 의존했던데 반해 지난 해는 실제 유동장에 이러한 아이디어들이 적용되는 실험적인 연구들이 늘어나는 추세를 보였다. 한편, 계측분야에서는 점점 발달되어 가는 컴퓨터, 전자 및 화상처리 기술에 힘입어 화상응용계측기술의 발달이 두드러졌다. 유동속 입자들의 변위 정보를 담고 있는 유동화상을 이용한 PIV혹은 PTV속도장 측정기법은 정성적인 순간 유동정보를 제공할 뿐만 아니라 우수한 공간분해능을 갖는 정량적인 속도장 정보를 제공하게 되어 앞으로 이러한 기술을 이용한 계측기법은 다양한 유동장에 대한 심도 있는 이해에 보다 강력한 도구로 활용될 것으로 보인다.

유동제어분야의 연구논문들을 구체적으로 살펴보자면, 우선 실험적인 연구들로 압전 액추에이터를 이용한 익형후류 제어와 난류경계층유동 제어에 대한 연구가 수행되었다. 압전 액추에이터에 의한 유동제어는 압전소자의 진동을 이용하여 난류제어를 시도한 것으로 익형후류 제어의 경우는 최대 17%의 양력증가와 37%의 항력감소가 보고되었다. 또한 유량조절장치로 널리 쓰이는 버터플라이 밸브에서의 난류를 감쇄하기 위해 허니컴과 메시

스크린을 이용한 유동제어기법도 보고되었다. 한편 수치적인 기법을 이용한 연구들로는 후향계단 유동의 박리점에서 국소교란이 난류유동장에 미치는 영향에 대해  $k-\epsilon-f\mu$ 모델을 이용한 연구와 고분자 물질의 첨가에 의한 난류항력감소 유동장에 대해 레이놀즈 응력모델을 수정 적용한 연구가 있다.

유동계측 분야의 논문들을 살펴보면, 우선 PIV/PTV를 이용한 계측기법의 개발에 상당히 많은 연구가 이루어져 이러한 기법들을 이용한 응용연구들이 두드러진다. 새로운 PIV/PTV 속도장 측정기법으로 적응형 하이브리드 2-프레임 PTV, 이중노출 싱글 프레임 PIV, 영상코드화 기법 및 압축기법을 이용한 PIV 기법 등이 연구되었다. 이를 이용한 응용 개발연구로 위상평균기법을 이용한 실린더 후류의 2차 와류, 위상평균 PIV/PTV 기법을 이용한 축류 팬 주위 유동해석 등이 수행되었다. 이밖에 횡단류 제트, 타원제트, 주기적인 외력을 받는 사각용기 내부 유동 등 다양한 연구에도 PIV/PTV 속도장 측정기법이 응용되었다. 또한 열유동의 온도장 계측법으로서 LIF기법이 개발되어 비등온 제트 유동에 응용한 연구가 발표되었다. 이밖에 전통적인 측정기법인 삼각교 열선 유속계에서 엄밀히 직교성을 유지하지 않고도 간편히 유동장을 측정할 수 있는 기법이 개발되었다. [최해천, 서울대학교/ 민태기, 서울대 난류제어연구단]

## 다상유동

2000년도의 다상유동 분야의 연구활동은 상(phase)의 혼합에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 액상/고상 2상유동
- (2) 기상/고상 2상유동
- (3) 기상/액상 2상유동
- (4) 기상/액상/고상 다상유동

### 1) 액상/고상 2상유동

상변화 물질 슬러리(phase-change-material slurry)는 고효율 열전달 유체이다. 얼음 슬러리의 경우 미세한 얼음 입자가 물 내부에 혼합되어 냉각이 요구되는 지역으로 관 및 열교환기 내를 유동하며, 이 때 얼음/물 2상 혼합물의 유동성 향상과 얼음 입자 주위에서 발생하는 물의 미소 대류(micro convection) 등에 대한 연구가 수치 및 실험적으로 수행되었다. 그리고 상변화 물질을 속이 빈 미세한 구형용기(직경 10~200  $\mu\text{m}$ ) 속에 채워 이를 운반 유체에 분산 유동시키는 미립과복 상변화 물질 슬러리(MCPCM slurry)에 대한 실험적 연구도 보고되었다.

액상의 응고과정이 수반되는 액상/고상 2상 혼합물에 대한 유동해석은 물의 결빙과 용융급속의 응고과정(injection molding, die casting)의 분야에서 수행되었다. 곡유로에서 물의 층류유동 중 물의 결빙온도 이하로 유지되는 벽면상에 발생하는 얼음의 성장과정이 상경계면의 이동에 의해 수치적으로 해석되었다. 주조 과정에서 주형내의 액상 충전과정과 상변화 과정이 연구되었으

며, 자유표면의 위치를 안정적으로 추적하기 위하여 VOF(volume of fluid)에 기반한 암시적 방법이 이용되었다.

### 2) 기상/고상 2상유동

환경문제와 관련하여 고체입자의 기상 내 거동특성에 대한 연구가 수행되었다. 코로나 방전 반응기에서 재비산이 입경 분포에 미치는 영향과 일산화탄소의 농도 변화, 그리고 재비산의 관계, 다공성 방풍 헨스가 후방에 아적된 모래 입자들의 비산에 미치는 효과 등이 실험적으로 연구되었으며, 분체유동의 일종으로 분사되는 미분탄(pulverized coal)의 노즐 내 2상유동 거동이 벤추리형 디퓨저의 형상에 따라 수치적으로 해석되었다.

슬라이더/디스크 인터페이스에서 발생하는 오염입자가 전하를 보유한 경우 슬라이더와 디스크 사이의 공간에서 입자에 대한 항력, 중력, Saffman 힘, 정전기력을 고려하여 입자의 궤적이 해석되었다. 그리고 기상에 의한 고상의 유동화 현상을 이용한 무중력 유동층 건조기나 순환유동층 열교환기에 적용한 연구도 다양하게 제시되었다.

### 3) 기상/액상 2상유동

액상/기상 2상유동에 대한 많은 연구들이 액적의 분무화 현상에 대하여 수행되었다. 기체가 주입되는 2유체 미립화기(effervescent atomizer)에서 노즐 내부의 2상유동 양식(기포류, 간헐류, 환상류)과 미립화 기구의 연관성, 가솔린 인젝터의 연료 분무화 특성에 미치는 분사 압력의 영향, 2

중 충돌 F-O-O-F형 인젝터의 분무화 특성, 그리고 공압식 대향류형 내부 혼합 노즐의 분무 특성에 대한 연구가 미립화 기법과 관련하여 수행되었다. 이중 분무의 중첩영역과 단일 분무에서 액적의 거동 특성이 액적의 축 방향 및 반경 방향 평균 속도, 평균 액적 크기, 액적 크기의 구간에 따른 확률밀도함수의 상관관계의 측면에서 실험적으로 해석되었다. 생성된 액적이 고체 벽면과 충돌할 경우의 거동에 대하여 벽면에 충돌하는 가솔린 스프레이의 해석, 평면 벽에 충돌하는 디젤 스프레이의 모델링, 액막 형성을 고려한 분무-벽 상호작용에 대한 모델 등이 제시되었다. 형광 기법을 이용하여 분무의 액적 질량 유량 분포가 실험적으로 연구되었으며, 영상 처리 기법을 이용한 입경 측정에 있어 배경 명도가 측정의 정밀도에 미치는 영향도 연구되었다.

저 마하수 영역에서 단일 기포의 소노루미네센스(sonoluminescence) 현상이 수치적으로 해석되었다. 소노루미네센스 기포에 대한 가진 주파수의 영향과 에너지 집중 효과에 대한 실험적 연구도 수행되었으며, 초음파 장 하에서의 미소 기포의 진동, 즉 전형적인 비선형 운동은 가진력에 시간 지연을 두고 진동하는 것이 이론적 해석으로부터 밝혀졌다. 단일 기포의 거동과 표면장력에 대한 분자역학적 모사, 핵비 등에서 기포의 성장, 이탈 및 합체과정에 대한 Level set법 수치해석, 그리고 EHD를 이용한 핵비등 기포의 동특성에 대한 전기장 효과의 실험적 연구 등이 기포의 다양

한 경계조건에 대한 기포의 거동을 해석하기 위하여 실험 및 수치적으로 수행되었다.

원자력 발전설비의 안전성과 관련하여 물과 우즈메탈을 이용하여 원자력 발전소의 축소 모형에 대한 고압 분출 실험이 수행되었으며, 시간에 따른 각 부분의 압력 변화, 질량의 방출 분율의 영향 등이 연구되었다. 주관이 분지관으로 나누어지거나 분지관이 주관으로 합쳐지는 합지관에서의 액상/기상 2상유동에 대한 연구도 수행되었다. 45°로 분지된 수평 Y분지 관내를 유동하는 증기-물의 2상유동에서 슬러그류, 프러그류, 그리고 기포류의 상분리 현상이 주관과 분지관의 유량비, 흡입압력 등을 변수로 연구되었다. 2상유동의 합지관에서 발생하는 압력강하를 예측하기 위한 실험 및 이론적 모델로부터 출구의 직경이 압력차에 크게 영향을 미치는 것이 밝혀졌다. 하나로 원자로에 설치될 예정인 열사이클의 모의 실험으로부터 열사이클 내의 유동은 충전유체 체적과 감속재 용기에 가하는 열유속에 따라 안정 유동영역, 맥동 유동영역, 재안정 유동영역, 그리고 드라이 아웃영역으로 구별되었다. 미소사다리꼴 그루브를 갖는 채널내의 기상/액상 2상유동에서 상호마찰의 영향, 유로의 간극이 폭이나 길이에 비하여 아주 작은 협소 사각유로 내의 공기/물 대향류 2상유동 양식, 기공률, 그리고 압력구배에 대한 실험적 연구, 물/공기의 기포류 2상유동에서 압력과의 전파동에 대한 수치적 연구가 각각 다양하게 수행되었다.

#### 4) 기상/액상/고상 다상유동

배연 탈황설비에서 포집이 어려운 미세입장의 경우 입자주위에 수증기를 공급하여 응축(비균질 응축, heterogenous condensation)시킴으로써 미세 입자의 성장을 유도하고 이를 미스트 제거기에 의해 수 액적 내에 존재하는 고상 입자의 형태로 제거하는 방법이 제시되었으며 이를 위한 이론 및 실험적 연구가 수행되었다. 용융상태의 금속이 저온의 액체와 접촉할 경우 급격한 증기의 발생과 함께 증기 폭발(vapor explosion)이 발생한다. 이 때 고온의 용융금속은 좀더 작은 직경의 파편으로 분쇄되며, 주위의 구조물 및 액체와 열 및 기계적인 반응을 야기한다. 폭발적인 반응 과정에 대한 실험 결과의 모사 및 예측을 위하여 수치해석이 수행되었으며, 용융 금속의 분열, 상 변화, 계면 운동량 및 열전달 등에 대하여 다양한 구속방정식이 고려되었다.

#### 5) 종합 및 제언

여러 주제들에 대하여 폭 넓게 다상유동 연구가 수행되었다. 그러나 다상유동의 응용분야가 광범위함을 고려할 때 아직도 미개척의 많은 문제들이 산재되어 있다고 할 수 있다. 다상유동의 체계적인 이해와 응용을 위하여 다양한 경계조건 하에서의 다상 유동양식과 천이 조건, 그리고 다상 유동 압력구배에 대한 모델 및 상관식들이 개발되어야 할 것이다. 또한 다상유동의 수치해석 기법에 대한 연구도 함께 수행되어 수치적인 예측의 신뢰성과 정확성

을 향상시키는 것이 무엇보다 필요할 것이다. [김병주, 홍익대학교]

### 환경유체공학

고도화된 산업사회의 발전은 풍요로운 생활을 제공해주고 있지만 한편으로는 과도한 에너지원의 사용으로 인한 환경파괴의 어려움을 가져다 주었다. 새로운 21세기에서는 인류가 지속 가능한 성장을 하기 위해 환경과 생태계를 보호해야 하는 중대한 계기를 맞이하고 있으며, 쾌적한 환경을 추구하려는 노력으로 환경과 관련된 연구는 더욱 그 필요성이 시급하게 대두되었다. 환경은 크게 나누어 대기와 관련된 문제, 바다를 포함한 수자원에 관련된 문제, 그리고 토양과 관련된 문제로 대별할 수 있다. 이중에 두 가지인 물과 공기는 유체이므로 유체역학의 지식과 연구결과는 환경관련 연구에서 가장 중요한 문제해결의 기반을 제공한다.

2000년도에 기계학회 논문집 및 춘, 추계 학술대회에서 환경유체공학과 관련된 논문은 모두 30편이 발표되었다. 환경유체공학의 범주에는 환경오염물질의 배출저감에 관한 연구로부터 배출된 물질의 확산에 관한 연구에까지 주로 환경문제와 관련이 있는 유체역학적 제반 문제가 포함된다. 또한 환경관련기술에 사용되는 기계의 설계나 제작에 유체역학적 지식이 사용되었을 경우에도 환경유체역학에 포함시킬 수 있다.

대한기계학회논문집과 학술대회에서 발표된 논문을 분석해 보면, 오염물질의 발생원인과 저감

기술에 관한 연구가 압도적으로 많이 수행되었다. 이는 자동차산업 및 각종 소각장과 관련하여 정부의 환경 규제치가 법제화됨으로써 이를 충족시키는 기술의 개발 수요가 많아졌음을 나타내는 것으로 생각할 수 있다. 먼저 오염물질 발생원인 규명에 대한 실험적 연구로는 다공 세라믹 오일 연소기의 온도분포 및 CO, NOx 배출 특성에 관한 실험적 연구, 레이저 유도 형광법(LIF)을 이용한 층류 메탄 예혼합 화염 내 NO 농도측정에 관한 연구, 레이저 탄성산란법, 여기적열법, 자발광을 이용한 가시화 디젤엔진의 후기 연소의 2차원 soot 분포 측정, 재연소 과정의 NOx 발생특성에 관한 실험적 연구들이 수행되었다.

이러한 오염물질들을 제거하거나 저감하는 연구로는 Radical을 이용한 디젤 엔진의 NOx 제거 특성에 관한 연구, 저온 플라즈마와 첨가제를 이용한 NOx 제거 실험 및 수치해석 연구, 터보과급기를 장착한 직접분사식 디젤엔진의 배출 가스저감에 관한 실험적 연구, 레이저 유도 백열법을 이용한 화염 내부 매연 농도 측정, Sooting 및 Non-Sooting 정상 확산 화염에서 생성되는 매연 입자의 특성에 대한 연구 및 디젤 기관의 배기 배출물에 미치는 스크러버형 EGR시스템 재순환 배기의 영향에 관한 연구가 진행되었다. 한편 오염물질의 생성에 관한 예측연구도 수행되었는데, 구체적으로는 2영역 모델을 이용한 EGR사용 직접분사식 디젤엔진의 NOx 생성예측, 프로판 엔진의 배기 포트에서 탄화수소 산화율 추정연구, 이상 회체가스 가중

합산모델을 적용한 미분탄 연소의 수치적 연구가 수행되었다.

우리나라의 화력발전소 가운데 상당 부분은 석탄 화력발전소이다. 이와 관련된 환경유체역학 연구로는 가압 유동층 연소소에서 석탄의 연소 및 배가스 특성 연구, 석탄 화력발전소에서 발생하는 석탄회의 수분함유량 및 온도에 따른 비저항성 특성연구 등이 수행되었다.

대기환경과 관련된 연구로는 건물이나 공장지대의 풍환경 측정 및 예측관련 연구가 대표적이다. 건물주위의 풍환경 관련 연구로는 PIV 기법을 이용한 저층 건물 지붕에서 발생하는 원추형 와의 구조에 대한 실험적 연구 및 쓰레기 소각플랜트의 상태공간모델 규명에 관한 연구가 수행되었다. 풍공학 연구에 PIV기법과 같은 첨단 유동측정 기법이 응용된 경우는 주목할 만한 사실이다. 포항제철과 포항공대의 산학협동연구로 수행된 바람에 의한 야적 모래 입자의 비산에 관한 실험적 연구 및 방풍펜스가 후방에 놓인 야적 모래 입자의 비산에 미치는 영향에 관한 연구는 매우 성공적으로 수행되어 연구 결과가 실제 방풍펜스의 설치로 이어졌고, 언론에 보도된 바와 같이 야적 연료의 비산을 대폭 감소시킴으로써 대단히 성공적인 결과를 얻은바 있다.

수자원 관련 환경유체 연구로는 정수장 내 염소요구량 자동결정시스템 개발 연구가 발표되었다. 또한 실내환경 관련 연구로 Dry Room 내 기류 및 수분오염에 관한 수치적 연구, 다수의 열원을 가지는 공간에서의 환기조

건에 따른 열환경 해석 및 실공간에서 공기정화시스템을 이용한 실내 오염 입자 제거 특성에 관한 연구 결과가 발표되었다.

환경오염의 저감에 사용되는 전기집진기 등 기자재의 설계와 관련된 환경유체공학적인 연구도 다양하게 수행되었다. 구체적인 연구제목으로는 마찰대전을 이용한 혼합폐플라스틱 분리에 관한 연구, 1단 전기 집진기에서 2차유동이 집진효율에 미치는 영향, 분사된 미분탄의 편중분포 방지를 위한 내부장치 최적화에 관한 수치 해석적 연구, 반건식 세정기의 산성가스 제거성능에 관한 실험적 연구, 코로나 방전 반응기에서 Carbon Soot 입자의 재비산, 집진효율 향상을 위한 미세 에어로졸 입자의 응축에 의한 성장연구, 전기탈수방법에 의한 하수 슬러지 탈수 특성에 관한 연구이다. 이들 연구 중에는 자원의 재활용에 관련된 연구들도 포함되어 있으며, 앞으로 더욱 많은 연구가 필요한 분야이다.

2000년도에는 대한기계학회 유체공학부문 위원회가 주최하여 국내 유체관련 13개 단체가 참여한 제1회 유체공학학술대회(National Congress on Fluid Mechanics)가 개최되었다. 이 대회에서는 환경유체공학 세션이 별도로 마련되어 3편의 논문이 발표되었다. 구체적인 내용으로는 목성대기의 대적반 및 대상류 운동에 관한 수치해석적 연구, 대기경계층 내에 놓인 두 개의 자유단 원주 주위 유동특성에 관한 풍공학적 연구, 그리고 유동박리 및 재순환을 수반하는 대기유동의 수치모사이다.

우리 학회가 출판하고 있는 국제학술지인 KSME International Journal에도 환경유체역학 관련 논문이 4 편 발표되었다. 그중 3 편은 환경오염물질의 발생원인과 저감에 관한 연구였으며, 구체적인 제목은 다음과 같다.

- The Relationship Between Firing Modes and Nitric Oxide Emission in Highly Preheated Air Combustion
  - A Study on the Reduction of Cold Start Hydrocarbon from Gasoline Engines Using Hydrocarbon Absorbers
  - A Study of HC Reduction with Hydrocarbon Absorber Systems
- 나머지 한 편은 실내환기와 관련된 실험적 연구로서 이 역시 중요한 환경유체역학 관련 연구의 주제이다. 논문의 제목은 다음과 같다.
- An Experimental Study of Ventilation Effectiveness in Mechanical Ventilation Systems using a Tracer Gas Method [김경천, 부산대학교]

### 생체유체공학

생체유체역학은 혈액과 혈관계의 특성을 다루는 유체역학의 한 분야이다. 생체유체역학적 현상을 연구하고 이해하기 위해서는 의학과 유체역학뿐만 아니라 혈관생물학(vascular biology), 유전공학(genetic engineering), 심혈관생리학(cardiovascular physiology), 의용생체공학, 조직공학 등의 지식이 있어야만 한다.

생체유체역학분야 연구는

2000년 들어 공학자 및 임상의학에 의해 많은 관심을 받았다. 1999년도에 혈류역학연구회에 의해 개최된 생체유체역학관련 세미나가 2000년도 들어와서도 계속해서 개최되었고, 2000년 후반기에는 혈류역학연구회 조직을 확대하여 연구회와 학회의 중간 단계인 순환기질환의공학회가 조직되고 있는 중이다.

대한기계학회 2000년도 춘·추계학술대회에서 생체유체역학 세션이 마련되었으며, 무주에서 개최된 제1회 한국유체공학학술대회에서도 생체유체역학 세션이 마련되어 임상 및 유체공학자의 연구결과 발표가 있었고 임상의의 초청강연도 있었다. 생체유체역학분야에 대한 유체역학자의 관심이 증대되면서 대한기계학회 유체공학부에서는 2001년에 생체유체역학을 주제로 한 강연회를 개최할 계획을 마련하였다.

이와 같이 2000년 한 해는 21C의 미래산업인 보건의료기술의 관심증대로 인하여 많은 유체공학자들이 생체유체역학분야 연구에 깊은 관심을 보인 한 해였다. 2000년도에 수행된 연구 프로젝트는 이 분야 연구의 특성상 기계공학 단독으로 수행된 것도 있지만, 의과대학과 연계된 협동연구과제들도 많았다. 2000년도에 수행되었던 생체유체역학 연구의 주요 내용을 소개하면 다음과 같다.

우선 혈관질환에 관한 생체유체역학적 연구는 서상호, 유상신, 권혁문, 이종선, 유정열, 심은보, 김영호 등에 의해 활발하게 수행되고 있으며, 대한기계학회 춘·추계 학술대회나 대한의용생체공

학회 학술대회 등에서 연구결과를 발표하였다. 2000년 1 년 동안 상기 연구자들에 의해 발표된 연구결과들을 보면 전년도와 달리 혈액의 박동유동과 혈관의 탄성적 운동의 상관관계와 wave reflection이 혈관의 벽면전단응력에 미치는 영향에 대하여 중점적으로 연구하고 있다. 2000년 연구 중에서 특기할 점은 혈관계 내의 혈류역학적 특성을 가시화하기 위한 이루어진 점이다.

인공장기에서의 생체유체역학적 연구는 심장의 인공밸브 개발(유정열)과 인조혈관 내 벽전단 변형률(이계한)에 관한 연구 등이 수행되었다. 서울대학교 의공학교실에서는 한국형 인공심장에 대한 체계적 연구들이 수행되었고, 각 대학의 의공학연구소에서 인공장기에 관련된 연구들이 많이 수행되었다.

혈액의 Hemorheology에 관한 연구는 주로 혈액의 유변학적 특성, 즉 점도 특성을 구축하기 위한 연구가 수행되었으며, 특히 점도측정을 위한 장치들이 개발되었다. 혈관내피세포 연구와 관련해서는 혈관내피세포주위의 유동 특성을 실험 및 수치해석적인 방법으로 해석하여 그 결과로부터 순환기질환의 생체유체역학적 원인규명에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 이 분야에서는 연구방법으로 유동가시화기법이 도입되었다. 현재 혈관내피세포주위의 유동현상을 고찰하기 위한 가시화기법 중에서 Micro PIV를 이용하기 위한 연구가 Bio PIV연구와 맞물려 활성화되기 시작하였다. [서상호, 숭실대학교]



## 유동소음

유동소음(flow noise)은 공력소음(aero-acoustics)이라고도 하며, 전기줄이 바람에 떨며 내는 에오리언톤(aeolian tone)에서부터 재채기와 같은 생체적인 제트소음, 벌이 봉봉 내는 소리, 플룻과 같은 악기의 공명음향 등과 같은 자연 물리음향(physical acoustics)분야, 최근 스텔스 기능을 갖는 잠수함 등의 수중음향탐지, 항공기 제트엔진소음, 자동차 앞유리 주위의 A자 기둥 와동 등에 의한 공력소음과 같은 고속 운송기관분야, 가전제품소음, 컴퓨터와 같은 사무용기기소음, 타이어에 의한 도로소음 등 환경소음분야, 산업플랜트에서의 밸브소음, 발전소 보일러 바이패스소음, 대형송풍기 소음 등 기간산업분야 등 매우 광범위하다.

유동소음연구를 물리적 현상으로 분류하면 공기밀도변화나 유동자체에 의한 소음, 벽면압력변동에 의한 소음, 와동과 물체와의 상호작용에 의한 소음, 공명 음향에 의한 상호가진소음으로 나

눌 수가 있다.

유동소음을 측정/해석/제어하려는 노력은 주로 실험적인 방법과 이론적 및 전산공력소음(CAA : Computational Aero-Acoustics)이라는 방법을 통하여 이루어지고 있다. 전산공력소음은 유체유동을 지배하는 미분 및 적분방정식으로부터 유동장 및 음향장을 함께 계산하여 소음원 및 소음전파의 물리적 특성을 구하는 분야이다.

2000년도의 유동소음분야의 연구는 기간산업분야의 배기제트소음, 송풍기소음, 주거환경분야인 컴퓨터 CPU팬소음, 압축기 유체소음, 그리고 운송기관분야인 수중음향 경계층유동소음 등으로 요약될 수 있다.

유동소음의 실험적 연구로는 슬롯관에서 방사된 초음속제트소음의 수동적 제어, 스크롤 압축기의 토출부 압력맥동에 의한 유동소음과 공진에 의한 구조소음의 소음원 규명, 축대칭 물체의 난류 벽면압력특성 및 방사소음스케일링에 대한 연구 등이 수행되었다. 또한 가청 주파수 음파를 이용하

여·관내의 평균유속을 측정하는 방법에 대한 연구도 있었다.

유동장과 음향장이 강력하게 연관된 문제들은 이론적 및 해석적 접근의 어려움으로 인해 주로 실험적 방법에 의존하여 왔으나, 최근 컴퓨터 및 수치해석기법의 급격한 발달에 힘입어 전산유체역학과 함께 전산공력소음 분야의 연구가 매우 각광을 받고 있다. 즉, Navier-Stokes 방정식을 DNS 혹은 LES로 계산한 후 음향학적 상사성을 이용하는 방법, 물체 주위의 유동장 계산을 음향장 계산의 경계요소법과 연관하여 계산하는 방법, 그리고 비선형과 동 방정식을 만족하는 Kirchhoff 표면 위의 정보를 이용하여 소음을 계산하는 방법 등이 팬소음과 같은 복잡한 유동소음에측에 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다. 이러한 소음원으로부터의 소음방사, 공명, 산란 등의 연구와 함께 최근에는 저소음설계를 위한 수치최적화연구 및 소음역설계 연구가 도입되고 있다. [이승배, 인하대학교]

### 기계용어 해설

#### ▶ 최소 변형에너지 밀도 기준(Minimum Strain Energy Density Criterion)

Sih에 의하여 제안된 파괴기준으로, 균열선단 부근에 있는 미소 면적의 단위체적 당의 변형에너지, 즉 변형에너지 밀도로부터 구한 변형에너지 밀도 계수가 최소인 방향으로 균열이 진전하며, 그 값이 임계값에 도달할 때 균열이

진전한다는 파괴기준

#### ▶ 균열각(Crack Angle)

혼합모드 문제에서 하중방향에 대한 균열의 경사각, 또는 모드 I인 경우의 균열 연장선을 x축이라 할 때, y축에 대한 균열의 경사각