

수치해석을 이용한 대류열전달의 국내 연구동향

이택식 · 이재현 · 이진호 · 최영기 · 유재석
서울대학교 교수 한양대학교 교수 연세대학교 교수 중앙대학교 교수 아주대학교 교수

1. 서 론

국내의 열전달 관련 연구는 1970년대부터 시작되었다. 초기의 연구는 주로 실험적 방법 및 해석적 방법에 의하여 이루어졌으며 이후 1980년대에 들어서 대형 전자계산기의 도입에 따라 수치적 방법에 의한 연구에 괄목할 진전을 보이고 있다. 국내에서 이 분야의 연구는 초기에 소수의 연구자들에 의하여 제한된 분야에서 이루어졌으나 최근 국내의 산업 발전, 연구 인력의 증가, 그리고 다양한 국제교류에 힘입어 연구분야가 세분화되어 가고 있는 추세이다.

열전달 분야 중에서도 대류열전달에 관련된 수치해석적 연구가 현재 국제적으로 많은 연구의 대상이 되고 있으므로 이번 기회에 국내에서 수치적 방법을 이용한 대류열전달 분야의 연구동향을 간략히 기술하고자 한다. 대류열전달 분야를 소분류하는 방법에는 여러가지가 있겠으나 이번 조사에서는 “자연대류 열전달”, “강제대류 열전달” 그리고 “상변화 열전달”의 세가지로 분류하였으며 위의 분류에 명확히 속하지 않는 것이라고 유사성을 참고하여 분류하였다. 상기 각 분야에서의 기술 순서는 대략적으로 발표년도 순서를 따랐다.

본 연구동향의 조사에서는 국내 학술 문헌 중 “대한기계학회논문집”을 중심으로하여 이외에 관련된 학술지로서 “공기조화·냉동공학”, “태양에너지” 등에 수록된 논문을 발췌 요약하였다. 짧은 시간 내에 많은 논문을 조사하는

과정에서 혹시 누락된 문헌이 있을지라도 많은 양해 바란다.

2. 자연대류 열전달

자연대류 문제는 일반적으로 정지된 유체내에서 가열된 평판이나 봉과 같은 물체주위 유동과 열전달 특성을 취급하는 외부유동 문제(external flow)와 밀폐용기내의 유체의 유동 및 열전달 특성을 취급하는 내부유동(internal flow)으로 나눌 수 있다. 국내에서의 자연대류에 관한 연구는 초기에는 주로 외적 문제에 대해 실험적으로 많이 이루어졌으나 80년대 들어 컴퓨터가 보급됨에 따라 수치해석을 이용하여 활발히 이루어지고 있다. 특히 밀폐 공간내에서 자연대류에 관한 수치해석이 최근 활발히 이루어지고 있으며 이중확산(double-diffusive) 대류에 관한 연구도 몇몇 연구자에 의해 이루어지고 있다.

2.1 외부유동

1984년 권순석^(A1)은 두 개의 긴 수직평판 핀을 가진 등온 수평 원통으로부터 2차원 자연대류 열전달을 유한차분법에 의해 해석하여 핀이 부착된 원통 주위의 유동이 보통 원통에서보다 훨씬 활발하며 이로 인해 보통 원통에 비해 열전달률이 $Ra=10^6$, $Pr=5$ 에서 5.32% 증가함을 보였다. 1987년 정한식 및 권순석^(A2)은 실험과 병행하여 단일 핀을 가진 수평판에서의 열전달에 관하여 유한차분법을 이용하여 수치

해석한 결과 핀이 없는 맨 관인 경우 관전도 변수 G 가 $G < 300$ 에서는 평균열전달률이 급격히 증가하나 $G > 300$ 에서는 약간 증가하며 핀이 부착된 경우 하향핀의 경우가 상향핀의 경우보다 열전달률에서 약간 더 효과적임을 밝혔다. 임경빈 등^(A3)은 실험으로부터 태양연못(solar pond)내의 확산안정층과 혼합층 사이에 존재하는 경계층을 통한 열전달률 및 염분전달식을 구하고 이를 이용하여 태양연못의 열-염분 이중확산계의 각 층의 거동을 유한차분법으로 해석, 실험결과와 잘 일치함을 보였다. 1988년 이철재와 김시범^(A4)은 일정 열유속으로 가열되는 수직원통 주위의 자연대류를 급수해법(series expansion)으로 해석하여 경계층 방정식을 푸는데 있어서의 급수해법의 한계를 밝혔으며 동일한 높이를 기준으로 할 때 국소 Nusselt수는 수직 평판으로부터 점차 가는 원통이 될수록 증가하며 Prandtl수가 커질수록 그 증가율은 완만해짐을 밝혔다.

2.2 내부 유동

1981년 민만기^(A5)는 아랫면이 가열되는 사각형 밀폐공간에서 Grashof수가 5,000~50,000까지 2차원 층류 비압축성 자연대류를 연구하여 종횡비가 1~2.4 범위에 적합한 평균 Nusselt수의 상관관계식을 도출하였다. 최인규와 박우용^(A6)은 원주방향으로 비균일 열유속을 받는 수직원형 덕트내부에서 부력을 영향을 받는 강제대류 층류유동을 유한요소법을 이용하여 2차원 유동 및 열전달 특성을 해석하였다. 이용신과 이동호^(A7)는 고온의 아랫벽, 저온의 윗벽, 단열된 좌우벽을 가진 2차원 밀폐공간이 기울어져 있을 때 내부에서 발생하는 자연대류 유동특성을 유한요소법에 의하여 2차원 해석을 하였으며 Prandtl수가 0.7이며 종횡비가 20인 경우에 Nusselt수에 관한 상관관계식을 제안하였다. 이 때 계산범위로는 Rayleigh수가 3,000~5,000이며, 종횡비가 1, 15, 20, 경사각은 40, 50, 90도 등이었다. 1982년 조철형 등^(A8)은 두개의 정온 수평원관에 의하여 이루

어지는 동심 및 이심 환상 공간에서의 자연대류 열전달 현상을 두 원관의 반경차를 특성길 이로 잡을 때의 Rayleigh수가 50,000보다 작은 경우에 대하여 수치적인 방법으로 연구하였다. 쌍극좌표계를 사용하여 이심환을 풀었으며, 아주 작은 이심률을 갖는 경우 환의 총체적 열전달 특성은 동심환의 것과 같음을 증명하였다. 이재현과 이택식^(A9)은 수평동심 타원 사이의 환상공간에서의 자연대류에 관한 수치해석을 유한차분법에 의하여 수행하였으며 이 때 사용된 좌표계는 타원 좌표계이다. 계산결과와 유선분포와 실험결과는 좋은 일치성을 보였다. 박만홍과 이재현^(A10)은 밀폐공간내의 유체가 공기일 때 수직인 한 면이 균일 가열되고 다른 한 면은 균일 냉각되어 수평인 유한한 전도율을 갖는 2개의 평행 격판에 의하여 이루어진 밀폐공간에 대한 자연대류 열전달 현상을 수치적으로 연구하였다. 계산은 ADI 유한차분법에 의하여 수행하였으며 정상상태에서 Grashof수 및 종횡비의 변화에 따르는 등온선과 유선을 구하고 냉각면과 가열면에서의 국소 Nusselt수와 평균 Nusselt수를 구하였다. 또한 본결과를 양 측면이 단열된 밀폐공간내에서의 자연대류 열전달 현상과 비교하였다. 김병용^(A11)은 상하부 경계가 단열되어 있고 측면 경계가 일정 온도로 유지되는 사각형 밀폐 공간내의 압축성 유체가 갑자기 가열 또는 냉각되는 수직 벽면의 온도 차이로 인한 자연대류 현상의 시간에 따른 변화 과정을 수치적으로 연구하였다. 그 방법으로 MAC방법을 수정한 과도 상태의 압축성 유체의 자연대류 현상을 관찰하였다. 이택식과 손정락^(A12)은 식염수와 순수한 물을 이용하여 밀도차에 의하여 2층으로 성층된 액체가 담긴 용기를 모델로 하여 rollover 현상을 관찰하였으며 이로부터 rollover 현상의 원인을 규명하고 자연대류의 관점에서 수치적으로 해석하여 실험결과와 비교하였다. 1983년 성형진과 정명균^(A13)은 비교적 강하게 가열된 평판위로 평행하게 공기가 유동할 때 부력이 난류 구조에 큰 영향을 미치는 경우에 대하여 각 난

류전달방정식들을 평균 유동방정식들과 동시에 해석하여 부력이 난류구조에 어떠한 영향을 미치는가를 수치적으로 연구하였다. 김병하와 유갑중^(A14)은 비교적 저온의 순수물 속에 있는 수직 얼음 원기둥 주위에서 일어나는 자연대류 현상에 수치계산방법을 사용하여 해를 구하였으며 기존 실험결과와 비교하였다. 유동의 형태는 주위유체의 온도에 따라서 상향유동, 하향유동, 이 양자가 동시에 존재하는 유동의 형태로 구분되었으며 해를 구할 수 있는 영역내에서는 상향유동과 하향유동이 동시에 존재하는 구역에서 열전달률이 최소가 됨을 알 수 있었다. 박상우, 정명균^(A15)은 정지된 수조의 표면을 따라 온수가 방출될 때 수조내의 에너지 전달현상을 예측하기 위하여 4-방정식 난류모델을 도입하여 수치적 해석을 수행하였다. 또한 2-방정식 모델에 대한 국소 평형과정을 4-방정식 모델 결과와 비교하여 그 타당성을 검토하였다. 1984년 이재현과 박만홍^(A16)은 균일하게 분포된 내부발열을 갖는 유체가 든 경사진(수평에서 45°까지) 정사각형 단면의 밀폐공간내에서의 2차원 자연대류 유동 및 열전달에 관한 수치적 연구를 수행하였다. 김상호 등^(A17)은 4각형 밀폐공간이 밀면의 중앙부에서 부분적으로 가열되고 윗면은 균일하게 저온으로 유지되며 양 측면과 가열 부분 이외의 밀면이 가열되어 있는 모델을 채택하여 경사각 및 Grashof수의 변화에 따른 2차원 층류 자연대류 현상을 수치적으로 연구하였다. 밀폐공간은 중형비가 1과 2인 두가지를 택하였고 내부유체는 Prandtl수가 0.773인 공기로 선정하였으며, Grashof수의 범위는 10,000~30,000까지이다. 이재현^(A18)은 정사각형 밀폐공간내에 1개의 발열체가 있는 경우 발열체의 기하학적 위치에 따른 자연대류 열전달 및 유동특성을 연구하였다. 밀폐공간내의 유체는 300K의 공기로, 발열 물체는 구리로 선택하여 SIMPLE방법으로 수치해석을 수행하였다. 1985년 이택식과 고상근^(A19)은 아래면이 고온이고 옆면 중의 일부가 저온으로 유지되는 4각형 밀폐공간에서의 자연

대류에 관하여 SIMPLE방법으로 수치적 연구를 하고 동등한 경계조건을 가지는 실험결과와 비교하여 수치모델의 타당성을 입증하고 중형비, Grashof수 등과 단열조건, 저온부의 위치 등을 변화시키면서 열전달 현상을 연구하였다. 남평우 등^(A20)은 소형 냉동냉장고가 실내에 위치할 때 냉동기의 성적계수 저하를 방지하기 위한 방열기의 효과적인 위치선택에 관한 연구의 첫 단계로서 우선 3차원적인 실내를 2차원적인 밀폐공간으로 가정하여 방열기 표면으로부터의 공기의 정상 2차원 층류 자연대류 유동 및 열전달 특성을 수치적으로 해석하고 이 해석 방법의 타당성을 유동의 가시화 방법에 의하여 증명하였다. 손병진과 강희영^(A21)은 수평 동심원 이중 환상 밀폐공간에서의 전도를 고려한 자연대류 열전달을 유한차분법을 사용하여 수치적으로 연구하였으며 특히 유체와 고체사이의 접촉면 조건에서 상관 인자를 도입하여 (k_s/k_f) 비가 큰 값에서 수치해를 얻었고 실험에서는 여러가지 (k_s/k_f) 값에 대하여 측정하였으며 여기서 계산치와 비교하면서 상관 인자의 신뢰도를 조사하였다. 최철진과 장근식^(A22)은 아래로부터 가열되는 직사각형 공동내에서의 자연대류와 공동 위쪽의 외부 난류경계층 유동이 복합된 혼합대류 열전달 문제를 유한차분법을 사용하여 연구하였다. 1986년 이재현과 이상렬^(A23)은 사각형의 한 면이 비정규적인 경우에 비직교 대수적 좌표변환 방법에 의하여 2차원 층류 자연대류 유동 및 열전달을 해석하였다. 1987년 이준식과 김택영^(A24)은 구 주위의 혼합대류에 대하여 전영역에 걸쳐 유효한 매개변수를 차원해석에 의하여 유도하고 이를 적용하여 지배방정식을 비상사 경계층방정식의 형태로 변환하고 이를 유한차분법에 의하여 수치 해석하여 유동 및 열전달 특성을 연구하였다. Prandtl수가 0.7과 7인 유체에 대하여 계산을 수행하여 Prandtl수의 변화에 따른 강제대류 및 자연대류의 비교강도의 영향에 대하여 고찰하였다. 자연대류의 영향에 의한 벽면에서의 운동에너지 증가에 따른 유동의 박리점 이동에

대해서도 고찰하였다. 박대성 등^(A25)은 한 벽면이 열복사에 대하여 선택적 투과성을 가지는 유리면으로 이루어진 정사각형 밀폐공간에서 복사에 대하여 투명한 공기로 채워진 경우 자연대류에 대한 복사열전달의 영향에 대하여 SIMPLE방법을 사용하여 수치해석하였다. 이택식과 이상우^(A26)는 좌우 경계면의 저온과 고온으로 일정하게 유지되고 상하 경계면은 단열벽으로 구성되어 있으며 단열벽 상하에 수평전도벽이 존재하고 그곳에 간막이가 부착되어 있는 직사각형 밀폐공간내에서의 2차원 층류 자연대류에 관한 수치해석을 수행하였으며 Mach-Zehnder 간섭계를 이용한 실험적 연구를 병행해서 수치해석의 타당성을 검증하고 간막이와 수평전도벽이 자연대류 열전달에 미치는 영향을 고찰하였다. 김기훈 등^(A27)은 직사각형 밀폐공간내에서 자연대류와 복사의 상호영향에 대하여 P-1근사를 이용하여 수치적으로 해석하였다. 밀폐공간내에서의 온도분포, 속도분포 및 열전달계수를 구하였으며 열경계층내에서의 전도와 복사의 상호영향에 대하여 고찰하였고 표면복사만이 존재하는 경우에 대해서도 고찰함으로써 P-1근사의 적용한계를 규명하였다. 1988년 김무현 등^(A28)은 수평 경계면이 단열이고 수직 경계면이 서로 다른 온도로 유지되고 있는 정방형 밀폐용기내의 자연대류에 관하여 유동함수-와도모델을 이용한 유한요소법을 통해 특히 낮은 Prandtl수의 영향에 중점을 두어 경계층 흐름이 존재할 때의 유동 및 열전달 특성을 수치해석하였다. 강보선 등^(A29)은 상하면이 단열이고 양 수직면이 선형 온도분포를 갖는 사각 밀폐공간내에서의 온도성층화 과정에 대한 실험적 연구와 수치해석을 수행하였으며 수치해석을 통하여 실험결과와 비교해 보고 Rayleigh수의 영향, 유동의 진동 현상유무 등을 조사하였다. 1989년 양성환과 권순석^(A30)은 수직 평행 평판에서의 혼합대류 열전달에 관하여 $Pr=0.7$, $Gr=10^4$ 및 $50 < Re_L < 500$ 인 경우 평판 간격과 평판 길이를 변수로 하여 유한 차분법으로 수치해석하였다.

속도분포, 온도분포 및 Nusselt수를 구하여 평판의 간격과 길이가 열전달에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

3. 강제 대류 열전달

강제 대류의 수치 해석적 연구는 자연 대류에 비해 미비하였으나 1980년대 중반에 들어오면서 여러 연구자들에 의해 연구되어 오고 있다. 현재까지의 연구들은 주로 관내에서의 유동, 특히 장애물이 있는 복잡한 형상에서의 난류 유동에 큰 관심을 가져왔으며, 1987년도 이후에는 왕복엔진등 여러 응용 분야에 대한 연구가 진행되어왔다.

1981년 백승욱, 유정열^(B1)은 내벽이 등온을 유지하는 원관내에서 낮은 Prandtl 수유체의 원관 입구층류유동 및 열전달에 대하여 유한차분법을 사용하여 Prandtl 수 4~1500 범위내에서 속도입구길이 및 열입구길이를 구하였다. 1982년 서광수, 최영돈^(B2)은 장애물이 있는 채널내의 난류 유동 및 열전달 현상을 Reynolds 수 5,000~40,000인 경우에 대해 수치 해석하여 장애물 크기 및 Reynolds수가 유동 및 열전달에 미치는 현상을 해석하였다. 1983년 홍진관등^(B3)은 직사각형 단면을 갖는 링 형태의 인공조도를 내관에 부착시킨 이중 동심원관에서 확립되어가는 난류유동 및 등열유속 조건을 가지는 내관벽의 열전달 현상을 Reynolds 수 20,000과 30,000에 대하여 수치해석하여 인공조도가 열전달계수 및 마찰 계수에 미치는 영향을 해석하였다. 1984년 원승호등^(B4)은 2차원 비대칭 급확대 채널에서의 층류 정상유동 및 상하양면 정온 조건에서의 열전달 현상에 대해서 경계층 모델 방정식을 Reynolds 수 100~600에 대하여 수치 해석하여 채널 입구에서 스텝까지의 거리가 유동 재부착점까지의 길이 및 열전달 계수에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 1985년 최영돈^(B5)은 사각단면을 가지는 180도 곡관에서의 난류 유동 및 열전달 현상을 $Re=56,690$ 인 경우에 대하여 수치해석

하여 3차원 해석에 있어서 $k-\epsilon$ 방정식 모델 및 PSL 방법 적용의 타당성 여부 및 정확도에 대하여 검토하였다. 노승탁 등^(B6)은 이중 동심관 내벽에 주기적으로 원주형 관을 부착시킨 경우의 등열유속 조건을 갖는 내관벽 내의 완전 발달된 난류유동 및 열전달 형상에 대하여 Reynolds 수 22,000~100,000 내에서 수치 해석하여 동심관의 직경비, 피치비가 열전달 및 압력손실에 미치는 현상에 대하여 검토하였다. 류명석, 맹주성^(B7)은 2차원 비대칭 급확대 채널에서의 층류 정상유동 및 상하 양면 정온조건에서의 열전달 현상에 대해서 수정된 경계층 모델방정식을 Reynolds 수 130~230인 경우에 수치해석하여 계산시간의 절약 및 최대 열전달 계수를 갖는 위치에 대하여 검토하였다. 1986년 전태현, 심윤섭^(B8)은 원형봉으로 구성된 유로에서의 층류유동 및 등온벽 조건의 열전달 현상에 대하여 좌표변환후 수치 해석하여 다공도에 따른 열전달 계수의 변화, 봉의 편심이 열 유체역학적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 이병곤, 최영돈^(B9)은 내관외면에 직사각형 인공조도를 갖는 이중 동심원관내의 등열유속 조건의 완전 발달된 난류유동 및 열전달 현상에 대하여 Reynolds 수 30,000과 39,000에 대해서 수치 해석하여 유선의 재부착, 인공조도에 의한 열전달 효과 및 압력손실에 대하여 검토하였다. 이택식, 이상산^(B10)은 편심된 등온조건의 이중원관 환상부를 흐르는 층류 유동 및 열전달 특성의 확립과제에 대해서 3차원 포물선형 유동방정식을 변환시켜 수치 해석하였으며 Prandtl 수, 반경비 및 편심도가 열전달 특성에 미치는 영향에 대하여 해석하였다. 1987년 강신형, 이창훈^(B11)은 등온조건의 2차원 축대칭 왕복엔진 등온조건의 실린더 내의 유동장 및 열전달 현상에 대하여 수치 해석하여 흡입 및 압축과정의 유동장을 구하였고 선회속도의 영향에 대해서 검토하였다. 이규식, 최영돈^(B12)은 등온 수직평판에서 강제대류가 존재하는 막비등 유동 및 열전달 현상에 대해서 수치 해석하여 열역학적 상태량을 일정하다

고 가정하는 것이 정확치 않음을 보였다. 권영필, 이계철^(A13)은 Reynolds 수가 1~40인 범위의 맥동류에 놓인 구형입자로부터의 열전달에 대하여 유동의 맥동성분에 대한 열전달 응답특성을 수치적인 방법으로 구하였다. 1988년 권영필^(B14)은 기류에 음장이 중첩되어 순간속도에 대한 Reynolds 수가 5~35사이에서 맥동하는 유동에 수직으로 놓인 등온 원통으로부터의 열전달 특성, 유동장 및 온도장의 순간 응답 특성을 수치적인 방법으로 구하였다. 최영돈, 이진휘^(B15)는 주기적인 원주형 장애물이 있는 평행 평판 사이의 재순환 난류유동 및 열전달 현상에 대하여 Reynolds 수 20,000, 40,000에 대해서 비직교 좌표 변환을 통하여 수치 해석하였으며 유동장과 난류특성 및 장애물 벽면과 평행평판 벽면의 마찰특성과 열전달 특성에 대하여 고찰하였다. 최문창, 최도형^(B16)은 축에 수직방향으로 압력 구배를 받는 2차원 난류 평면 제트의 속도 및 온도분포를 수치적인 방법으로 구하여 운동량 및 열의 확산률, 제트의 진행 경로 및 열흐름을 해석하였다.

4. 대류 현상을 포함하는 상변화 열전달

수치해석을 이용한 상변화 열전달 해석은 70년대 중반 이후 부터 시도되었다. 상변화 열전달은 응고 및 용해와 증발 및 응축 과정으로 크게 구분할 수 있는데, 그중 응고 및 용해에 관한 해석은 초기에는 열전도만을 고려하여 행하여 졌으나 1986년 이후 액상내의 밀도차에 의한 자연대류 현상을 포함하는 해석이 행하여 지고 있으며 실험적 연구도 활발히 수행되고 있다. 증발 및 응축 과정에 대한 연구는 주로 실험을 통하여 연구되어 왔으며 수치해석적 연구는 80년 중반이후 열파이프등을 비롯한 전열기기 내부의 열전달 현상 해석을 위하여 시도되고 있다. 이 외에도 2상 유동시의 열전달 현상에 관한 수치해석적 연구도 시도되었으며 편이상 상변화 열전달 영역에 포함하였다.

1982년 김재웅과 최영돈^(C1)은 고체분말이 부상된 공기가 관내를 유동하는 2상 난류 열전달 현상을, 2상난류 열확산계수 모델을 도입하여 지배방정식을 확립하고 이를 von. Mises 및 Patankar-Spalding 변환을 한 후 유한차분법으로 수치해석하여, 관의 직경과 고체입자의 크기 및 열부하, 비열이 열전달 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 1986년 유호선과 노승탁^(C2)은 액상내의 자연대류를 고려한 2차원 상변화 열전달 문제의 해석을 위하여, 시간 의존 Boundary-Fitted 좌표계로 임의의 형상을 좌표 변환한 후 공간 좌표에는 검사체적방법을, 시간좌표에는 Fully-Implicit 방법을 적용하여 차별화된 수치해석방법을 제시하고, 수치실험 결과를 타 연구결과와 비교 검토하여 수치모델의 타당성을 입증하였다. 서정일과 장영석^(C3)은 비금속성 환상위를 갖는 열파이프의 성능해석을 위하여 작동유체가 워상에 정지해 있다고 가정한 후 비금속 위를 포함한 전 영역을 열저항으로 표시하고 이를 ADI 방법으로 해석하여 열파이프의 성능예측 방법을 제시하고 이를 실험치와 비교검토하였다. 김영일과 김효경^(C4)은 회전형 흡수식 제습기에서 종래의 방식(mode 1), 재생부와 처리부 사이에 냉각부를 둔 방식(mode 2), 냉각공기를 재순환시키는 방식(mode 3), 재생공기의 일부를 재순환시키는 방식(mode 4) 등 4가지 방식의 제습 과정을 Power-law 기법을 적용하여 수치적으로 해석하여 재생온도 및 재생공기 습도, 회전수, 재생 풍량비등이 제습효율에 미치는 영향을 규명하여 mode 3가 가장 효과적임을 밝혀내었다. 장영석등^(C5)은 나선형 그루브에 금망을 겹쳐서 삽입한 열파이프의 열전달 현상을 해석하기 위하여 각 부분의 열저항을 구하고 이를 ADI 방법으로 해석하여, 금망을 증가시킬수록 열회수율이 감소하며 금망의 겹수와 겹은 열저항과 상호관계를 가지며 열회수 효과는 열저항에만 의존함을 밝혀 내었다. 손상석등^(C6)은 수직가열관 주위의 환상용기내의 자연대류를 포함하는 상변화 물질의 용해과정을 대수적 비직교

좌표변환을 통해 해석영역을 사상한 후 제어체적 방법으로 지배방정식을 차별화하여 Grashof수 및 형상비가 증가할수록 가열면적을 통한 총열전달량과 용융영역의 두께가 증가한다는 결과를 얻었다. 장영석등^(C7)은 열파이프의 전열현상을, 열저항으로 표시한 해석모델을 선정하여 ADI 방법으로 저온용열파이프에서 작동유체가 전열특성에 미치는 영향을 고찰하여 응축부의 열이동량은 작동유체의 열전도율이 클수록 향상되며, 작동유체가 일정할 때 워의 두께 변화가 열전달에 영향을 미치며 열회수는 t/K 와 시간의 변화에 따라 증류수가 메탄올, 아세톤, R-12보다 빠른 변화를 보인다는 결과를 얻었다. 1988년 김원훈과 나석주^(C8)는 박판을 프라스카 아아크로 용접할 때 키홀이 존재한다고 가정할 때, 키홀내의 대류현상을 포함한 2차원 준정상상태의 열 및 물질전달 현상을 유한차분법을 적용하여 수치해석한 후 실험치와 비교 검토하여, 열전도만을 고려하여도 충분히 정확한 온도분포를 예측할 수 있다는 결과를 발표하였다. 김석현등^(C9)은 흡수기내의 증기가 전열관 주위에서 LiBr 용액에 흡수될때의 열 및 물질전달 현상을 유동함수를 독립변수로 취하여 좌표변환한 후 Fully-Implicit 유한차분법을 적용하여 증류영역에서 관의 수 및 직경, 온도차, Schmidt수, 질량유량의 영향등을 고찰하여 평균열전달계수와 이들 인자들간의 관계를 정성적으로 나타내는 실험식을 제안하였다.

참 고 문 헌

- (A1) 권순석, 1984, "두 수직 평판관을 가진 수평 원통으로 부터의 자연대류", 대한기계학회논문집, 제8권, 제3호, pp. 241~249.
- (A2) 정한식, 권순석, 1987, "단열 핀을 가진 수평관에서의 자연대류 열전달", 대한기계학회논문집, 제11권, 제2호, pp. 279~286.
- (A3) 임경빈, 박희용, 이관수, 1987, "태양열못안

- 의 열-염분 이중확산계에 대한 수치적 연구”, 공기조화·냉동공학 제16권, 제6호, pp. 606~612.
- (A4) 이철재, 김시범, 1988, “일정 열유속으로 가열되는 수직원통 주위의 유체에서의 자연대류에 관한 연구”, 공기조화·냉동공학, 제17권, 제4호, pp. 426~434.
- (A5) 민만기, 1981, “직사각형 밀폐공간내 자연대류 열전달의 수치해석”, 공기조화·냉동공학, 제10권, 제3호, pp. 185~219.
- (A6) 최인규, 박우용, 1981, “Finite Element Analysis of Laminar Combined Free and Forced Convection through a Duct with Peripheral Heat Flux Variation”, 대한기계학회논문집, 제5권, 제3호, pp. 230~237.
- (A7) 이용신, 이동호, 1981, “유한요소법을 이용한 경사진 직사각형 단면 공동내부의 자연대류 현상의 수치해석”, 대한기계학회논문집, 제5권, 제4호, pp. 329~337.
- (A8) 조철형, 장근식, 박권현, 1982, “Numerical Simulation of Natural Convection in Concentric and Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli”, 대한기계학회논문집, 제66권, 제1호, pp. 46~55.
- (A9) Jae-Heon Lee and Taik Sik Lee, 1982, “An Experimental and Numerical Study of Natural Convection in the Annuli between Horizontal Confocal Elliptic Cylinders”, 대한기계학회논문집, 제6권, 제2호, pp. 160~168.
- (A10) 박만홍, 이재현, 1982, “유한열전도율의 격판을 갖는 수직 구형 밀폐공간에서의 자연대류에 관한 수치적 연구”, 태양에너지, 제2권, 제1호, pp. 1~8.
- (A11) 김병용, 1982, “사각형 밀폐공간의 과도층류 압축성 자연대류에 관한 수치적 연구”, 태양에너지, 제2권, 제1호, pp. 9~16.
- (A12) 이택식, 손정락, 1982, “용기 속의 성층유체의 자연대류”, 대한기계학회논문집, 제6권, 제1호, pp. 66~71.
- (A13) 성형진, 정명균, 1983, “수평평판 위의 혼합대류 열전달 계산을 위한 4-방정식 모델의 개발”, 대한기계학회논문집, 제7권, 제2호, pp. 193~203.
- (A14) 김병하, 유갑중, 1983, “Numerical Analysis of Natural of Natural Convection from a vertical Ice circular in Pure Water” 대한기계학회논문집, 제7권, 제4호, pp. 483~488.
- (A15) 박상우, 정명균, 1983, “온수의 표면 방출에 의한 2차원 비정상 난류 열확산의 예측”, 대한기계학회논문집, 제7권, 제4호, pp. 451~460.
- (A16) 이재현, 박만홍, 1984, “Natural Convection Flow and Heat Transfer in an Inclined Square Containing Internal Energy Sources”, 대한기계학회논문집, 제8권, 제2호, pp. 171~177.
- (A17) 김상호, 정인기, 김중엽, 1984, “밀면에서 내부가열을 갖는 경사 사각형 밀폐공간내의 자연대류 열전달 및 유동 특성”, 공기조화·냉동공학, 제13권, 제3호, pp. 148~156.
- (A18) 이재현, 1984, “고립된 발열물체를 가지는 정사각형 밀폐공간내에서의 자연대류 열전달 및 유동특성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제8권, 제4호, pp. 360~367.
- (A19) 이택식, 고상근, 1985, “아래면이 고온이고 옆면의 일부가 저온인 4각형 밀폐공간에서의 2차원 자연대류에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제9권, 제2호, pp. 213~221.
- (A20) 남평우, 이재현, 박만홍, 김석현, 1985, “냉동냉장고의 실내위치에 따른 에너지 소비량의 변화에 관한 연구”, 공기조화·냉동공학, 제14권, 제3호, pp. 26~37.
- (A21) 손병진, 강희영, 1985, “수평 동심원 이중환상의 밀폐공간에서의 Conjugate 자연대류 열전달”, 대한기계학회논문집, 제9권, 제4호, pp. 430~439.
- (A22) 최철진, 장근식, 1985, “Nugural Convection in Rectangular Cavity Washed Externally by a Turbulent Boundary Layer”, 대한기계학회논문집, 제9권, 제4호, pp. 518~527.
- (A23) Jae-Heon Lee and Sang-Ryul Lee, 1986, “Natural Convection in Irregular Enclosures using a Non-orthogonal Algebraic Coordinate Transformation”, Heat Transfer : Korea-U.S.A. Seminar, Seoul, pp. 495~507.
- (A24) 이준식, 김택영, 1987, “혼합대류에 의한

- 구 주위의 층류 유동 및 열전달 해석”, 대한기계학회논문집, 제11권, 제2호, pp. 345~353.
- (A25) 탁대성, 이택식, 이준식, 1987, “선택적 투과성명을 가진 직사각형 밀폐공간에서의 표면복사 및 자연대류 해석”, 공기조화·냉동공학, 제16권, 제2호, pp. 194~203.
- (A26) 이택식, 이상우, 1987, “수평 전도벽과 간막이가 직사각형 밀폐공간내에서의 2차원 층류 자연대류에 미치는 영향”, 공기조화·냉동공학, 제16권, 제2호, pp. 204~215.
- (A27) 김기훈, 이택식, 이준식, 1987, “직사각형 밀폐공간내에서의 복사 및 자연대류 열전달”, 대한기계학회논문집, 제11권, 제2호, pp. 331~344.
- (A28) 김무현, 이진호, 강신형, 손영석, 1988, “유한요소법을 이용한 정방형 밀폐용기내의 플란틀수가 낮은 유체의 자연대류에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제12권, 제3호, pp. 541~550.
- (A29) 강보선, 이준식, 이택식, 노승탁, 1988, “비정상 자연대류에 의한 온도성층화의 동특성에 관한 연구”, 공기조화·냉동공학, 제17권, 제4호, pp. 382~394.
- (A30) 양성환, 권순석, 1989, “수직 평행 평판에서의 혼합대류 열전달”, 대한기계학회논문집, 제13권, 제2호, pp. 299~306.
- (B1) 백승욱, 유정열, 1981, “낮은 프란틀수를 가지는 유체의 원관입구 층류 유동 및 열전달”, 대한기계학회논문집, 제5권, 제4호, pp. 284~292.
- (B2) 서광수, 최영돈, 1982, “장애물이 있는 평행 평판 사이를 흐르는 난류 유동의 열전달 해석”, 대한기계학회논문집, 제6권, 제3호, pp. 211~221.
- (B3) 홍진관, 이기만, 최영돈, 1983, “인공조도가 있는 이중 동심원관의 난류 열전달 해석”, 대한기계학회논문집, 제7권, 제3호, pp. 301~312.
- (B4) 원승호, 맹주성, 손병진, 1984, “비대칭 급확대 채널의 층류유동 및 열전달 해석”, 공기조화·냉동공학, 제13권, 제1호, pp. 5~13.
- (B5) 최영돈, B.E. Launder, 1985, “사각단면의 180 곡관에서의 난류 유동과 열전달 해석”, 대한기계학회논문집, 제9권, 제1호, pp. 91~108.
- (B6) 노승탁, 이택식, 강신형, 송명호, 이은현, 1985, “형상변화에 의한 열전달 성능향상(II) —이중 동심관내에 원주형 튜를 부착할 때의 난류 유동 및 열전달의 수치 해석 및 유동 실험—”, 대한기계학회논문집, 제9권, 제2호, pp. 202~212.
- (B7) 류명석, 맹주성, 1985, “비대칭 급확대 관로 유동장내의 열전달 해석에 수정된 경계층 방정식의 적용 가능성 추정”, 공기조화·냉동공학, 제14권, 제4호, pp. 293~299.
- (B8) 전태현, 심운섭, 1986, “전산 해석을 통한 37개 봉으로 구성된 유로에서의 열유체학적 특성 분석”, 대한기계학회논문집, 제10권, 제1호, pp. 50~55.
- (B9) 이병곤, 최영돈, 1986, “주기적으로 단면이 완전 확립된 난류 재순환 유동과 난류 열전달의 수치 해석”, 대한기계학회논문집, 제10권, 제1호, pp. 138~149.
- (B10) 이택식, 이상산, 1986, “편심된 이중 원관의 환상부를 지나는 층류 유동에서의 속도장 및 온도장의 확립에 대한 연구”, 대한기계학회논문집, 제10권, 제16호, pp. 861~869.
- (B11) 강신형, 이창훈, 1987, “축대칭 왕복 엔진의 흡입 및 압축과정에서 유동 및 열전달의 수치해석”, 제11권, 제3호, pp. 395~408.
- (B12) 이규식, 최영돈, 1987, “수직 평판에서의 강제 대류 막비등 유동의 열전달 해석”, 제11권, 제3호, pp. 425~436.
- (B13) 권영필, 이계철, 1987, “맥동류에 놓인 구로부터의 열전달”, 공기조화·냉동공학, 제16권, 제2호, pp. 185~193.
- (B14) 권영필, 1988, “음장이 등은 원통으로부터의 강제대류 열전달에 미치는 영향”, 대한기계학회논문집, 제12권, 제2호, pp. 373~380.
- (B15) 최영돈, 이진희, 1988, “주기적인 원주형 장애물이 있는 덕트 유동 및 열전달의 비직교 좌표변화에 의한 해석”, 공기조화·냉동공학, 제17권, 제4호, pp. 473~488.
- (B16) 최문창, 최도형, 1988, “진행축에 수직방향 압력구배를 받는 난류 평면 세트의 수치적 연구”, 대한기계학회논문집, 제12권, 제5호, pp.

1150~1157.

- (C1) 김재용, 최영돈, 1982, "고체분말이 부상된 이상난류 관유동의 열전달 해석", 대한기계학회 논문집, 제 6 권, 제 4 호, pp. 331~340.
- (C2) 유호선, 노승탁, 1986, "좌표변환에 의한 상 변화 과정의 수치해석", 대한기계학회논문집, 제10권, 제5호, pp. 585~592.
- (C3) 서정일, 장영석, 1986, "비금속 환상 워를 갖는 히이트파이프의 성능개선에 관한 연구", 대한기계학회 논문집, 제10권, 제5호, pp. 713~723.
- (C4) 김영일, 김효경, 1986, "회전형 흡수식 제습기에 관한 연구", 공기조화·냉동공학, 제15권, 제2호, pp. 169~181.
- (C5) 장영석, 이영수, 서정일, 1986, "나선형그루

부-금망의 복합워를 갖는 히이트파이프의 전열 특성에 관한 연구", 공기조화·냉동공학, 제15권, 제3호, pp. 273~282.

- (C6) 손상석, 이채문, 이재현, 임장순, 1986, "상 변화 물질의 대류유동 및 열전달 현상에 관한 연구", 태양에너지, 제6권, 제2호, pp. 43~53.
- (C7) 장영석, 이영수, 서정일, 1986, "저온용 히이트파이프의 작동유체에 관한 연구", 태양에너지, 제6권, 제2호, pp. 76~85.
- (C8) 김원훈, 나석주, 1988, "플라즈마 키폭 박판 용접에서의 열 및 물질유동", 대한기계학회논문집, 제12권, 제4호, pp. 813~824.
- (C9) 김석현, 김영인, 서석청, 황동곤, 1988, "수평원관 군상의 2원 흡수용액 유동에 의한 전열 흡수 특성", 공기조화·냉동공학, 제17권, 제5호, pp. 583~589.



국제 학술대회 참가 안내

제 5 회 마이크로용 CAD에 관한 국제 토론회의

—The Fifth International Forum on Micro-Based CAD—

주 관 : North Carolina State University
Industrial Extension Service

후 원 : Apollo Computer, Inc., IBM, Control Systems, Inc., Prime Computer, Inc., Sun Microsystems, Inc., Versacad Corporation, Control Systems, Inc.

일 시 : 1989년 7월 19일~21일 (3일간)

장 소 : Sheraton Imperial Hotel & Towers, Research Triangle Park, N.C., USA.

분 야 : CAD/CAM/CIM/CAE, Structural analysis applications, CAD education, Management of CAD/CAM/CAE systems, The CAD-CAE link, Curriculum strategics for education, Integrated systems for the future, Visual and graphical enhancement techniques, Expert systems, Alternative user interfaces.

※ 기타 자세한 내용은 홍익대학교 공과대학 기계공학과 김청균 교수께 문의바람.

전화번호 : (02) 334-0151, 교환 533