

## 공기조화, 냉동 분야의 최근 연구 동향 - 2000년 및 2001년 학회지 논문에 대한 종합적 고찰 -

강 신 형, 한 화 택\*, 조 금 남\*\*, 이 승 복\*\*\*, 조 형 희\*\*\*\*, 김 민 수\*\*\*\*\*  
서울대학교 기계항공공학부, \*국민대학교 기계자동차공학부, \*\*성균관대학교 기계공학부,  
\*\*\*성균관대학교 건축공학과, \*\*\*\*연세대학교 기계공학부, \*\*\*\*\*서울대학교 기계항공공학부

### Recent Progress in Air Conditioning and Refrigeration Research - A Review of Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2000 and 2001 -

Shin-Hyoung Kang, Hwataik Han\*, Keumnam Cho\*\*,  
Seung Bok Leigh\*\*\*, Hyung Hee Cho\*\*\*\*, Min Soo Kim\*\*\*\*\*  
*School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*  
*\*School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*  
*\*\*School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea*  
*\*\*\*Department of Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea*  
*\*\*\*\*School of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*  
*\*\*\*\*\*School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

**ABSTRACT:** A review on the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigerating Engineering in 2000 and 2001 has been done. Focus has been put on current status of research in the aspect of heating, cooling, ventilation, sanitation and building environment. The conclusions are as follows.

(1) Most of fundamental studies on fluid flow were related with heat transportation of facilities. Drop formation and rivulet flow on solid surfaces were interesting topics related with condensation augmentation. Research on micro environment considering flow, heat, humidity was also interesting for comfortable living environment. It can be extended considering biological aspects. Development of fans and blowers of high performance and low noise were continuing topics. Well developed CFD technologies were widely applied for developing facilities and their systems.

(2) Most of papers related with heat transfer analysis and heat exchanger shows dealt with convection, evaporation, and channel flow for the design application of heat exchanger. The numerical heat transfer simulation studies have been performed and reported to show heat transfer characteristics. Experimental as well as numerical studies on heat exchanger were reported, while not many papers are available for the system analysis including heat exchanger.

(3) A review of the recent studies on heat pump system shows that performance analysis and control of heat pump have been performed by various simulations and experiments. The research papers on multi-type heat pump system increased significantly. The studies on heat pipe have been examined experimentally for change of working characteristics and structure. Research on the phase change has been carried out steadily and operation strategies of en-

capsulated ice storage tank are reported experimentally in several papers.

(4) A review of recent studies on refrigeration/air conditioning system have focused on the system performance and efficiency for new alternative refrigerants. Evaporation and condensation heat transfer characteristics are investigated for tube shapes and new alternative refrigerants. Studies on components of refrigeration/air conditioning system are carried to examine efficiency for various compressors and performance of new expansion devices. In addition to thermophysical properties of refrigerant mixtures, studies on new refrigerants are also carried out, however research works on two-phase flow seemed to be insufficient.

(5) A review of the recent studies on absorption cooling system indicates that heat and mass transfer phenomena have been investigated to improve absorber performance. Various experimental data have been presented and several simulation models have been proposed. A review of the recent studies on duct and ventilation shows that ventilation indices have been proposed to quantify the ventilation performance in buildings and tunnels. Main efforts have been focused on the applications of ventilation effectiveness in practice, either numerically using computational fluid dynamics or experimentally using tracer gas techniques.

(6) Based on a review of recent studies on indoor thermal environment and building service systems, research issues have mainly focused on many innovative ideas such as underfloor air-conditioning system, personal environmental modules, radiant floor cooling and etc. Also, the new approaches for minimizing energy consumption as well as improving indoor environmental conditions through predictive control of HVAC systems, various activities of building energy management and cost-benefit analysis for economic evaluation were highlighted.

**Key words:** Air conditioning(공기조화), Refrigeration(냉동), Heat exchanger(열교환기), Piping(배관), Fluid machinery(유체기계), Heat transfer analysis(열전달 해석), Heat exchanger(열교환기), Heat pipe(히트파이프), Heat pump(열펌프), Thermophysical property(열물성), Ice storage system(빙축열시스템), Refrigeration(냉동), Condensation(응축), Expansion device(팽창장치), Ventilation(환기), Cooling tower(냉각탑), Absorption cooling(흡수식 냉동), Compressor(압축기)

## 1. 서 론

본 논문의 목적은 설비공학 분야의 최신 연구 경향을 분석하고, 그 흐름을 평가하기 위한 것으로, 2000년부터 2001년까지의 최근 2년간에 대한 설비공학회의 논문집에 발표된 논문들을 유사한 주제에 따라 몇 개의 큰 분야로 분류하였고, 각각의 분야에 대하여도 자세한 세 분류로 나눈 다음 이에 대한 분석을 하였다. 학회에 발표된 논문들에 대한 연차적인 평가를 통한 연구 동향의 흐름 분석은 이번이 두번째로 앞으로 매년 이러한 분석을 통해 앞으로의 연구방향 설정에도

유익한 정보가 제공될 수 있도록 하여야겠다.

## 2. 유동일반, 유체기계, 배관 분야의 연구 동향

### 2.1 개 관

유동일반 분야는 설비의 개발과 관련된 열전달을 동반하는 유동에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 특히 응축을 촉진하기 위한 고체 표면에서의 액적의 거동, 리뷰렛 유동에 대한 연구는 흥미 있는 연구이다. 유체기계 분야의 연구는 주로 송풍기의 개발과 관련하여 이루어졌다. 배관 분야는 관로의 과도현상과 관련된 내용이 주류를 이루고 있으나 기술적으로 기여도가 큰 연구는 많지 않았다. 최근 정착된 CFD 기술을 활용하여

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7113; fax: +82-2-883-0179

E-mail address: kangsh@snu.ac.kr

다양한 설비의 내부 유동 프로세스를 해석하는 연구가 상당히 증가하였다. 이들에 대한 연구내용은 다음과 같다.

## 2.2 유동일반

밀폐공간의 대류에 관한 연구가 꾸준히 발표되었다. Jeong et al.<sup>(5)</sup>에서는 사각 공간에서 난류 자연대류에 관한 연구를 수행하였다. 표준  $k-\epsilon$  모델을 포함한 3가지 모델을 채택하여 실험결과와 비교하였다. Kim<sup>(18)</sup>은 제어판이 설치된 사각 밀폐공간에서 난류 자연대류 문제를 수치해석하여 수평격판에 부착된 제어판의 역할에 대하여 검토하였다. Kang et al.<sup>(44)</sup>은 정사각 실험조 내에 이중유체를 두고 초기 온도와 냉각면 온도를 변화시켜 물의 과냉현상이 있을 경우의 냉각속도와 유동특성을 실험적으로 연구하였다. Yoo et al.<sup>(88)</sup>은 안쪽 실린더가 일정한 열유속으로 냉각되는 수평환형 공간에서 공기의 자연대류를 수치해석적으로 연구하였다. 유동의 분기현상과 해의 이중성 및 유동형태에 따른 열전달특성을 연구하였다. Yoo and Eom<sup>(139)</sup>은 넓은 수평환형 공간에서 자연대류를 수치해석을 통해서 진동대류로의 분기현상에 대하여 연구하였다. 레일레이수가 증가함에 따라서 정상 자연대류에서 진동대류로, 또 주기 배가 진동대류로 이어서 혼돈대류로 변하는 경로를 시뮬레이션 하였다. Ji et al.<sup>(148)</sup>은 침대 매트리스 내부의 온도와 수분의 분포를 시뮬레이션하여 신뢰성 있는 결과를 보고하였다. 이러한 연구는 생물학적 검토를 위한 자료를 제공하여 적극적 환경설계에 활용될 수 있을 것이다. Yoo<sup>(1)</sup>은 비점성 정체유동조건에서 응고현상을 이론적으로 연구하였다.

설비공학논문집에서는 일반 열유체유동에 대한 기초연구도 상당히 발표되었다. Kim et al.<sup>(267)</sup>에서는 고체 표면을 흐르는 얇은 액체유동인 리뷰릿에 대한 해석을 섭동법을 이용하여 이론적으로 연구하였다. 여기서 만곡 리뷰릿의 불안정성에 미치는 여러 변수들의 영향을 연구하기 위해서 접촉각 히스테리시스를 고려한 교란방정식을 제시하고 이를 해석하였다. Kim et al.<sup>(247)</sup>은 평판에 미끄러져 내려오는 액체에 대하여 미끄럼 점성액적의 정상속도에 관한 스케일링 해석방법을 제안하였다. 이론적 해석법의 타당성을 검토하기 우

해서 실험도 수행하였다. Kim et al.<sup>(249)</sup>는 평판 위의 선형 리뷰릿에서 액적 유동으로의 천이 메카니즘을 지배하는 변수를 실험적으로 규명하였다. 또 만곡 리뷰릿의 운동에너지 메카니즘을 이론해석을 통해 연구하였다.

Hwang and Lee<sup>(90)</sup>는 Karman 경계층에 대한 유동안정성방정식을 새로 검토하고 오류를 지적한 후 불안정성에 대한 연구를 수행하였다. Chun et al.<sup>(116)</sup>은 원자로 연료봉 내 대형 와류유동에 대한 연구를 통해서 냉각재 시스템의 난류촉진 방안을 검토하였다. 특히 연료봉의 지지격자와 유동혼합날개의 역할을 시험과 수치해석을 이용하여 검토하고 실제 열전달을 촉진하는 방안을 제시하였다. Lee et al.<sup>(151)</sup>은 계면활성제를 고분자 수용액에 투입하여 퇴화특성을 지연시켜 배관의 마찰저항 감소를 오래 지속시키는 연구를 수행하였다. 액체의 온도와 유동속도에 따른 혼합비율과 이들의 영향을 실험적으로 연구하였다. Kim et al.<sup>(163)</sup>에서는 증기응축의 촉진을 연구하기 위한 기초연구로 진동하는 고체벽에 매달린 액적의 분리현상에 대한 연구를 실험적으로 수행하였다. 여기서 액적이 용이하게 분리될 수 있는 진동수가 존재함을 보이고 최소 가진의 크기를 진동수의 함수로 구하였다. Kim et al.<sup>(197)</sup>은 엇갈린 배열의 관군 내부 유동장을 PIV 기술을 이용하여 측정하고 이를 해석결과와 비교하였다. 한편 Choi et al.<sup>(202)</sup>은 VOC 물질을 제거하기 위한 광촉매 반응로 내부유동을 수치해석하여 반응기의 형상과 운전조건에 따른 제거특성을 연구하였다. 이러한 연구는 최근 정착된 CFD 기술을 활용하여 다양한 설비의 내부유동 프로세스를 해석하는 연구의 일환으로 프로세스의 이해, 성능향상, 시스템의 설계자료가 확보된다. Ahan and Son<sup>(221)</sup>은 매끈한 외관 내에 파형 관과 나선 홈관을 설치하고 직경비, 홈깊이, 피치가 관의 마찰계수에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 제한된 파라미터 범위에서 신뢰성 있는 자료를 제공하였다.

외벽의 열전달 촉진에 관한 연구도 여러 편 발표되었다. Pyo et al.<sup>(32)</sup>는 가열 평판 위에 하이브리드 로드가 설치되었을 때 충돌제트에 의한 유동과 열전달 촉진량에 대한 실험적 연구를 수행하였다. Lim et al.<sup>(43)</sup>은 오목 표면에 분사되는 경사 충돌 난류원형 제트에 의한 열전달특성을 액정과도 현상기법을 이용하여 구하였다. 한편 Paek

et al.<sup>(137)</sup>은 평판에 부착된 다공성 물질에 분사되는 증돌 제트에 의한 열전달특성 실험을 수행하였다. 다공성 물질로 발포 알루미늄을 사용하였다. Kum<sup>(233)</sup>은 평판에 사다리꼴 단면의 로드를 설치할 때 증돌 제트에 의한 유동과 열전달특성을 실험적으로 연구하였다.

보텍스 튜브는 압축된 유체로부터 연소나 화학반응이 없이 고온과 저온의 유체를 분리하는 장치이다. 이 장치의 원리로 랭귀-힐쉬 효과에 의한 모델이 정설로 받아들여지고 있다. Riu et al.<sup>(82)</sup>은 R22, 공기 및 이산화탄소를 이용하여 에너지 분리현상을 조사하고 보텍스 튜브의 랭귀-힐쉬 효과와 큐브 내의 줄-뜸슨 효과에 의한 걸보기 에너지 분리와 실제 분리에 대하여 연구하였다. 이어서 발표한 Riu et al.<sup>(205)</sup>의 논문에서는 보텍스 튜브의 지름비가 에너지 분리에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 이 연구를 통해서 지름비가 튜브의 냉각용량과 분리질량비에 미치는 자료를 확보하였다. 또 Riu et al.<sup>(205)</sup>의 논문에서는 튜브의 열전도도와 외면에서 대류열전달이 에너지 분리에 미치는 효과를 연구하였다. 또 Riu et al.<sup>(262)</sup>의 논문에서는 입출구 압력조건이 보텍스 튜브의 에너지 분리특성에 미치는 특성을 연구하였다. 위 연구는 에너지 관리공단의 지원으로 이루어진 바 체계적이고 지속적인 연구성과라고 하겠다.

### 2.3 유체기계 분야

유체기계 분야는 크게 나누어 공조기에서 사용되는 팬, 그리고 냉동기에서 사용되는 용적식 및 터보식 압축기, 그리고 위성설비에 관련된 급수 펌프류 등이 주된 연구의 대상이다. 본 리뷰에서도 유체기계 분야의 일부 연구는 공조기, 냉동기 및 위성 분야에서 다루어지는 경우도 있기는 하나, 유체기계 중 분야별로 분석하기에 과거에 비하여 발표된 논문의 수요가 많지 않다.

Hwang et al.<sup>(1)</sup>에서는 Direct Simulation Monte Carlo 법을 이용하여 다단 분자펌프의 익열유동을 수치계산 하였다. 이를 통해서 분자펌프의 날개 내부의 속도 및 밀도분포를 구하여 성능예측과 설계에 필요한 자료를 구하였다. 분자펌프에 관한 연구는 좀더 활성화되어야 할 분야이나 아직 국내에서는 연구의 그룹이 형성되지 못한 실정이

다. 이젝터는 유체 운동에너지를 이용하여 저압을 얻는 장치로서 많은 산업 분야에서 이용된다. 여러 가지 형식이 있으나 Park and Jeong<sup>(40)</sup>에서는 액체상태의 물을 분사하여 수증기의 압력을 낮추는 액체-증기 이젝터의 성능시험을 수행하였다. 여기서 질량유량비가 주요한 성능변수인데 직경비, 분사유체의 온도에 따른 성능시험을 수행하고 상사성을 확인한 후 상관식을 제시하였다. 이러한 데이터베이스는 제품의 개발에 활용될 수 있다. Ha and Moon<sup>(78)</sup>은 시로코 팬의 내부 3차원 유동을 Star-CD를 이용하여 수치해석 하였다. 비정상 유동해석을 시도하여 준정상 유동해석 결과와 비교하여 성능의 예측 차원에서는 준정상 유동해석의 유효함을 보였다. 또 스크롤의 형상은 경사화하여 블류트 내부 유동손실을 감소시켜 전체 성능을 향상시켰다고 보고하였다. 제트팬은 최근 터널 환기용을 널리 사용된다. 외국에서는 다양한 제어를 하고 있으나 국내에서는 사전에 미리 정해진 고정로직에 의해 운전대수를 제어하고 있다. Yoo et al.<sup>(89)</sup>는 제트팬 종류식 터널의 퍼지용용 제어로직에 관한 연구를 수행하였다. 터널의 길이, 대형차의 혼입률에 따른 환기특성을 조사한 후 오염물질의 농도 및 변화량을 입력으로 하여 가동대수를 조정하는 로직의 연구를 하였다. 최근 제트팬은 지하주차장의 환기 등에 이용된다. 이에 제트팬의 동익 이후 가이드 베인과 출구 덕트가 환기의 운동량에 미치는 효과를 고려한 제품의 개발이 요구되었다. Choi and Lee<sup>(153)</sup>은 수치해석을 통해서 가이드 베인 이후 유동의 선화가 덕트 내부 유동에 미치는 효과를 연구하였다.

축류 팬은 공조기에서 다양하게 이용된다. 특히 공조기 실외기에 응용되는 축류 팬의 성능향상과 소음의 감소는 관심있는 연구이다. Kim and Chung<sup>(113)</sup>에서는 실외기 유닛에서 팬과 흡입구 벨로우즈의 상대적인 위치에 따라서 성능에 미치는 효과를 실험적으로 연구하였다. 이를 통해서 입구 구조물을 고려한 설계가 팬 자체의 설계에 못지 않게 성능에 주요한 영향을 미친다고 보고하였다. 공조기의 실내기는 횡류 팬의 주로 채택된다. 과거 성능의 향상과 소음의 감소를 위해서 많은 연구가 수행되었다. Cho et al.<sup>(200)</sup>에서는 횡류 팬 내부 비정상 유동해석을 통해서 압력 데이터를 구하고 이를 이용하여 소음의 발생을 예측

하였다. 또 음압을 관찰하여 소음원의 위치를 확인하고 또 그 소음의 원인을 연구하였다. 또 등 피치와 비등피치의 임펠러에 대한 연구를 통해서 비등피치의 적절한 선택이 소음을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

## 2.4 배관 분야

배관 분야는 주로 급배수 관로에 대한 문제를 다룬다. 우리 학회 논문집에는 주로 배관 내의 과도현상에 대한 연구가 주로 발표되었다. 그러나 그 수효는 상당히 적었다. Lee et al.<sup>(81)</sup>에서는 실제 급수배관으로 동관을 사용하여 단순 관로를 구성하고 급격한 밸브의 폐쇄시 발생하는 압력과 특성을 실험적으로 연구하였다. 밸브의 개폐속도와 압력전파속도를 구하고 수격작용에 의한 압력상승 양을 계측하였다. 이를 통해서 과도현상에서 필요한 몇 가지 양에 대한 실증을 보인 셈이다. Hwang et al.<sup>(91)</sup>에서는 건축물에서 사용되는 배관계를 단순화하고 여기에서 밸브 개폐특성, 압력전파속도, 정수압의 변화에 따른 과도현상을 수치해석하고 공기실의 제 인자에 따른 효과를 수치해석적으로 연구하였다. 대체적으로 잘 알려져 있는 결과를 재현하였으나 정수압의 차이를 고려한 공기실의 설계가 필요하다고 보고하였다. Lee and Yoo<sup>(123)</sup>에서는 정수압에 따른 발생 압력의 특성을 고찰하고 몇 가지 워터햄머 흡수기의 성능특성에 대한 시험을 수행하였다. 연구를 통한 시험결과는 주요하다고 생각된다. 다만 해석을 통해서 시험결과를 분석하는 노력을 하였다면 좀더 실용적이고 생산적이었다고 생각된다. Suh<sup>(173)</sup>는 축압기가 부착된 관로의 동적 특성을 수치해석함에 변수들을 구하는 과정에서 효과적인 방법을 제시하였다. Moh et al.<sup>(204)</sup>에서는 유압관로 내의 맥동유동을 파동방정식으로 해석하여 전달함수를 구하고 실험을 통하여 확인하였다. Kim et al.<sup>(170)</sup>에서는 산업설비에서 사용하는 감압용 배수탱크의 증기분사기의 설계인자에 따른 유동해석을 수행하여 이들이 유동저항계수와 유동분배에 미치는 효과를 연구하였다. Park and Cha<sup>(274)</sup>는 천연가스 다노즐 원설비에서 연료공급계통의 과도유동을 특성곡선법에 기초를 둔 상용코드 Flowmaster3를 이용하여 수행하고 실험자료와 비교하여 그 신뢰성을 확인하였다.

## 3. 열전달 해석, 열교환기 분야의 연구 동향

### 3.1 개 관

열전달 해석 및 열교환기 분야에 최근 2년 동안 발표된 논문들을 살펴본 결과 과거의 연구 동향과는 달리 열교환기 등의 공조기와 관련된 연구와 함께 대류, 비등, 관내 유동 등의 결선달특성에 관한 연구가 활발히 이루어졌으며, 특히 삽입물이나 관내 형상에 따른 내부유동과 결선달특성에 관련된 연구가 많이 수행되었다. 또한 열교환기 관련 연구에서도 열교환 방식, 열교환기에 사용되는 관 내부형상에 따른 성능평가, 각종 핀형상 및 헤더 형상의 최적화와 열교환 시스템/유닛에 대한 성능평가 등 다양한 분야에서 실험 및 해석 관련 연구들이 많이 발표되고 있다. 이들에 대한 연구내용은 다음과 같다.

### 3.2 대류/비등 열전달

일반 산업 분야에서 고온의 열교환재 생산시 요구되는 균일냉각 및 정밀전자 분야의 국소냉각 방식인 분무냉각의 최적화를 위해 노즐의 형상과 노즐-전열면 거리, 강제대류열전달에 의한 국소/평균 열전달특성을 실험적으로 규명하였으며,<sup>(7,8)</sup> 냉각 표면에 공급되는 액적 유량의 밀도 불균일에 의한 표면 열전달 불균일 현상을 국소열전달률의 측정과 분무냉각방식의 비교를 통해 분석하였으며,<sup>(103)</sup> 분무냉각시 이러한 액적유량이 전열면의 MHF(Minimum Heat Flux)점에 미치는 영향을 조사하였다.<sup>(241)</sup> 전자기판에 사용되는 모듈을 모사한 채널에서 단열조건 및 전도, 대류열전달 등의 복합열전달에 의한 채널 높이의 영향을 실험적으로 조사하고, 열전달량에 대한 상관식을 제시하였으며,<sup>(169)</sup> 수평 가변격판의 사각 공간 내 혼합대류에 대한 열전달특성과 격판 길이에 따른 특성변화를 관찰하였다.<sup>(271)</sup>

이밖에도 각종 화재억제제 등을 첨가함으로써 액적의 증발냉각 성능과 대류열전달에 의한 열전달특성을 규명한 연구가 수행되었으며,<sup>(232)</sup> 유동발생기의 발생영각에 따른 유동변화와 유동방향에 의한 열전달 성능을 평가하였다.<sup>(98)</sup>

고온의 수평 강판에서의 냉각 불안정현상에 대한 대응책으로 얇은 액막류의 난류 막티등에 의

한 열전달특성을 이론과 실험을 통해 관찰하고 예측 가능한 정리식을 제안하였으며,<sup>(97)</sup> 두께 5 mm 전후 액막류의 막비등 열전달 실험을 수행함으로써 액막류의 MHF(Minimum Heat Flux) 점과 액막류 속도, 과열도의 영향 등을 조사하였다.<sup>(239)</sup> 또한, 열유속 밀도를 향상시키기 위해 흰 열을 비등 열전달에 응용할 경우, 흰 높이, 간격, 두께 등 최적의 흰 제원을 제시한 연구도 수행되었으나, 제한적인 실험 내에서 제시된 최적 흰 제원에 국한된다는 한계로 인해 실험결과의 보완이 요구되고 있다.<sup>(178)</sup>

### 3.3 관 내/외 유동 및 열전달

열전달을 통한 열교환의 일반적인 형태로서 관 내/외부 열전달이 고려되고 있다. 특히, 열전달특성을 향상시키기 위한 방안으로 와이어 등의 삽입물에 의한 난류유동과 열전달면적 증가에 의한 전열성능 향상을 평가하였으며,<sup>(53)</sup> 이와 유사하게 비틀린 테이프 등의 삽입물을 관 내부에 설치함으로써 회전유동과 층류 열전달 효과를 높이는 연구가 이루어졌다.<sup>(77)</sup> 또한, 열전달촉진관인 마이크로 핀관에서 대체냉매들의 흐름 비등, 풀 비등 열전달특성을 조사하였으며,<sup>(208,210)</sup> 곡관부와 직관부에서 냉매전도, 질량유속, 온도 등에 의한 응축 열전달특성을 관찰하고,<sup>(63,198)</sup> 마이크로 핀관의 확산 전후 유동의 선회효과에 의한 액상변화, 젖음 효과 등에 의한 증발 열전달특성을 연구하였다.<sup>(109)</sup> 그외에 중/대형 흡수식 시스템에 주로 사용하는 수평 널링관에서 외부 유하액막시 수용액의 유량과 과열도에 따른 열전달특성에 대한 연구가 수행되었으며,<sup>(74)</sup> 암모니아 흡수식 증발기에 적용되는 헬리컬 코일의 냉수적하와 침전유동에 의한 열전달계수의 증가를 실험적으로 조사하였고,<sup>(155)</sup> 경사진 원형 관내 강제대류에 의한 비등 열전달 특성도 연구되었다.<sup>(206)</sup>

### 3.4 열전달 해석

실험에 의한 열전달특성 논문에 비해 해석 관련 논문의 비율은 낮았으나, 다양한 분야에 대한 연구가 이루어졌다. 막응축의 일반적인 형태인 수직 평판면에서 열물성에 의한 과열증기의 응축 열전달 해석모델을 통해 국소 열전달률과 각 냉

매의 응축 열전달계수를 예측하였으며,<sup>(27)</sup> 수평 평판관 내 비공비 혼합냉매의 응축 열전달을 해석모델과 실험으로 검증한 연구가 수행되었다.<sup>(159)</sup> 그 외에도 저 레이놀즈수에서 수평 평판 사이 열대류 현상을 과동수( $k$ )와 위상차( $\beta$ )에 따라 해석적으로 조사하였으며,<sup>(145)</sup> 항공기용 엔진에 적용되는 가스터빈 시스템의 열효율을 향상시키기 위해 가스터빈 블레이드에 의한 열전달을 냉각공기 유량과 블레이드 경계조건 변화를 통해 고찰하였으며,<sup>(231)</sup> 유한체적법(FVM)을 사용한 2차원 모델을 통해 인간생활과 밀접한 의복재질의 투과계수에 따라 피부와 의복 사이 공기층의 열전달 특성을 예측하고, 투과계수와와의 관계를 연구하기도 하였다.<sup>(277)</sup>

### 3.5 기타 열전달 관련 연구

대류, 비등, 관 내/외 유동 열전달 등의 상기 연구 이외도 열전달 방향성을 적용한 열 다이오드식 복합 밀폐공간에서 집열부와 방열부의 경사각과 자연대류 영향을 조사한 연구가 이루어졌으며,<sup>(124)</sup> 2차원 해석모델을 통해 공기, 물 등의 저점도 유체의 전열부로 사용되는 육셋 스트립 흰을 디젤엔진의 고점성 연료의 오일히터에 적용하기 위한 타당성을 조사함으로써 유체의 입구유속에 대한 열전달특성을 연구하였다.<sup>(260)</sup> 또한, 태양열 집열시스템에서 분배관과 온수 배출구의 형상, 추출 유동률과 온수의 접촉 표면적에 의한 열전달특성에 대한 연구가 수행되었다.<sup>(191)</sup>

### 3.6 열교환기 형상

열교환기에 대한 연구는 크게 열교환기를 구성하는 관 형상과 관내 해석으로 구분되며, 핀관, 원관, 다원관, plate-shell, 다공핀 등 여러 가지 형상에 대한 실험적 연구가 이루어졌다. 핀-관의 경우, 열교환기의 표면접촉각 변화, 표면 친수성/발수성 처리 여부에 따른 착상거동 및 성능변화를 조사하였으며, 표면접촉각이 열교환기의 열 및 물질전달에 거의 영향을 주지 못하며, 서리구조에만 영향이 있음을 제시하였다.<sup>(12)</sup> 구형파(square wave) 맥동압력에 따른 맥동관 열교환기의 열유속 변화와 타당성에 대한 실험적 고찰 연구가 수행되었으며,<sup>(33)</sup> 핀-관 열교환기 모형에 액정법(li-

quid crystal method)을 적용하여 핀의 온도분포를 측정함으로써 국부전열 특성에 대한 실험기법을 개발하였다.<sup>(48)</sup> 또한, 열교환기의 표면특성 즉 핀의 물 접촉각이 응축잔수량에 미치는 영향을 조사함으로써 응축특성, 압력강하, 열전달특성까지 제어하기 위한 기초실험도 이루어졌다.<sup>(184)</sup> 이와 함께 핀-관 열교환기의 각종 핀 형상에 따른 제습 열전달과 압력강하 특성을 실험하고, 열전달량에 기초해 최적형상을 제시하였다.<sup>(212)</sup> 냉장고용 응축기에 적용되는 wire-on-tube의 열전달계수 관계식을 실험적으로 도출하고, 수치해석모델을 통한 검증도 수행하였으며,<sup>(19)</sup> 타원관 열교환기의 열전달, 압력강하 특성을 실험적으로 분석함으로써 기존 타원관 열교환기를 가정용 에어컨에 적용하기 위한 최적화 연구가 수행되었다.<sup>(34)</sup> 식품, 화학반응 산업에 적용되고 있는 plate & shell 열교환기의 판 내측, 셀측의 열전달계수를 Wilson plot법으로 측정하고, 단상유동에 대한 열전달관계식을 제시하였다.<sup>(49)</sup> 여섯 가지의 다양한 침투율과 다공도를 가지는 발포 알루미늄 다공핀 열교환기의 열전달성능을 평가하였으며, 높은 마찰계수와 기공밀도에서 열전달성능이 증가하였다. 다공도가 감소할수록 수정  $j$ -factor가 감소되며, 마찰계수와 수정  $j$ -계수의 상관식의 관계를 조사하였다.<sup>(59)</sup> 판형 열교환기의 유로형상을 묘사한 삼각형 그루브 채널에서 맥동유동에 대한 열전달 향상 정도를 실험하였으며, 최대 향상도를 보이는 Reynolds 수와 Strouhal 수를 각각 제시하였다.<sup>(245)</sup> 그 이외에 열전달을 촉진시키기 위해 상온의 공기에 고체입자를 순환유동시켜 관벽으로부터 열을 회수하는 연구가 수행되었으며,<sup>(95)</sup> 증발기로 사용되는 판각형 열교환기의 판형상에 대한 R-22 냉매의 증발압력강하 특성을 실험하고, 건도와 온도에 따른 증발 마찰압력강하의 변화를 관찰하였다.<sup>(236)</sup> 또한, 담수화용 열교환기의 원형전열과 외부 이물질 발생, 부착오염과 담수 내 염화나트륨(NaCl) 농도와의 관계를 조사하기도 하였다.<sup>(14)</sup>

### 3.7 열교환기 해석

열전달 해석논문의 낮은 비율에 반해 열교환기 해석은 핀의 형상, 헤더 형상의 최적화, 시스템/유니트의 성능예측 등 다양한 방면에서 많은 연

구가 수행되었다.

핀 자체의 3차원 해석해에 대한 적용성을 확인하고, 총손실열량에 대한 핀 표면으로부터의 대류열량 비율 및 온도분포를 비교 분석함으로써 열전달특성을 수치해석적으로 규명한 연구가 진행되었으며,<sup>(45)</sup> 유입공기 속도, 온도조건에 따른 표준  $k-\epsilon$  난류모델을 적용한 루버회형 모델에서 열교환기의 성능을 수치해석적으로 연구하였다.<sup>(46)</sup> 밀집형 열교환기에서 핀을 통한 튜브간 열교환 즉 횡방향 열혼합에 의한 성능감소를 예측하기 위해 핀의 형상, 튜브배열 변화에 따른 밀집형 열교환기의 유효성 경향을 수치해석적으로 조사하고, 튜브배열, 천공 등의 향상방안을 제시하였으며,<sup>(57)</sup> 발포다공성 물질을 삽입한 밀집형 열교환기의 열전달 향상효과와 삽입물에 의한 압력손실 증가 정도를 예측하였다.<sup>(99)</sup> 관순법(tube-by-tube method)을 적용한 핀-관형 열교환기 모델을 통해 관의 열성능과 영향인자들을 파악하고, 복잡한 냉매회로의 해석과 제습량 및 열전달 최적화가 가능한 모델을 제시하였다.<sup>(118)</sup> 열교환기의 대표적인 구성품인 납작관의 임의형상에서 냉각수의 온도, 유동률, 외부공기의 혼합대류 열전달에 의한 열/유동 특성을 수치적으로 규명하였으며, 열전달 및 압력강하 특성이 우수한 수력직경과 유속조건을 제시하였다.<sup>(174)</sup> 판형 열교환기 채널의 주름형상에 따른 유동양상과 열전달특성과의 관계를 수치적으로 모델링하였으며, 주름각도와 유량, 주름형상의 종횡비에 따른 열전달성능을 비교 분석하였다.<sup>(196)</sup> 극저온 추진자량에 적용하기 위해  $-200^{\circ}\text{C}$ 의 극저온 질소와 대기 열교환기의 열교환 성능을 해석모델을 통해 정량적으로 예측하고, 최적 대기유속과 피치형상에 대한 연구가 진행되었다.<sup>(96)</sup> 그 외에도 3차원 난류모델링을 도입하여 평행류 열교환기의 헤더형상 및 유동/열전달특성에 대한 최적 모델과 인자들의 최적 조건을 각각 제시하였으며,<sup>(93,26)</sup> 2차원 축대칭 이중유동모델을 적용한 분사칼럼식 직접접촉식 열교환기에서 분사속도, 종횡비, 분사온도 및 체적률에 의한 혼합유체 내 열전달특성을 예측하였다.<sup>(86)</sup> 또한, 특정 형태의 항온시술물의 열적 동특성을 파악하고, 잠열을 포함한 폐열회수 열교환기 시스템의 에너지 회수 성능을 평가함으로써 냉난방부하에 따른 열교환기의 파스 수와 온수유속의 적정치를 제시하고 있으며,<sup>(122)</sup> 냉동/

공조장치에 적용되는 기존 암모니아 유니트 컬러의 열전달특성과 운전특성을 예측하고, 국부 열전달 적분방법의 하나인 관순법에 대한 다양한 유용성과 적용성을 함께 검증한 연구가 이루어졌다.<sup>(259)</sup>

### 3.8 기타 열교환기 관련 연구

열교환기를 구성하는 관 형상과 열교환기 자체의 성능해석에 대한 연구 이외에도 2상 밀폐 써모사이클 시스템의 증발부와 응축부를 분리하여 회로를 구성한 루프 써모사이클의 성능실험을 통해 최적 증액률과 비등, 응축 열전달계수 상관식 등을 도출하였으며,<sup>(181)</sup> 자연대류와 강제대류 조건하에서 적층형 Heat sink의 열저항 실험을 수행함으로써 핀수, 공기유속 및 대류조건에 따른 열저항 성능특성을 조사하기도 하였다.<sup>(160)</sup>

## 4. 열펌프, 히트파이프, 열역학 사이클 해석, 상변화, 빙축열 분야의 연구 동향

### 4.1 개 관

열펌프에 대한 연구는 시뮬레이션과 실험을 이용한 연구들이 다양하게 발표되었으며, 히트파이프 및 빙축열에 관한 연구는 주로 실험적인 연구들이 수행되었으며, 상변화에 관한 연구도 다수 진행되었다. 이들의 구분에 따른 연구의 내용은 다음과 같다.

### 4.2 열펌프에 관한 연구

열펌프에 관하여 시뮬레이션에 의한 해석과 실험적인 방법을 통한 연구들이 다양하게 연구되었다. 특히, 하나의 실외기에 여러 개의 실내기를 가진 멀티형 열펌프에 관한 연구들이 크게 증가되었다.

멀티형 열펌프 시스템의 각 구성요소에 수학적 모델을 사용한 정적 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 시스템의 성능을 예측한 연구가 수행되었다.<sup>(2)</sup> 냉난방부하를 시뮬레이션에 의해 계산하여 멀티형 인버터 열펌프의 냉방성능 특성을 파악하고 압축기의 최적 운전주파수 및 전자팽창밸브의 개도결정에 대한 연구도 수행되었다.<sup>(146)</sup> 또한 퍼지 로직을 적용한 PID 제어를 사용하는 2개의

실내기를 가진 열펌프 시스템을 대상으로 냉난방 운전시 부하변동에 따른 용량을 조절하면서 운전 특성을 살펴보고 Ziegler-Nichols PID 튜닝법을 사용한 PID 제어 경우와 비교되었다.<sup>(222)</sup> 에너지와 관련된 비용함수에 기초한 모델예측제어 기법을 적용하여 실내온도의 제어에 대한 연구도 이루어졌다.<sup>(152)</sup>

한냉지형 열펌프의 개발을 위해 액분사 사이클을 해석하여 최적의 액분사 위치와 액분사량에 대한 연구도 수행되었다.<sup>(28)</sup> 멀티형 열펌프 시스템에서 퍼지 제어를 적용하여 적절한 제상시기와 제상지속시간을 결정하는 제상제어 알고리즘을 개발하여 기존 제어기와 개발된 제어기를 비교하였다.<sup>(83)</sup> 암모니아/물 작동유체를 가지는 증기압축식/흡수식 하이브리드 열펌프에 다양한 외부조건을 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 수행함으로써 가장 높은 COP를 내는 최적의 작동조건을 찾는 연구도 진행되었다.<sup>(134)</sup> 또한 압축기 회전수, 밸브 개도, 실외기 풍량 등의 변화에 대해 사이클의 불안정상태를 분석한 설계방법을 정립하여 멀티인버터 열펌프의 동특성 해석 프로그램을 개발하는 연구도 이루어졌다.<sup>(254)</sup>

열펌프에 대한 실험적 연구들로는 먼저 혼합냉매를 사용하는 열펌프에서 혼합냉매의 성분비 조절에 따른 성능변화를 고찰한 연구가 수행되었다.<sup>(30)</sup> 외부조건들이 변화할 때의 냉난방 특성과 제어성능을 연구하여 제어변수 결정과 제어상수 조절에 대한 자료를 제공하였다.<sup>(54)</sup> 실내부하 변동에 따른 시스템의 운전특성 및 복수의 전자팽창밸브 조절을 통한 용량조절특성을 고찰하기 위해 가변속 멀티형 열펌프의 성능실험에 관한 연구도 수행되었다.<sup>(165)</sup> 압축기 회전수, 모세관 길이, 냉매량 및 실외온도조건 등을 변화시켜 난방운전의 냉동사이클 특성변화를 고찰한 연구도 발표되었다.<sup>(214)</sup>

비추출식 오일농도 측정법을 사용하여 각 운전조건에 따른 인버터 열펌프 내의 오일순환량의 변화를 관찰하여 열펌프 성능향상을 위한 연구가 수행되었다.<sup>(84)</sup> 인버터 열펌프의 주파수와 냉매량 입력이 사이클 특성과 성능의 변화에 미치는 영향에 대한 실험적 연구도 이루어졌다.<sup>(136)</sup> 또한 전자팽창밸브를 팽창장치로 사용하는 가변속 열펌프의 효율적 운전 및 용량조절을 위하여 부하변동시 시스템의 성능 특성실험과 압축기 회전수 및



전자팽창밸브 개도제어에 대한 연구도 이루어졌다.<sup>(156)</sup>

실제 다실형 인버터 열펌프 시스템을 설치하여 여러 실내외 조건에서의 성능측정실험을 수행한 연구도 이루어졌으며,<sup>(177)</sup> 공기 대 공기 열펌프의 현장성능 실험결과를 바탕으로 증발기의 공기측 열 및 물질전달계수를 구하고, 습표면 해석방법으로 현장에 설치된 증발기의 해석에 사용될 수 있는지에 대한 연구도 수행되었다.<sup>(223)</sup>

### 4.3 히트파이프에 관한 연구

히트파이프에 관한 연구는 주로 작은 크기에서 많은 열유속을 효과적으로 소산시키는 방법으로, 작동특성을 달리하는 것과 다양한 구조를 갖게 하여 히트파이프에서의 열전달 성능을 높이는 연구들이 진행되었다.

작동특성을 달리하는 연구로는 적은 비용 및 짧은 공정으로 제작이 가능한 진동세관형 히트파이프<sup>(76)</sup>와 자력진동형 히트파이프<sup>(99)</sup>를 이용하여, 작동유체 및 충전량을 변화시키며 열전달 성능을 평가하였다.<sup>(171)</sup>

입력 열부하가 변동하더라도 응축부 또는 증발부 온도가 일정하게 유지되는 가변 컨덕턴스 히트파이프(VCHP)에서의 열부하에 따른 증발부 온도변화와 불응축가스 충전량의 관계에 대하여 수치해석이 수행되었다.<sup>(133)</sup> 또한 응축부 말단에 불응축가스 저장부를 두어 불응축가스를 출입시킴으로써 가스 내장 히트파이프(GLHP)에서의 열전달량 변화에 대하여 시간에 따른 히트파이프 성능과 재질의 변화에 따른 히트파이프 벽면온도를 수치적으로 계산하였다.<sup>(187)</sup>

PFC 작동유체를 사용하며 증발부를 V형으로 하고 응축부를 U형으로 제작한 히트파이프에서 작동유체의 주입량 및 가열량을 변화시키며 열전달특성을 실험하였다.<sup>(220)</sup>

구조를 변화시키며 해석한 연구로는 편조형(woven-wired type)으로 짜여진 워를 갖는 소형 히트파이프에 설계변수를 변경하면서 열전달 한계 및 특성에 대해 연구되었다.<sup>(26)</sup> 편조형 워의 형상을 해석하기 위하여 나선각을 변화시켜 가며 유효 유효도의 영향을 연구하였다.<sup>(130)</sup> 그루브 히트파이프에서도 연구가 진행되었는데, 그루브 수를 증가시키며 실험으로 성능평가를 수행하였다.<sup>(182)</sup>

또한 히트파이프 내 아터리와 와이어의 삽입에 따른 성능변화 및 그 개선효과를 파악하고자 하는 실험도 수행되었다.<sup>(104)</sup>

도시철도 차량의 GTO 사이리스터를 냉각하는 히트파이프 냉각기의 성능시험을 수행한 연구도 이루어졌다.<sup>(209)</sup>

### 4.4 상변화에 관한 연구

시스템에서 발생하는 상변화로 인해 발생하는 많은 문제점들을 해결하기 위해 상변화에 대한 다양한 연구가 진행되었다.

열교환기의 제상연구로 용해거동에 관한 수치적 연구가 진행되었다. 건조한 눈의 밑면에서 일정한 열이 공급되는 경우의 용해 거동에 대해 일차원으로 모델링하여 제 인자들의 변화에 대한 민감도 해석을 통하여 공급 열유속과 눈 초기 밀도가 가장 중요한 인자라는 결론을 얻었다.<sup>(69)</sup>

점축용융과정에 대한 연구로 분할된 핀본이 전열면을 이용하여 얼음에 대한 용융거동이 파악되었다.<sup>(9)</sup> 또한 암모니아-물을 작동유체로 하는 흡수식 열펌프 설계를 위한 냉매들의 판나 응축현상에 대한 연구가 진행되었다. 순수 암모니아를 작동유체로 하여 단상 열전달계수와 응축 열전달계수를 실험적으로 구하고 이를 기존의 상관식들이 예측하는 값과 비교하여 암모니아에 적용 가능성 여부에 대한 연구가 이루어졌다.<sup>(65)</sup>

냉동 후 식품을 해동하기 위한 연구로서 초음파가 얼음과 파라핀의 용해에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 연구되었다. 초음파 이용에 따라 얼음과 파라핀 모두 용해시간이 감소하는 경향을 보였으며, 특히 파라핀의 경우 소비전력이 현저히 감소하게 됨을 보였다.<sup>(257)</sup> 단상의 유체에 상변화 물질을 첨가하는 연구도 수행되었다. 세파란을 물속에 용융시켜 수용액을 만든 후, 상변화 물질로서 파라핀 입자를 첨가시킴으로써 저항 감소효과를 얻으면서 열전달유체로서의 특성을 실험적으로 연구하여 적절한 세파란의 농도와 열전달유체로서 향상된 특성을 제시하였다.<sup>(276)</sup> 또한, 수소액화 과정에서 ortho-para 수소 변환이 수소액화성에 미치는 영향을 연구하여 냉각시간과 액화량, 단위 액화량당 입력일, 액화효율 등 모든 면에서 수소직접액화장치의 액화성능을 저하시키는 것으로 보고되었다.<sup>(16)</sup>

#### 4.5 빙축열에 관한 연구

빙축열시스템은 심야시간에 냉동기를 가동하여, 얼음의 형태로 냉열을 저장하였다가 주간 냉방에 활용하는 냉방시스템으로, 에너지의 효율적인 사용을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 진행되는 연구는 크게 축냉제에 대한 기초연구와 시스템에 대한 운전특성에 관한 연구로 나누어 살펴볼 수 있다.

기초연구로 저온축열용 포접화합물(TMA)의 냉열원 온도변화에 대한 열물성을 실험적으로 고찰하여 건물공조용 잠열축냉제로서의 가능성에 대한 연구가 이루어졌다.<sup>(85)</sup> 또한 미립 잠열 슬러리의 열전도도와 밀도가 온도 및 입자의 농도에 미치는 영향이 실험을 통하여 해석되어 열전도도는 온도의 증가에 따라 농도의 증가에 따라 감소하고 밀도는 액상일 때 온도와 농도의 증가에 따라 감소함을 보였다.<sup>(100)</sup> 다른 연구로는 잠열축열제의 열적 물성치를 측정하는 방법으로 제안된 T-history 원리와 문제점을 살펴보고 이를 해결할 수 있는 방법을 고찰하였다.<sup>(270)</sup>

축냉제의 물성치에 대한 기초연구 이외에 빙축열시스템에 빙결정 성장억제제로서 이용할 수 있는 유동특성을 가지고 있는 슬러리에 관한 연구가 진행되었다. 특히 빙결정 성장억제제로서 계면활성제의 첨가농도, 과냉각도, 수용액의 용질 등이 빙결정 성장에 어떠한 영향을 미치는지 실험적으로 검토되었다.<sup>(265)</sup> 또한 아이스슬러리 유동을 설명하기 위해 관내 유동에서 얼음입자로 인한 압력강하 및 열전달계수의 변화를 관찰하여 아이스슬러리의 유효 열용량이 얼음입자의 농도가 증가함에 따라 큰 폭으로 증가함을 보였다.<sup>(252)</sup> 슬러리 모양의 얼음을 냉각관 내에서 연속적으로 생성시키기 위하여 조절압력, 수용액의 농도, 벽면온도 등이 관내에서 제빙에 미치는 영향을 연구하여 연속제빙에 필요한 조건들을 제시하였다.<sup>(272)</sup> 등온으로 유지되는 수평원관 내 얼음의 내향용융시 체적변화가 고려되는 상변화물질의 전열특성을 실험과 수치해석적인 방법으로 고찰한 연구도 수행되었다.<sup>(275)</sup>

시스템의 운전특성에 관한 연구로는 셀-튜브형 잠열축열조를 사용하여 유체의 유입온도와 유량을 변화시켜 축열시에 나타나는 축열조 내의 온도변화 및 축열특성에 대해 실험적으로 연구되었다.<sup>(87)</sup>

또한 이전에 사용하던 최대 부하에서의 운전특성만으로 빙축열시스템의 경제성을 비교하는 방법을 보완하기 위하여 변동하는 냉방부하에 대하여 운전비용이 최소가 되는 운전방식을 도출하기 위한 이론적인 접근방법을 제시하였다. 그 결과 새로운 운전방식을 적용한 빙축열시스템의 냉동기 소요용량이 냉동기 우선방식보다 증가됨을 보였다.<sup>(17)</sup>

빙축열시스템의 최적운전에 대한 기존의 연구가 우리나라와는 실정이 상이하여 국내에서 적용할 수 있도록 국내의 전기요금제도 조건을 고려하고, 국내에서 시판되는 냉동기의 성능을 측정하여 이를 토대로 최적운전 계획을 제안하였다.<sup>(114)</sup> 그 이외에 기존의 관외착빙형에 대한 성능모델과 달리 단일캡슐 축방냉성능을 이용한 캡슐형 빙축열조에 대한 모델<sup>(39)</sup>과 2-PCM 잠열축열시스템<sup>(22)</sup>에 대해서도 연구되었다. 드라이 아이스의 제조사이클 해석도 수행되어 드라이 아이스 제조과정에서 압축동력의 최소화과 엑서지 손실을 최소화하는 방법에 대해 연구되었다.<sup>(64)</sup>

### 5. 냉동시스템, 증발/응축, 압축기, 팽창장치 및 2상 유동 분야의 연구 동향

#### 5.1 개 관

냉동시스템, 증발/응축, 압축기, 팽창장치 및 2상 유동 분야의 연구 동향은 냉동/냉방시스템의 성능실험 및 시뮬레이션에 관한 연구, 증발 및 비등열전달에 관한 연구, 응축에 관한 연구, 압축기와 팽창장치에 관한 연구, 냉매의 열물성에 관한 연구, 그리고 2상 유동에 관한 연구로 구분된다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

#### 5.2 냉동/냉방시스템 성능실험 및 시뮬레이션에 관한 연구

냉동/냉방시스템에 관한 연구는 실제로 응용되는 시스템에서 대체냉매를 사용한 성능평가에 초점을 맞추어 성능실험 및 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 새로운 냉동/냉방시스템에 대한 연구도 활발히 수행되었고 냉방시스템 구성시 최적설계 조건에 대한 연구도 일부 진행되었다.

실제로 응용되는 시스템 연구로는 R-134a와

R290/R600a의 냉매를 사용한 자동차용 에어컨 시스템의 성능실험과 액서지 실험이 있다.<sup>(42)</sup> 그와 비슷하게 자동차용 냉방시스템에서 R-22와 R-22의 대체냉매인 R-134a를 사용하여 성능 시물레이션을 통해 최적설계조건을 응축기와 증발기의 최적용량비의 함수로 구한 연구도 수행되었다.<sup>(66)</sup> HFC-134a 냉매를 사용하는 자동차용 평행류 응축기에 대하여 수치적인 방법을 이용하여 성능해석을 하였다.<sup>(217)</sup> 그리고 자동차 에어컨의 과도적 변화에 대한 이론적인 해석과정을 제시하고 시물레이션과 실험을 비교한 연구도 있었다.<sup>(255)</sup>

새로운 냉동/냉방시스템에 대한 연구로는 이산화탄소와 R134a, 이산화탄소와 R290 냉매들의 질량성분비를 변화시키며 오토캐스케이드 냉동기의 성능 시물레이션과 및 실험이 수행되었으며,<sup>(175)</sup> 자연냉매인 CO<sub>2</sub>를 사용하고 제습과정이 수반되는 밀집형 CO<sub>2</sub> 증발기에 대하여 2차원 불균일 공기 유동분포의 영향을 해석할 수 있는 단면분할방법을 사용하여 성능을 예측하고 R134a 냉매와 비교한 연구가 있었다.<sup>(258)</sup> 그리고 R22와 R23의 오토캐스케이드 냉동시스템에서 증발온도와 질량유량을 변화시키며 성능실험도 이루어졌다.<sup>(193)</sup> 또한 시물레이션을 통하여 바닥복사 냉방시스템의 공급유량 및 냉수온도제어에 관한 연구가 있었다.<sup>(189)</sup> 기존 활어수송방식의 문제점을 해결하기 위하여 무수수송방식을 도입하고 정밀한 온도조절이 가능하도록 기존의 냉각방식인 증기압축식 냉동이 아닌 열전소자를 이용한 저온무수 컨테이너를 개발하기도 하였다.<sup>(60)</sup>

냉동기 성능향상을 위해 새로운 장치를 이용한 연구로 R134a를 대상냉매로 하여 두 가지 형태의 이젝터 사이클과 단일증발 냉동시스템의 성능실험이 있다.<sup>(243)</sup> 또한 터보냉동기를 사용하여 압축기의 성능검사와 냉동사이클의 해석을 통해 부분부하의 사용의 가능성을 검사하고 새로운 연구방향을 제안하였다.<sup>(167)</sup> 축방향으로 단면적이 변화하는 맥동관의 2차원 해석모델을 이용하여 맥동관의 테이퍼각과 작동속도가 정미질량유속, 2차온도의 정상성분, 그리고 정미질량흐름에 의한 엔탈피 손실에 미치는 영향을 알아보기도 하였다.<sup>(72)</sup>

냉방시스템 구성시 최적설계조건에 대한 연구는 증기압축식 에어컨의 최적냉매 충전량 설정과 외기온도가 최적냉매 충전량에 미치는 영향에 대해 연구가 있다.<sup>(56)</sup> 그리고 절전형 제빙시설 사이

클 모사를 통해 성능 및 경제성 해석을 연구도 있었다.<sup>(180)</sup> 멀티형 냉방시스템의 압축기 회전수 제어를 새로운 퍼지제어 알고리즘을 이용한 실험도 수행하였다.<sup>(218)</sup>

그밖에 연구로는 공조설비용 고장진단시스템에 통계적 패턴인식기법인 뉴럴 네트워크를 사용하여 실시간 고장진단시스템을 제안한 것이 있다.<sup>(219)</sup> 공조시스템 고장검출과 관련하여 회귀식과 회귀신경망을 이용하여 공조기 부위별 고장검출을 연구하기도 했다.<sup>(80)</sup> 그리고 R22를 작동유체로 하는 20 kW급 폐쇄형 해양온도차 파이프 플랜트의 실험을 통한 성능해석을 수행하였다.<sup>(244)</sup> 또, 자동튜브 세정장치의 설치로 파울링 억제를 통해 압축식 냉동기의 효율을 높일 수 있다.<sup>(183)</sup> 지역냉방시스템에서 다량의 유체를 공급하는 펌핑동력을 감소시키기 위해 소량의 첨가물에 의한 마찰저항 감소현상과 동반되는 열전달 감소현상을 연구하였다.<sup>(29)</sup>

### 5.3 증발 및 비등 열전달에 관한 연구

증발 열전달에 관한 연구는 관의 형상, 대체냉매의 특성이 열전달에 미치는 영향을 주로 취급하였다. 풀비등 상관식 개발과 풀비등과 흐름비등의 차이를 분석한 연구도 진행되었다.

대체냉매의 특성을 알아보기 위한 실험으로는 R-290, R-600a의 수평 이중관형 열교환기 내 증발특성에 관하여 실험이 있다.<sup>(36)</sup> 그리고 질량유속과 증발온도를 변화키면서 R22와 대체할 R134a, R407C, R410A 냉매의 흐름비등 열전달계수를 구하기도 하였다.<sup>(157)</sup> 평활관군의 R-134a 흐름비등을 건도, 질량유속, 열유속의 변화에 따라 비교 연구한 것도 있다.<sup>(129)</sup> 또 세관 내 R-22, R-134a의 증발 전열특성에 관한 연구가 수행되었다.<sup>(125)</sup>

풀비등 열전달에 관한 연구에서도 대체냉매의 특성에 대한 연구가 진행되고 있다. 2원혼합냉매 R32/R134A, R125/R134A, R32/R125, 3원혼합냉매 R32/R125/R134a의 조성을 변화시키면서 풀비등 실험을 수행하여 새로운 상관식을 개발한 바 있으며<sup>(143)</sup> 회귀분석법을 사용하여 증기압이 상이한 순수냉매들의 풀비등 열전달상관식을 개발하기도 하였다.<sup>(110)</sup>

그밖의 연구로는 흡수식 냉동기에서 플라즈마를 이용한 관 표면의 친수성 처리가 수평관 외벽

의 증발열전달에 미치는 영향을 실험한 바 있으며<sup>(61)</sup> 포화 풀비등 속에서 불균일 전기장에 의한 EHD 핵비등 열전달특성을 연구를 위해 불균일 전기장의 영향을 받는 기포들의 동적 특성을 실험적인 방법으로 연구한 것도 있다.<sup>(112)</sup>

#### 5.4 응축 열전달에 관한 연구

응축 열전달에 관한 연구는 새로운 대체냉매를 사용한 실험적인 연구가 대부분이며, 실험조건과 관의 형상을 변화시키면서 응축 열전달특성 변화를 고찰하고 기존의 상관식과 비교하는 연구가 집중되어 있다.

자연냉매인 R-290과 R-600a의 응축 열전달특성을 평활관과 전열 촉진관에서 살펴보고 R-22와 비교하여 대체냉매로 긍정적임을 밝혔다.<sup>(3)</sup> 비공비 혼합 냉매인 HFC32/HFC134a와 HFC134a/HFC123에 대하여 조성에 따른 수평관에서의 외부 응축 열전달계수를 측정하였다.<sup>(121)</sup> 그리고 응축용 특수 전열관인 SH-C형 고성능 전열관들에 대해서 응축 열전달계수를 측정하고 비교를 한 연구도 수행되었다.<sup>(224)</sup> 한편 전열면의 경사각과 과냉도에 따라 열전달계수의 변화도 측정되었다.<sup>(131)</sup> 그리고 R-404A를 이용하여, 판형 열교환기의 기하학적 특성에 따라 단상유동 및 2상 유동 응축과정시 열전달계수와 압력강하를 측정하였다.<sup>(149)</sup>

#### 5.5 압축기에 관한 연구

압축기에 관한 연구는 스크롤 압축기와 왕복동 압축기, 로터리 압축기에 대한 성능실험과 누설 실험이 주로 수행되었다.

스크롤 압축기의 경우에는 비대칭 랩형상을 갖는 스크롤 압축기에 적합한 바이패스 밸브에 대해 최적설계를 제시하고 바이패스 밸브가 스크롤 압축기의 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.<sup>(21)</sup> 그리고 스크롤 압축기의 기하학적 및 열역학적 모델링을 통하여 수치해석을 실시하여 실험을 통해 모델의 타당성을 검증하고 검증된 수치를 이용하여 실제 압축기의 입출구 조건기의 성능특성을 고찰하였다.<sup>(75)</sup> 틱실형 압축기를 대상으로 실제의 압축부 구조 및 냉매와 오일 혼합물의 실제 운전상태에서 간접 유량측정방법을 적용하여 실제 누설

유량을 측정하였고 실험결과를 바탕으로 유량계수와 틱실 접촉간극을 산출한 후 누설유량을 이론 해석함으로써 실제 스크롤 압축기의 누설특성을 밝히고자 하였고,<sup>(144)</sup> 틱실형 스크롤 압축기의 실제 운전상태조건과 전 선회각도의 범위에서 각 누설인자에 대해 누설유량을 해석하고 각 누설인자가 압축기의 성능에 미치는 영향을 정량적으로 규명하였다.<sup>(280)</sup> 또한 R22의 대체냉매인 R407c 및 R410a를 스크롤 압축기에 적용하여 누설특성을 파악하였다.<sup>(172)</sup> 스크롤 압축기의 주요 소음원인 토출부의 압력맥동과 토출공간의 공명을 실험과 해석을 통해 분석하였다.<sup>(35)</sup>

왕복동 압축기의 경우에는 복동식 왕복동 압축기의 흡입측 및 토출측에 연결된 배관계에서 일어나는 가스맥동 및 이로 인한 압축기의 성능상의 변화에 대한 연구가 있었다.<sup>(52)</sup> 또한 압축기 입구의 과열도의 영향에 대한 연구가 주로 저압식 왕복동 압축기에 대해 이루어진 데 반하여 고압식의 로터리 압축기의 경우와의 차이를 검토하고 압축기 shell로부터의 열누설이 성능에 미치는 영향을 평가하여 이의 영향도를 map 모델로 추가함으로써 map based 모델에 의한 고압식 로터리 압축기의 성능예측 정도를 향상시키는 연구를 하였다.<sup>(185)</sup>

로터리 압축기의 경우에는 로터리 압축기 내부에서의 실제적인 온도를 측정하여 압축기 내의 열전달현상을 규명하고, 열적 거동이 압축기의 성능에 미치는 영향을 연구하였다.<sup>(216)</sup> 기존의 R22 로터리 압축기에 R410A를 적용함에 있어 구조적인 변화를 최소화하면서도 성능상의 불이익은 최소화하는 방안을 찾기 위하여 주 손실요인인 토출과정에서 일어나는 과압축 손실에 대해 성능해석 시뮬레이션을 하여 최적설계에 관한 기본연구도 수행되었다.<sup>(273)</sup> 또한 종래의 손실분석기법에 비해 높은 정확성과 편이성을 갖는 새로운 손실분석기법을 개발하고, 이를 R410a용 로터리 압축기의 토출계 연구에 적용함으로써 토출계의 여러 성능인자들이 압축기 성능에 미치는 영향을 실험을 통하여 정량적으로 분석하고 이를 바탕으로 토출계를 최적설계하고자 하였다.<sup>(140)</sup>

#### 5.6 팽창장치에 관한 연구

팽창장치에 대한 연구는 실험을 통한 시뮬레이

선 방법과 새로운 팽창장치인 인젝터에 대한 연구가 수행되었다.

TXV의 시뮬레이션 테스트를 위해 Buckingham의  $\pi$ 정리를 이용하여 TXV 성능 시뮬레이션 프로그램과 모세관 성능 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 실험값과 비교하였다.<sup>(20)</sup> 그리고 새로운 팽창장치로서 전자식 인젝터를 냉동기의 냉매분사 목적으로 적용하여 성능계수에 대한 실험이 수행되었다.<sup>(108)</sup>

### 5.7 냉매의 물성치에 관한 연구

냉매의 물성치에 대한 연구는 꾸준히 계속되고 있으며, 혼합냉매의 기액 상평형, 오일농도 측정 방법, 그리고 혼합냉매에 대한 성능평가 연구가 대부분이다.

기액 상평형에 관한 연구는 대체냉매의 개발에 따라 다양한 냉매에 대해 진행되고 있다. 최근에는 R290/R134a, R134a/R600a의 혼합냉매에 대한 기액 상평형 실험이 수행되었다.<sup>(119)</sup> 그리고 냉매-오일 혼합물의 기액 상평형 실험도 수행되었는데, R410A/POE32, R410A/POE64 오일 혼합물에 대해서 기액 상평형 실험이 수행되었다.<sup>(68)</sup> 냉동기에 사용되는 냉매에 함유되어 있는 오일의 농도를 측정하기 위한 연구도 활발하였다. R410A/POE 오일 혼합물의 오일농도를 실험적으로 측정하여 이를 예측할 수 있는 비중-농도-온도의 상관식을 제시하였다.<sup>(24)</sup> 그리고 R-22 냉매와 광유 계통의 오일을 혼합하여 오일이 모세관 내의 냉매유동에 미치는 영향을 측정하였다.<sup>(92)</sup> 그리고 R134a/AB, R134a/POE이 압축기 내에서 어떻게 거동하는지가 시화하고, 시간적 추이에 따른 온도압력을 비교 분석한 실험도 수행되었다.<sup>(128)</sup> 혼합냉매에 대한 성능평가실험도 수행되었다. HFC 계열 냉매와 탄화수소 계열 냉매를 혼합한 혼합냉매 R-32/152a/600, R-32/152a/600a, R-32/134a/600a에 대해서 성능평가가 이루어졌으며,<sup>(37)</sup> R22/R114에 대해서 수평관 내 강제대류시 전열특성에 관한 연구가 수행되었다.<sup>(58)</sup>

이밖에 액체질소 온도용 냉동기 설계를 위한 적정혼합냉매의 성분과 그 구성비를 결정할 연구가 있었다.<sup>(105)</sup> 그리고 액체유량과 관련하여 국가 교정검사기관의 측정 불확도를 평가하기 위하여 유량계 교정장치를 비교한 연구가 있었다.<sup>(117)</sup>

### 5.8 2상 유동에 관한 연구

2상 유동에 관한 연구로는 협소 사각추로에서 대향류 2상 유동 거동을 실험적으로 해석하였다. 공기/물 2상 혼합물을 사용하여 유로의 간극을 변화시키면서 유로 평균 기공률과 2상 유동 압력 구배를 측정하여 기존의 원관에 대한 상관식과 비교 분석하였다.<sup>(164)</sup> 그리고 합지관에서 일어나는 2상 유동의 압력강하를 예측하기 위하여 실험과 이론적 모델을 적용하는 연구가 수행되었다.<sup>(101)</sup>

## 6. 흡수식 냉동, 환기, 냉각탑 분야의 연구 동향

### 6.1 개 관

흡수식 냉동 분야에서는 열 및 물질전달 현상에 관한 실험 및 이론해석을 통하여 성능향상 및 소형화를 위한 연구가 지속되었다. 덕트 및 환기, 그리고 냉각탑 분야에서는 덕트 내의 유동에 관한 연구, 터널환기 및 실내환기의 효율성에 관한 연구, 그리고 개별공조시스템과 전기 집진기에 관한 연구가 주종을 이루었다.

### 6.2 흡수식 냉동 분야

흡수식 시스템의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 흡수기의 열 및 물질전달 현상에 대하여 다양한 이론과 실험적 연구가 수행되었다. 수직원관 GAX 흡수기 내부에서 기체와 액막 사이의 전단 응력을 고려하여 열 및 물질전달을 해석하는 수치모델을 제시하는 연구가 있었고,<sup>(13)</sup> 실험적으로는 실제 수평관 흡수기와 유사한 좁은 환이 달린 경사면을 따라서 흐르는 리튬브로마이드 수용액 흡수기에서 발생하는 열 및 물질전달에 관한 연구가 있었다.<sup>(228)</sup>

교일형 흡수기에서 증기유동 방향에 따라서 유하액막 열전달에 미치는 영향에 관하여 체계적으로 물을 이용하여 실험한 연구에서는 용액편중현상을 확인한 바 있고,<sup>(211)</sup> 또한 흡수과정에 대한 비흡수가스의 영향을 실험적으로 측정할 연구도 있었다.<sup>(25)</sup> 이러한 결과는 실질적인 흡수기의 설계 및 최적운전조건을 도출하기 위한 기초자료로 이용될 수 있다.

플레이트/원형 흡수기의 흡수성능에 관한 연구가 수행되어 소형화 가능성이 확인되었고,<sup>(192)</sup> 공랭화를 위한 연구로서 흡수식 전열관의 직경과 길이에 따른 수직형 흡수기 성능에 미치는 영향에 관하여 연구가 수행된 바 있다.<sup>(269)</sup>

흡수기뿐만 아니라 재생기와 발생기에 관한 연구도 일부 수행되었다. 암모니아/물 흡수식 시스템에서 유하액막식 발생기에 대하여 적분해법을 이용하여 Re수나 시스템 압력 등이 발생과정에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 있었고,<sup>(176)</sup> 대향류 판형 재생기에 대하여 유동비등을 수치모델링하여 가열매체의 온도나 질량유량 등이 재생기의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 있었다.<sup>(248)</sup>

흡수식 냉동기에 대한 사이클 해석을 수행한 연구도 다수 진행되었다. Revised VX 흡수식 냉동사이클에 대하여 대수평균온도차를 이용한 열전달모델을 적용하여 해석함으로써 열교환 면적이 냉동기 성능에 미치는 영향을 파악한 연구가 진행된 바 있고,<sup>(186)</sup> 일중효용 사이클과 일중효용 사이클을 이용하여 태양열 흡수식 냉방시스템에 응용한 연구도 있었다. 여기서 태양열부하에 따라서 최적의 집열판면적을 선정하는 방법이 제시되었다.<sup>(31)</sup> 또 일중효용 흡수식 냉동기를 대상으로 냉방용량과 COP를 구할 수 있는 식을 제시하고 최적의 열전달면적 분배방안을 도출한 연구가 있었고,<sup>(50)</sup> 성능향상 및 저온회득에 응용하기 위한 하이브리드 GAX 사이클을 해석하여 최적의 UA 최적치를 제시한 연구가 있었다.<sup>(235)</sup>

흡수식 공조시스템의 동적거동을 이해하기 위하여 동적 모델을 제시하고 최적제어 알고리즘을 효과적으로 개발하기 위한 과도응답특성을 시뮬레이션한 연구도 있었다.<sup>(115)</sup>

기타 배연탈황설비의 덕트클러에서 유동균일화에 관한 연구가 수행된 바 있으며 최적의 배인의 형상을 구하고자 하였다.<sup>(15)</sup> 또한 확산형 흡수식 냉동기형 기포펌프의 운전특성에 관한 연구가 수행된 바 있다.<sup>(230)</sup>

### 6.3 덕트에 관한 연구

실험 및 수치해석을 통하여 덕트 내의 유동에 관한 연구가 지속적으로 진행되었다. 공조기의 덕트 내에서 풍량공급이 중단되었을 때 자연대류

에 의한 실내 유입량에 미치는 영향에 관하여 수치해석 연구가 수행되었고,<sup>(147)</sup> 사각덕트에서 거칠기 형상에 따라서 마찰계수와 열전달에 미치는 효과에 관하여 실험적인 연구가 수행되었다.<sup>(168)</sup> 또 L자형 직각 엘보우를 가진 사각덕트 내의 유속을 LDV로 측정하여 다양한 기초실험자료를 제시하기 위한 연구가 있었다.<sup>(266)</sup>

### 6.4. 건물환기에 관한 연구

환기 분야에 관한 연구로는 실험과 수치해석에 의하여 환기의 성능과 적정성을 평가하기 위한 환기효율에 관한 연구와 다양한 공조환경에 적용하여 우수한 공조방식을 선정하기 위한 연구가 수행되어 왔다.

Dry room 내에 여러 가지 환기효율 지표를 도입하여 수치해석적으로 수분의 환기상태를 비교 평가하는 방법을 제시한 연구가 있었고,<sup>(106)</sup> 건물 바닥에 VOC 발생원이 위치하고 있을 때 실내의 VOC 거동특성을 예측하기 위한 수치해석 모델을 설정하고 실내의 환기특성을 고찰한 연구가 수행되었다.<sup>(201)</sup> 환기효율의 개념을 주차장에 적용하여 고속노즐방식, 제트팬방식, 그리고 무혼합 방식에 의한 환기설비의 성능을 수치해석적으로 비교한 연구가 있었다.<sup>(242)</sup> 또 아파트 주택에 있어서 실내공기 청정기에 의한 환기상태와 오염농도 예측에 관한 연구도 있었다.<sup>(154)</sup>

실험적으로는 이산화탄소를 추적가스로 하여 비등온 급기조건에 대하여 환기방식에 따른 환기효율특성에 관한 연구가 수행된 바 있다.<sup>(213)</sup> 또한 실내의 급기효율과 배기효율에 관한 개념을 비교 제시하고 SF6 추적가스를 이용하여 급기효율과 배기효율 분포를 기류가시화와 연관시켜 고찰한 연구가 있었다.<sup>(227)</sup>

새로운 공조방식에 하나인 개별공조시스템에 관한 연구가 다양한 각도에서 이루어졌다. 개별공조시스템에서 전기히터를 이용하여 온열환경을 제어하기 위한 PID 제어방법 개발에 관한 연구<sup>(135)</sup>가 있었고, 작업공간에서의 온열환경과 쾌적성을 평가한 연구가 있었다.<sup>(141)</sup> 동일한 연구자 그룹에 의하여 난방시 개별공조시스템이 열환경 유지를 위하여 에너지 절약적 측면에서 보다 유리하다는 결론을 도출한 바 있고,<sup>(142)</sup> 전산유체역학적인 방법을 통하여 열 및 유동특성을 수치해석한 연구

도 수행되었다.<sup>(158)</sup> VAV를 이용한 실내공간의 온도 제어를 위하여 공간을 분할하는 분할모델과 상태제환 제어기를 개발한 연구도 수행된 바 있다.<sup>(238)</sup>

### 6.5 터널 환기에 관한 연구

터널 내의 환기도 연구자들에게 많은 주목을 받았다. 터널 내를 주행하는 고속전철에 의한 차내압 변동을 해석하고 환기시스템을 제어하는 방법에 관한 연구가 이루어졌고,<sup>(150)</sup> 비정상상태의 복잡한 수치해석방법을 동원하여 장대터널 내 열차운행시 발생하는 비정상 교통환기에 의한 압력 변동을 해석한 연구가 있었다.<sup>(179)</sup> 또한 도로공사의 환기설계기준을 검토하기 위하여 환기시스템 적용 도로터널의 국소환기특성을 시뮬레이션한 연구도 있었다.<sup>(166)</sup>

이밖에도 전기집진기에서의 집진특성에 관한 연구로서 방전극의 크기, 유속, 집진기온도 등에 따른 전기적 특성에 관한 연구<sup>(194)</sup>와 미세입자의 집진효율 및 특성에 관한 실험적 연구가 수행되었다.<sup>(195)</sup> 또 환경부 G7 과제의 일환으로 광폭전기 집진기의 집진특성에 관하여 연구가 수행된 바 있다.<sup>(237)</sup>

### 6.6 냉각탑 분야에 관한 연구

냉각탑에 관한 연구는 그리 활발하지는 않았지만, 냉각탑 설계에 필요한 기초자료를 확보하기 위한 연구가 진행되었다. 백연방지를 위한 NWD 방식의 냉각탑을 개발하여 이에 대한 성능을 수치해석적으로 해석한 연구가 있었을 뿐이다.<sup>(250)</sup>

## 7. 건축 열환경 및 설비 설계 분야의 연구 동향

### 7.1 개 관

건축 열환경 및 설비 설계 분야의 연구를 회고한 결과 열환경 및 공기환경에 관한 연구, 설비 시스템에 관한 연구, 제어에 관한 연구, 건물에너지 성능에 관한 연구, 그리고 부하계산 및 경제성 평가에 관한 연구로 분류해 볼 수 있었다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

### 7.2 열환경 및 공기환경에 관한 연구

바닥급기 공조시스템(UFAC)은 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 사회적 요구에 따라 도입된 새로운 공조방식의 하나로서 이를 적용한 사무소 건물의 실내환경 측정 및 설문조사를 통해 실내환경 실태를 살펴본 뒤, 거주 후 평가(POE) 기법을 이용하여 실내환경의 특성을 평가한 연구가 수행되었다.<sup>(38)</sup> 이와 더불어 급배기 위치에 따른 바닥급기 공조시스템의 냉방 열환경<sup>(55)</sup>에 관한 연구에서는 바닥급기 공조시스템에서 바닥급기-천장배기 방식과 바닥급기 방식의 급배기 위치에 따른 냉방 열환경을 수치해석에 의해 비교, 평가하는 연구도 수행되었다. 또한 여름철 사무실 공간에 천장급기와 바닥급기 공조방식을 적용하여 실내의 열환경 분포를 실험적으로 평가하고 열환경 쾌적성 평가지수인 예상온열감(Predicted Mean Vote, PMV)으로 환산하여 각 방식의 특성을 비교하는 연구가 이루어졌다.<sup>(94)</sup>

한편 개별환경제어(PEM) 시스템과 기존에 활용되고 있는 바닥취출 공조시스템과의 실내환경 특성을 비교 분석함으로써 개별환경제어 시스템의 실내환경 개선 가능성을 보여준 연구<sup>(51)</sup>와, 여름철 바닥급기 공조시스템과 개별공조시스템을 적용한 인공기후 실험실에서 온열환경의 쾌적성을 평가하고 온열환경 쾌적종합지표인 PMV와의 상관관계를 조사하기 위한 실험이 이루어졌다.<sup>(203)</sup>

유리창을 통한 에너지 손실을 최소화하기 위한 방법의 일환으로 배기식 3중 집열창의 열적 특성에 대한 수치해석<sup>(6)</sup>에 의해 배기식 집열창의 설계 및 응용에 필요한 각종 기본자료를 제시하고 하절기 실내 냉방부하 감소효과를 정량적으로 조사하며, 각각의 변수에 따른 유동 및 열적 성능을 조사하여 선행연구된 밀폐식 및 환기식 집열창의 연구결과와 비교한 연구가 수행되었다.

PHOENICS를 이용하여 공동주택 주방에서의 가스렌지에서 발생하는 이산화탄소에 의한 실내 오염 정도를 고찰하고 가스렌지의 위치와 창문의 위치변경에 따른 실내오염 정도를 비교하는 연구가 수행된 바 있다.<sup>(10)</sup>

최근 건축자재로 많이 사용되고 있는 평판 샌드위치 패널의 문제점에 따른 새로운 샌드위치 패널 개발을 목적으로 여름철 엠보싱 샌드위치 패널의 열적 성능에 관한 연구<sup>(107)</sup>를 통해 각 엠보

싱을 연결하는 연결통로를 가진 엠보싱 샌드위치 패널의 우수성을 제시한 연구도 있었다.

이와 더불어 공기환경적인 측면에서 살펴보면, 실제 설계된 공항 여객터미널의 대공간에서 제트 팬과 오픈에어덕트를 이용하여 수직순환기류를 발생시키는 경우에, 하계 냉방기류 및 온도분포를 PHOENICS 유동해석 프로그램을 이용하여 해석한 후 이 방법이 열환경 특성에 미치는 영향을 평가하는 연구가 수행되었으며,<sup>(67)</sup> 도로터널에서 화재시 발생하는 연기 및 가열된 공기를 제거하기에 적합한 팬을 선정하고 사람을 대피시킬 수 있는 경로에 미치는 화염이 전파되는 현상을 분석하기 위해 발화지점의 발열량을 가정하고 유입구의 풍속을 변화시키면서 자연대류인 경우와 비교 분석하는 연구가 수행된 바 있다.<sup>(71)</sup>

또한 저습·항온의 기류조건을 필요로 하는 리튬 이온전지 제조용 dry room 사용이 최근 증가됨에 따라 dry room 내 온·습도 분포를 설계명세 및 평가지수의 고려하여 수치적으로 해석<sup>(188)</sup>하고 모델별 환기특성을 비교하는 연구가 이루어졌다.

이밖에도 냉열을 축열하여 냉난방에 활용하기 위한 방안으로 캡슐화된 미립잠열재를 물과 혼합된 슬러리 형태의 농도에 따른 축열성능을 측정하기 위한 연구도 수행되었다.<sup>(138)</sup>

### 7.3 설비시스템에 관한 연구

설비시스템에 관한 연구에서는 우리나라 고유의 온돌시스템을 바닥복사시스템에 적용시키기 위한 연구가 주로 진행되었다.

온돌을 이용한 복사냉방의 가능성에 관한 연구<sup>(23)</sup>에서는 공동주택 내 난방시스템으로만 사용되었던 온돌을 냉방시스템에 적용시키는 복사냉방방식을 제안하고 이에 대한 가능성을 검토하였다.

나아가서 국내 기후의 분석과 현장실험을 통하여 패키지 에어컨의 문제점을 파악한 후, 열해석 프로그램에 의해 바닥복사 냉방시스템의 적용성을 분석한 공동주택의 열환경분석과 바닥복사냉방의 적용에 관한 연구<sup>(190)</sup>가 수행되었다.

또한, 노인복지시설의 온돌난방 계획에 관한 연구<sup>(215)</sup>에서는 노인들의 특성을 고려한 주거환경을 제공하기 위해 쾌적한 실내기온과 바닥 표면온도

를 유지할 수 있는 온돌난방 계획인 이원화 난방과 부분난방의 활용 가능성을 제안하고자 하였다. 바닥 온돌의 배관간격을 일부 좁게 하여 실내 바닥온도를 이원화시킴으로써 아랫목의 바닥 표면온도를 노인들이 선호하는 온도로 높게 유지하면서도 실내온도를 쾌적하게 유지할 수 있는 가능성을 확인하였다.

이외에도 CFD(Computational Fluid Dynamics)에 의한 시뮬레이션을 실시하여 동일공간에서 냉난방을 동시에 실시하는 경우 발생하는 혼합손실을 정량적으로 평가하기 위한 방안을 제시하고 이에 대한 적용 가능성을 검토한 공기조화설비(HVAC) 설계시 혼합손실의 정량적 평가방안의 제안<sup>(102)</sup>에 대한 연구가 이루어졌다.

신경망을 이용하여 공조설비의 고장검출 및 진단방법을 제시하고 있는 신경망 이용 공조기 고장검출 및 진단<sup>(278)</sup>에서는 고장검출을 위해 필요한 정상적인 상태의 기준값을 예측하기 위해 신경망 모델을 사용하였으며, 고장진단은 신경망의 패턴인식방법을 이용하였다.

### 7.4 제어에 관한 연구

인공신경망(artificial neural network)을 이용한 예측제어를 공동주택에 적용하기 위해 일반적인 단위세대를 대상으로 열해석 시뮬레이션 기법을 사용하여 세대 내의 각 실별로 예측제어 및 2-위치제어에 대한 성능을 비교하고 실내 돌발적인 부하요소들에 의한 신경망의 오동작 방지 알고리즘을 개발하고 입력변수 최적화를 통해 성능을 평가한 연구가 수행되었고,<sup>(79)</sup> 실온 하강시간에 영향을 주는 인자들을 고려하여 신경망 입출력 구조를 만들고, 실온 예측 프로그램을 이용하여 다양한 형태의 건물에 대한 학습자료 작성을 통해 최적화된 신경망 모델을 평가하는 연구<sup>(120)</sup>가 이루어졌다. 또한 인공신경망 모델을 이용하여 난방시 건물공조설비의 최적정지시각을 결정하기 위해 최적화된 신경망 모델의 정지시각 결정성능을 평가하고, 신경망 모델을 이용하여 일별 정지시각 결정 시뮬레이션을 통하여 실제 적용시 필요한 적정측정간격 및 허용오차를 제시하였다.<sup>(132)</sup>

건물의 냉방시스템에 있어서는 거주공간의 열적환경 및 에너지 소비량에 관계된 다양한 시스템 제어변수들이 존재하는데, 냉방부하를 포함한



환경조건들의 변화에 대한 건물 내의 쾌적성을 유지함과 동시에 냉방시스템의 총 전력소비를 최소화할 수 있는 중앙냉방시스템의 최적제어<sup>(41)</sup> 방법에 관한 연구가 수행되었고, 중앙냉방시스템을 구성하고 있는 구성요소들의 동력소비를 최소화할 수 있고, DDC 제어기 등에 용이하게 적용 가능한 최적 제어 알고리즘에 대한 연구가 시뮬레이션을 통해 평가되었다.<sup>(253)</sup>

공조공간의 특성을 정확히 파악하고 VAV 시스템을 정확하게 제어하기 위해, 공조공간 내의 비선형적인 열·유동 특성을 선형화 집중 열용량계 가정에 의해 선형적으로 모델링하여 단일영역 모델에 비해 빠르게 정상상태의 온도에 도달하고 팬 소비에너지와 급기 냉각에너지를 최소로 할 수 있는 공조시스템의 최적운전점을 제시하는 연구가 수행되었다.<sup>(73)</sup>

외기온도 예측제어방법이 간헐난방을 하는 공동주택에 잘 적용될 수 있는지를 이론적으로 규명하기 위한 연구가 수행되어 공동주택 전용 예측제어시스템의 실내환경 개선 및 에너지 절감효과의 가능성을 제시하였다.<sup>(207)</sup> 또한, 연속난방을 하는 주택에 대한 외기 예측제어방법의 적용성을 이론적 및 실험적으로 규명하였다.<sup>(225)</sup>

최근 냉방수요가 급증함에 따라 온돌을 이용한 바닥사 냉방방식의 적용 가능성에 대한 연구가 진행되고 있으며, 실제건물에 바닥사냉방을 적용한 실험을 실시하여 바닥사냉방을 위한 냉방조건을 검토하고, 바닥사 냉방시 실내환경의 분석을 통하여 바닥사냉방 적용시의 고려사항을 평가하며, 제어방식의 성능을 비교하는 연구가 수행되었으며,<sup>(264)</sup> 기존 제어방식들을 제어인자에 따라 분류하고, 실온과 바닥온도의 안정성을 비교하는 제어성능실험을 실시하여 각 제어방식별 제어성능을 통합적으로 분석함으로써 국내 공동주택에 대한 적용성을 평가하는 연구도 수행되었다.<sup>(279)</sup>

이밖에도 24시간 주기의 외기조건 변화에 대한 시험체 건물의 열적 반응특성을 6시간 혹은 12시간 등의 짧은 시간주기의 결과로부터 유추하기 위해 TRNSYS 프로그램을 적용하여 시험체 건물의 열반응 특성을 계산하고 단축 해석결과를 24시간 결과로 확장하기 위해 단축결과와 24시간 결과 사이의 상관적인 scale factor를 구하여 실내기후 실험실의 단축실험 결과를 장시간의 결과

로 확장할 수 있는 가능성을 제시하였다.<sup>(67)</sup>

## 7.5 건물에너지 성능에 관한 연구

건물에너지 성능에 관한 연구를 살펴보면 건물의 에너지 사용량을 예측하기 위한 방법으로선형적 방법인 회귀분석기법을 제시하고 이를 실제 대상건물에 적용시켜 봄으로써 회귀분석기법의 정확도 및 장·단점 등을 분석한 회귀분석에 의한 건물에너지 사용량 예측기법에 관한 연구<sup>(126)</sup>가 수행되었다.

중소규모 사무소건물의 에너지 개보수 방안 및 평가<sup>(161)</sup>에서는 중소규모 사무소건물의 에너지 성능조사 및 분석을 실시하여 에너지 개보수 방안을 선정하고 에너지 절감효과를 예측 평가하기 위하여 개보수 방안에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

단지규모 차원에서 에너지 소비특성을 분석하고 에너지 소비 원단위와 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출특성과 이산화탄소 배출 원단위를 제시하고자 하였던 공동주택의 에너지 소비와 이산화탄소 배출특성<sup>(229)</sup>의 연구에서 도출된 결과는 단지규모 차원에서 유지관리특성에 따른 건물에너지 소비량을 예측하는 데 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

클린룸과 실험실이 있는 사무용 건물의 에너지 소비실태 측정 및 분석<sup>(240)</sup>에서는 건물의 공조 및 열원기기에 대한 에너지 소비 측정시스템을 구축하고 이들 시스템의 에너지 소비량을 측정함으로써 실제 건물의 에너지 소비형태에 대한 현장 데이터를 제공할 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 유사건물의 에너지 절감을 위한 원천기술로서 활용할 수 있다는 점에서 의의를 가진다.

## 7.6 부하계산 및 경제성 평가에 관한 연구

부하계산에 관한 연구에서는 공동주택을 대상으로 현행 설계과정에서 사용되고 있는 최대부하계산법의 안전을 계산과정을 살펴보고 DOE-2.1E 시뮬레이션에 의한 최대부하계산 결과를 비교해 봄으로써 공동주택 열원설비의 설계과장상의 문제점을 분석한 공동주택 최대난방부하 계산법의 분석<sup>(4)</sup>에 대한 연구가 수행되었다.

또한, 실시간 가중 회귀 최소 자승법(On-line weighted recursive least square method)을 사용

한 익일 부하예측<sup>(70)</sup>에 관한 연구에서, 빙축열시스템을 효율적으로 사용하기 위해서는 건물부하예측기술이 필요하다고 판단하였으며 이러한 판단 아래 실시간 가중 회귀최소자승법을 사용하여 부하를 예측하였다.

건물의 에너지 성능을 손쉽게 평가할 수 있는 부하예측방정식을 제시하기 위해 건물의 열성능에 영향을 미치는 설계변수에 대하여 시뮬레이션을 실시하고, 분산분석 및 다중회귀분석을 실시한 사무소건물의 설계변수 열성능 평가 및 부하예측방정식 개발<sup>(234)</sup>에 대한 연구가 수행되었다.

부하계산을 통한 이러한 연구결과들은 향후 에너지 절약적인 건물설계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

LCC 평가에 관한 연구로는 건축설비시설의 갱신을 위한 최적 대체안 선정모델 개발에 관한 연구<sup>(111)</sup>가 이루어져 국내 실정에 적합한 HVAC 시스템의 비용분류체계 및 변수구축, LCC 평가모델 개발을 통해 LCC 평가 프로그램을 작성하고 냉열원시스템을 대상으로 한 사례연구를 실시하였다.

한편 단열성능 개선이 가능한 냉동냉장창고 외피구조의 유형을 분류하고 모델 냉동냉장창고를 대상으로 유형별 경제성을 평가한 냉동냉장창고 외피구조 유형별 경제성 평가<sup>(263)</sup>에 대한 연구가 수행되었다.

## 8. 결 론

(1) 자연대류를 포함한 밀폐공간 내의 유동에 관한 연구는 난류자연대류, 비정상 자연대류가 주로 이루어졌다. 미환경 해석문제는 앞으로 생물학적 연구와 병행하여 새로운 응용 분야로 인정된다. 고체 표면을 흐르는 얇은 액체유동인 리부릿에 대한 연구가 여러 편 발표되었다. 이 연구는 습증기의 응축축진과 관련된 연구의 기초연구로 지목된다. 외벽의 열전달축진에 관한 연구도 여러 편 발표되었다. 주로 충돌젯트에 의한 냉각 시스템에서 열전달축진에 관한 문제를 다루었다. 보텍스 튜브에 의한 고온과 저온의 유체를 분리하는 장치인 보텍스 튜브의 특성에 관한 지속적인 연구성과가 있었다.

우리 학회와 관련된 실비 중 공조기에 이용되는 송풍기와 관련된 연구는 꾸준히 수행되었다.

제품의 개발을 위한 설계 차원의 연구보다는 수치해석기술의 응용을 통한 성능향상 및 소음감소에 관한 연구가 많았다. 산업체에서 수행하거나 지원된 연구는 거의 보고되지 않는 분위기는 변해야 하겠다. 대학에서 수행한 기초연구가 상대적으로 활발하였다.

(2) 열전달 해석 및 열교환기 분야와 관련 논문들을 회고한 결과 대류, 비등 열전달특성과 와이어, 발포물질 등 삼입물에 의한 열전달 향상과 마이크로핀관, 널링관, 헬리컬관 등 기존 열전달 촉진관의 내/외부 유동에 대한 실험적, 해석적 연구가 다양하게 이루어졌으며, 특히 열다이오드, 칩모듈 등의 첨단전자기기 분야에 적용 가능한 연구도 이루어지고 있다. 또한, 열교환기 관련 분야에서도 다양한 핀, 관 형상, 헤더 형상 등에 따른 열전달특성을 조사하고, 실험 및 해석적 연구를 통해 이에 대한 예측 가능 모델과 상관식들을 도출함으로써 열교환기 성능개선에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나 이를 적용한 시스템 전체의 성능개선 및 열전달 향상에 대한 연구는 상대적으로 부족하다고 사료된다.

(3) 열펌프에 대해서는 시뮬레이션과 실험적인 방법을 통해 열펌프의 성능해석 및 제어에 관한 연구들이 다양하게 이루어졌으며 멀티형 열펌프 시스템에 대한 연구가 크게 증가되었다. 히트파이프의 경우에는 주로 실험적인 연구들이 발표되었으며, 히트파이프의 작동특성 및 구조를 변화시켜 히트파이프의 성능평가와 특성에 대한 연구가 수행되었다. 상변화 연구는 다양한 분야에 대해 이루어졌다. 빙축열에 관한 연구는 축냉재의 물성치에 대한 실험적 연구와 빙축열시스템의 운전특성에 관한 실험적 연구가 진행되었으며 시스템의 운전성능을 파악할 수 있는 모델들이 제안되었다.

(4) 냉동/냉방시스템에 관련된 연구를 회고한 결과 많은 연구들이 대체 냉매를 사용한 성능평가 실험 및 시뮬레이션에 초점을 맞추고 있으며, 천연냉매인 이산화탄소를 사용한 새로운 냉동/냉방시스템에 대한 연구가 수행되었고 시스템과 관련하여 공조설비용 고장진단시스템에 관한 연구가 있었다. 냉매의 증발 열전달에 관한 연구는 관의 형상, 대체냉매의 특성이 열전달에 미치는 영향을 주로 취급하였고, 풀비등 상관식 개발과 풀비등과 흐름비등의 차이를 분석한 연구도 진행

되었다. 응축 열전달에 관한 연구는 새로운 대체 냉매를 사용한 실험적인 연구가 대부분이며, 실험조건과 관의 형상을 변화시키면서 응축 열전달 특성 변화를 고찰하고 기존의 상관식과 비교하는 연구가 집중되어 있다. 압축기에 관한 연구는 스크롤 압축기와 왕복동 압축기, 로터리 압축기에 대한 성능실험과 누설실험이 주로 수행되었고, 팽창장치에 대한 연구는 실험을 통한 시뮬레이션 방법과 새로운 팽창장치인 인젝터에 대한 연구가 수행되었다. 냉매의 물성치에 대한 연구는 꾸준히 계속되고 있으며, 혼합냉매의 기액 상평형, 오일농도 측정방법, 그리고 혼합냉매에 대한 성능평가 연구가 대부분이다. 마지막으로 냉동/냉방 시스템에서 2상 유동에 대한 연구는 다소 미진하였다.

(5) 흡수식 냉동 분야에서는 흡수기의 성능향상과 소형화를 이루기 위하여 열 및 물질전달현상에 관한 연구가 활발히 이루어졌고, 이로부터 다양한 실험결과와 시뮬레이션 모델들이 제시되었다. 덕트 및 환기 분야에서는 건물 및 터널 내의 환기효율성을 정량적으로 나타내기 위한 지표들이 제시되었고, 이들을 전산유체역학을 이용한 수치해석방법이나 추적가스를 이용한 실험적 방법을 통하여 실제 응용하기 위한 노력이 활발히 이루어졌다. 냉각탑 분야의 연구는 백연방지를 위한 연구를 제외하면 상대적으로 부족하였다.

(6) 건축 열환경 및 설비설계의 연구를 회고한 결과 실내환경을 개선하기 위한 노력의 일환으로 바닥취출 공조시스템이나 개별환경 제어시스템을 적용한 연구가 다양하게 진행되었으며, 설비시스템과 관련하여 온도를 이용한 바닥복사 냉방시스템의 적용성이 제시되었다. 또한, 공조설비의 예측제어를 통해 실내환경 개선과 에너지 절약의 가능성을 제시한 연구가 주로 수행되었으며, 사무소건물의 에너지 성능분석을 통하여 추후 유사건물의 에너지 절감방안을 제시하였다. 그리고 열원설비기기의 부하를 예측하기 위한 연구와 더불어 경제성 평가에 대한 연구들이 진행되는 등 예년에 비해 설비시스템 및 건축환경 분야에서 다양한 연구들이 수행되었다.

### 참고문헌

1. Yoo, J.S., 2000, A theoretical analysis on the inviscid stagnation-flow solidification problem, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 1-11.
2. Han, D.Y. and Chung, M.Y., 2000, Multi type heat pump system computer simulation and experimental verification, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 12-19.
3. Park, S.J., Park, K.W., Roh, G.S., Jeong, J.C. and Oh, H.K., 2000, Condensation heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants R-290 and R-600a inside horizontal tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 20-25.
4. Cho, D.W., 2000, An analysis of the design heating load calculation in multi-family houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 26-32.
5. Jeong, H.M., Lee, C.J. and Chung, H.S., 2000, Study on the numerical modeling of turbulent natural convection in rectangular enclosure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 33-39.
6. Kim, M.H. and Oh, C.Y., 2000, Numerical analysis on the thermal characteristics of the exhaust triple-glazed airflow window, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 40-49.
7. Ohm, K.C. and Kim, S.P., 2000, Impingement heat transfer within 1 row of circular water jets: Part 1—Effects of nozzle configuration, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 50-58.
8. Ohm, K.C., Lee, J.S. and Kim, S.P., 2000, Impingement heat transfer within 1 row of circular water jets: Part 2—Effects of nozzle to heated surface distance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 59-67.

- neering, Vol. 12, No. 1, pp. 59-66.
9. Hong, H. and Kim, M. G., 2000, Melting of ice on the heating plate with split fins, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 67-74.
  10. Kim, K. H., Lee, J. H., Park, M. S. and Lee, D. W., 2000, Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.
  11. Hwang, Y. K., Heo, J. S. and Park, C. Y., 2000, Analysis of two-dimensional flow fields in the multi-stage turbomolecular pump using the DSMC method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 83-94.
  12. Lee, K. S., Jhee, S. and Lee, D. W., 2000, The effect of surface contact angle on the behavior of frost formation in a fin-tube heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 95-101.
  13. Cheon, T. S. and Jeong, E. S., 2000, A numerical model for heat and transfer process within a vertical tube GAX absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 102-112.
  14. Jung, J., Lee, Y. P., Jeong, K. M. and Park, C. W., 2000, An experiment of the particle deposition on a circular cylinder in a laminar flow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 113-119.
  15. Bae, J. H., Kim, K. C., Park, M. H., Park, K. S. and Lee, J. W., 2000, A study on a uniformity of flow field in a duct cooler of FGD system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 120-130.
  16. Choi, H. J., Kang, B. H. and Choi, Y. D., 2000, Effects of ortho-para hydrogen conversion on hydrogen liquefaction performance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 131-139.
  17. Jung, S. H., Lee, D. Y., Kang, B. H. and Kim, W. S., 2000, Control strategy for economic operation of an ice-storage system considering cooling load variation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 140-149.
  18. Kim, J. S., 2000, Turbulent natural convective heat transfer characteristics in a square enclosure with control plates attached at the horizontal partition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 150-160.
  19. Lee, T. H., Lee, J. S., Park, J. J. and Yun, J. Y., 2000, Measurement of air side heat transfer coefficient of wire-on-tube type heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 161-169.
  20. Park, B. S. and Han, C. S., 2000, Development of simulation program for TXV and capillary tube performance analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 170-180.
  21. Choi, J. S., Kwag, S. H. and Kim, H. J., 2000, A study on the by-pass valve design of a scroll compressor with asymmetric wrap, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 181-188.
  22. Lee, S. K., Woo, J. S., Lee, J. H. and Kim, H. D., 2000, Thermodynamic performance of 2-PCM latent heat thermal energy storage system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 189-199.
  23. Koo, S. Y., Kim, Y. Y., Seok, H. T., Lee, H. W. and Kim, K. W., 2000, A study on the applicability of radiant cooling using Ondol, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 200-208.

24. Song, J. S., Kim, C. N. and Park, Y. M., 2000, Measurement of solubility and miscibility of R-410A/POE oil mixture, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 209-217.
25. Kim, B. J. and Kwon, K. S., 2000, Effects of non-absorbable gases in the absorption process of water vapor into the Lithium Bromide-water solution film on horizontal tube bank, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 218-226.
26. Moon, S. H., Kim, K. S. and Choi, C. G., 2000, A Study on Cooling Characteristics of Miniature Heat Pipes with Woven-Wired Wick, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 227-234.
27. Kim, K. H. and Sung, H. C., 2000, The Influence of Variable Thermophysical Properties for Filmwise Condensation of Superheated Vapor on a Vertical Wall, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 235-243.
28. Kim, O. J., Hong, Y. J., Nam, L. W., Kang, W. I. and Kong, Y. S., 2000, Cycle Simulation of an Air Source Heat Pump Using Liquid Injection, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 244-250.
29. Yoon, S. M. and Kim, C. B., 2000, Characteristics of Drag Reduction Additives in the Application of District Cooling System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 251-257.
30. Kim, M. S., Kim, M. S. and Kim, Y. C., 2000, Capacity Modulation of a Heat Pump System by Changing the Composition of Refrigerant Mixtures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 258-266.
31. Jeong, S. Y., Lee, S. S., Cho, K. W. and Beck, N. C., 2000, Comparison Between Two Solar Absorption Cooling System Using Single Effect and Single Effect/Double Lift Cycle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 267-276.
32. Pyo, C. K., Park, S. R., Kim, D. C., Kurn, S. M. and Yim, J. S., 2000, Heat Transfer Characteristics in Impinging Air Jet with Hybrid Rod, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 277-283.
33. Nam, K. W., Jeong, S. K. and Jeong, E. S., 2000, An Experimental Study on the Heat Exchangers in the Pulse Tube Refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 284-291.
34. Yun, J. Y. and Lee, W. Y., 2000, Heat Transfer Characteristics of Oval-Tube Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 292-301.
35. Lee, J. K., 2000, Study on Pressure Pulsation and Cavity Resonance in Discharge Plenum of Hermetic Compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 302-308.
36. Hong, J. W., Roh, G. S., Kwon, O. B., Park, K. W. and Oh, H. K., 2000, Evaporating Heat Transfer Characteristics of R-290, R-600a Inside Horizontal Double Pipe Heat Exchangers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 309-314.
37. Kim, C. N., Park, Y. M., Lee, B. G. and Lim, J. S., 2000, Performance Evaluation of R-22 Alternative Refrigerants with Hydrofluorocarbon and Hydrocarbon, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 315-324.
38. Chung, K. and Han, H., 2000, A study on the Design Prototype Development of Underfloor Air-Conditioning System (UFAC) for Improving Indoor Environment, Korean Jour-

- nal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 325-336.
39. Lee, K., Joo, Y., Choi, B. and Kim, S., 2000, Model of Encapsulated Ice Storage Tanks Using Charge and Discharge Performance of Single Ice Capsule, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 337-344.
40. Park, D. and Jeong, S., 2000, An Experimental Study on the Performance of a Liquid-Vapor Ejector with Water, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 345-353.
41. Ahn, B., 2000, Optimal Control for Central Cooling Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 354-362.
42. Oh, S., Youn, J. and Won, S., 2000, Performance Experiment and Exergy Analysis of an Automotive Air-conditioning System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 363-370.
43. Lim, K., Choi, H., Lee, S., Choi, S. and Kim, H., 2000, Turbulent Heat Transfer of an Oblique Impinging Jet on a Concave Surface, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 371-380.
44. Kang, H., Lee, D. and Kim, B., 2000, An Experimental Study on the Low-Temperature Behavior of Stratified Fluids in the Square Cavity, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 381-387.
45. Lee, S. and Kang, H., 2000, Trapezoidal Fin Analysis by the 3-D Analytical Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 388-397.
46. Han, J., Park, S., Kim, I. and Yim, J., 2000, Numerical Analysis on Flow and Heat Transfer Characteristics in Louver Fin Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 398-403.
47. Choi, S., Bai, C., Chung, M., Kyong, N. and Suh, H., 2000, An Analysis of Shortened Experiments for Environmental Chamber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 404-413.
48. Kang, H. C., Kim, M. H. and Kim, M. S., 2000, A Study on the Thermal Characteristics of Finned-tube Heat Exchanger by Using the Liquid Crystal Technique, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 414-421.
49. Seo, M. and Kim, Y., 2000, Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics for Single-Phase Flow in Plate and Shell Heat Exchangers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 422-430.
50. Jeong, S., Cho, K. W. and Lee, S. S., 2000, Optimization of Heat Transfer Area Distribution for a Hot Water Driven Absorption Chiller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 431-438.
51. Cho, S., Jang, C. and Tae, C., 2000, The Experimental Study on Thermal Characteristics of PEM (Personal Environment Module) System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 439-447.
52. Kim, H. J., 2000, Effects of Gas Pulsation in Piping Lines on Compressor Performance in a Double-Acting Reciprocating Compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 448-456.
53. Lee, J., Park, J. and Lee, S., 2000, Evaluation of Heat Transfer Performance of Wire-coil Inserted Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 457-465.
54. Jung, D. S., Kim, M., Kim, M. S. and Lee,

- W., 2000, Capacity Modulation of a Multi-Type Heat Pump System Using PID Control, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 466-475.
55. Kim, J., Kim, Y. and Yoo, H., 2000, Thermal Comfort of the Floor Supply Air Conditioning System for Different Supply-return Locations during Cooling, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 476-485.
56. Lee, K. and Bang, K., 2000, A Theoretical Evaluation of the Effect of Refrigerant Charge on the Performance of Vapor-Compression Air-Conditioning System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 486-493.
57. Sung, S., Song, T. and Choi, Y., 2000, Computation of Compact Heat Exchanger Performance by the Heat Exchangelet Method: Effect of Tube-to-tube Conduction along the Fin, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 494-501.
58. Yun, C.H., Lee, J.I. and Ha, O.N., 2000, A Study for Evaporation Heat Transfer Characteristic of R22/R114 Refrigerant Mixtures in a Horizontal Tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 502-510.
59. Kim, S.Y., Paek, J.W. and Kang, B.H., 2000, Flow and Heat Transfer Characteristics of Aluminum Foam Porous Fins, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 511-518.
60. Yoon, T., Kim, N., Lee, J. and Kim, C., 2000, Development of a Waterless Container Utilizing Thermoelectric Modules for Live Fish Transportation, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 519-524.
61. Park, N.S., Hwang, K.D., Kang, B.H. and Chung, J.T., 2000, Effects of Hydrophilic Surface Treatment on Evaporation Heat Transfer at the Outside Wall of Horizontal Tubes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 525-532.
62. Hwang, K.D., Park, N.S. and Kang, B.H., 2000, Effects of Hydrophilic Surface Treatment on Condensation Heat Transfer at the Outside Wall of Horizontal Tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 533-540.
63. Tae, S. and Cho, K., 2000, Effect of Refrigeration Oil on the Condensation Heat Transfer for Alternative Refrigerant in Microfin Tube with a U-bend, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 541-549.
64. Lee, G.S., 2000, Compression Power and Energy Analysis in a Dry Ice Production Cycle with 3-stage Compression, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 550-560.
65. Baik, Y., Chang, Y. and Kim, Y., 2000, Measurement of Single Phase and Condensation Heat Transfer Coefficients of Ammonia in a Horizontal Tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 561-569.
66. Kim, J., Shin, K., Kim, S. and Jung, P., 2000, Performance Simulation for the Optimal Design of Automotive Air-Conditioning System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 570-580.
67. Kim, K., Kang, S., Choi, C., Cho, Y., Lee, J. and Oh, M., 2000, Effect of the Vertical Air Circulation on the Thermal Environment in a Large Space, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 581-588.
68. Kim, C.N., Song, J.S., Lee, E.H., Park, Y.M., Yoo, J. and Kim, K.H., 2000 Investigation of Vapor-Liquid Equilibrium and Miscibility for R-410A/POE Oil Mixtures,

- Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 589-598.
69. Lee, K., Park, J. and Kim, S. Y., 2000, Numerical Study on the Behavior of Snow Melting for the Analysis of Defrosting Procedure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 599-608.
  70. Han, D. and Lee, J., 2000, Real-Time Building Load Prediction by the On-Line Weighted Recursive Least Square Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 609-615.
  71. Kwon, Y., Lyu, J., Lee, D. and Kwon, S., 2000, Study on the Analysis of Fire Propagation in Road Tunnels, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 616-622.
  72. Baek, S. H. and Jeong, E. S., 2000, Enthalpy Flow Loss by Steady Mass Streaming in Pulse Tube Refrigerators, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 623-631.
  73. Moon, J. W., Kim, S. Y., Kim, W. N. and Cho, H., 2000, Simulation of Supply Air Control in a VAV System Using a Stratified Lumped Thermal Model, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 632-641.
  74. Kim, D. K. and Kim, M. H., 2000, Falling Film Heat Transfer on a Horizontal Single Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 642-648.
  75. Park, H. H., Park, Y. C. and Kim, Y., 2000, Performance Analysis on the Variable Speed Scroll Compressor with Operating Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 649-658.
  76. Lee, W., Kim, Y., Kim, J. and Kim, J., 2000, Influence of Working Fluids to Heat Transfer Characteristics of the Heat Exchanger using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe for Low Temperature Waste Heat Recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 659-666.
  77. Kweon, Y. C., Chang, K. S. and Jeong, J. H., 2000, An Experimental Study on Enhancement of Laminar Flow Heat Transfer in a Circular Pipe with Inserts, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 667-673.
  78. Ha, J. H. and Moon, Y. J., 2000, Computational Analysis of the Three-Dimensional Flow Characteristics and the Performance of Sirocco Fan, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 674-679.
  79. Yang, I., Lee, J. and Kim, K., 2000, A Study on the Optimal Control of Ondol System Using Artificial Neural Network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 680-687.
  80. Lee, W. and Lee, B., 2000, Regression Model-Based Fault Detection of an Air-Handling Unit, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 688-696.
  81. Lee, Y., Yoo, J., Park, H. and Kim, Y., 2000, The Experimental Study of Water Hammer by Valve Closure in Water Supply Piping System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 697-702.
  82. Riu, K., Bang, C. and Kim, B., 2000, The Influence of Ranque-Hilsch Effect and Joule-Thomson Effect to Energy Separation in a Vortex Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 703-710.
  83. Han, D. and Kim, K., 2000, Fuzzy Defrost Control of the Multi-Type Heat Pump System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 711-716.



84. Hong, K. S., Min, M. K., Hwang, Y. J., Hwang, I. N., Kim, C. M. and Cho, K. S., 2000, An Experimental Study on the Oil Circulation in an Inverter-Driven Heat Pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 717-724.
85. Han, Y. O., Chung, N. K. and Kim, J. H., 2000, An Experimental Study on Thermal Properties of Clathrate for Cold Storage Applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 725-734.
86. Kang, Y., Kim, N. and Kim, C., 2000, A Numerical Study on Heat Transfer Characteristics in a Spray Column Direct Contact Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 735-744.
87. Kwon, Y., Kim, K. and Moh, J., 2000, A Study on the Heat Storage Characteristics of a Latent Heat Storage Tank with Shell and Tube Type, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 745-754.
88. Yoo, J., Eom, Y. and Kim, Y., 2000, Natural Convection of Air in a Horizontal Annulus with the Inner Cylinder Cooled by Constant Heat Flux, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 755-762.
89. Yoo, J. O., Nam, C. H. and Shin, H. J., 2000, The Study of Jet Fan Control Logic for Longitudinal Ventilation in Road Tunnel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 763-770.
90. Hwang, Y. and Lee, Y., 2000, Stability of the Kármán Boundary Layer Flow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 771-781.
91. Hwang, H. S., Lim, K. W., Lee, K. B., Cho, B. and Cha, D., 2000, Characteristics of the Transient Pressure in a Building Water Supply System with an Air Chamber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 782-790.
92. Hong, K. S., Hwang, I. N. and Min, M. K., 2000, The Effects of Oil on Refrigerant Flow through Capillary Tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 791-801.
93. Lee, K. and Oh, S., 2000, Thermal and Flow Analysis inside the Header of a Parallel Flow Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 802-809.
94. Cho, Y., Kwon, H. S., Kim, S. H. and Kim, Y. I., 2000, Experimental Analysis of Thermal Comfort of an Office Space for Ceiling and Floor Supply Air Conditioning Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 810-816.
95. Lee, K., Jun, Y. and Park, S., 2000, Measurement of Heat Transfer Rates and Pressure Drops in a Solid Particle Circulating Fluidized Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 817-824.
96. Choi, K. and Chang, H., 2000, Analysis of a Cryogenic Nitrogen-Ambient Air Heat Exchanger Including Frost Formation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 825-834.
97. Kim, Y. and Seo, T., 2000, Study on Film-Boiling Heat Transfer of Subcooled Turbulent Liquid Film Flow on Horizontal Plate, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 835-842.
98. Yang, J. S. and Kim, E. P., 2000, An Experimental Study on the Effect of Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics by the Longitudinal Vortices, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 843-852.

99. Lee, W., Lee, J. and Kim, J., 2000, Performance Test of Low Temperature Waste Heat Recovery Heat Exchanger Using Self-excited Oscillating Heat Pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 853-859.
100. Lee, H., Hong, J., and Lee, J., 2000, Physical Properties of Microencapsulated Phase Change Material Slurries, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 860-869.
101. Kim, C.H., Ha, S.C., Kim, E. and Kim, K.C., 2000, Analysis of Pressure Drop for Combining Junctions in Gas-Liquid Two-Phase Flows, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 870-878.
102. Yee, J., 2000, The proposal of a quantitative evaluation method on mixing loss in the HVAC system design, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 879-885.
103. Kim, Y., Riu, K. and Seo, T., 2000, Measurements of heat transfer distribution in spray cooling of hot steel plate, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 886-893.
104. Hong, J., Kim, D. and Jung, W., 2000, Experimental study on the working characteristic of aluminum grooved heat pipe and thermosyphon with inner arterial wick, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 894-900.
105. Lee, K.S., Jang, K.T. and Jeong, S.K., 2000, A study on the determination of mixed refrigerant for the Joule-Thomson cryocooler, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 901-907.
106. Lee, K., Lim, K. and Jung, Y., 2000, Numerical analysis of moisture ventilation in the dry room, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 908-916.
107. Son, C.S., 2000, Study on the Thermal Performance of Embossing Surface Sandwich Panel During the Summer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 917-924.
108. Cho, B., 2000, A study on the characteristics of the refrigerator using a refrigerant injection type expansion device, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 925-931.
109. Jun, S.H., Hwang, Y.W., Yoon, S.H. and Kim, M.S., 2000, An experimental study on evaporative heat transfer characteristics in micro-fin tubes before and after expansion process, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 932-940.
110. Ko, Y., Kim, J., Song, K., Jung, D. and Kim, Y., 2000, Pool boiling heat transfer correlation for pure refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 941-949.
111. Yoon, D., Yee, J., Chung, K., Han, H. and Jung, S., 2000, A study on the development of optimal alternative selection model to renew building equipments system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 10, pp. 950-962.
112. Kweon, Y.C., Chang, K.S., Kwon, J. and Kim, M.H., 2000, Effects of an electric field on the dynamic characteristics of bubbles in nucleate boiling, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 963-971.
113. Kim, J.W. and Chung, Y.Y., 2000, Performance and flow characteristics of axial fan, Korean Journal of Air-Conditioning and

- Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 972-981.
114. Lee, K., Choi, B., Joo, Y., Lee, S. and Han, S., 2000, Optimal scheduling of ice storage system with prediction of cooling loads, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 982-993.
  115. Han, D. and Lee, S., 2000, Dynamic models and simulation of the absorption air conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 994-1003.
  116. Chun, K.H., Park, J.S. and Choi, Y.D., 2000, Turbulent enhancement of the cooling system of nuclear reactor by large scale vortex generation in a nuclear fuel bundles, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1004-1011.
  117. Lim, K.W., 2000, A study on the evaluation of measurement uncertainty for the national calibration and test organizations (liquid flow), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1012-1019.
  118. Park, B.K. and Lee, T.H., 2000, Thermodynamic modeling of finned tube evaporator for dehumidification and air conditioning, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1020-1030.
  119. Kang, B., Kim, M.S. and Kim, Y.I., 2000, An experimental study on vapor-liquid equilibria of HFC and HC refrigerant mixtures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1031-1037.
  120. Yang, I. and Kim, K., 2000, Development of artificial neural network model for the prediction of descending time of room air temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 1038-1048.
  121. Kim, K., Seo, K. and Jung, D., 2000, Condensation heat transfer coefficients of binary refrigerant mixtures on a horizontal smooth tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1049-1056.
  122. Park, B.K., Kim, M.G. and Kim, G.O., 2000, Performance analysis of sensible and latent energy recovery system for thermally controlled facilities, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1057-1065.
  123. Lee, Y. and Yoo, J., 2000, A study of surge pressure absorption by water hammer arrester in water supply piping system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1066-1072.
  124. Jang, Y. and Kim, S., 2000, An experimental study on heat transfer characteristics of thermal diode type enclosure cavity, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1073-1080.
  125. Hong, J., Park, S., Oh, J. and Oh, H., 2000, Evaporation heat transfer characteristics of R-22, R-134a, in small diameter tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1081-1089.
  126. Lee, S., 2000, Study for predicting building energy use with regression analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1090-1089.
  127. Lee, J., Kim, K., Kim, B.J., Lee, J., Kim, W., Cho, H.H. and Kim, M.S., 2002, Recent progress in air conditioning and refrigeration research—A review of papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 1998 and 1999—, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1090-1125.

128. Park, S., Ha, S., Shin, J. and Lee, J., 2001, Flow characteristics of refrigerant-oil mixtures in a dehumidifying cycle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 1-8.
129. Kim, J., Kim, J. and Kim, N., 2001, R-134a flow boiling on a plain tube bundle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 9-17.
130. Lee, J. and Kim, C., 2001, Analysis of woven wire wick structure for a miniature heat pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 18-24.
131. Jho, S., 2001, A study on the effect of the heat transfer surface position to the condensation heat transfer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 25-29.
132. Yang, I., 2001, A study on determining the optimal stop time of HVAC system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 30-37.
133. Kim, G. O., Kim, M. G. and Park, B. K., 2001, Analysis on the thermal characteristics of variable conductance heat pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 38-47.
134. Jeon, K., Park, C. and Jung, D., 2001, Optimization study of the compression/absorption hybrid heat pump cycle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 48-58.
135. Chang, Y., Park, Y. and Chung, K., 2001, A PID control of electric heater for PEM, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 59-65.
136. Choi, D., Kim, K. and Kim, J., 2001, An experimental study on the performance of an inverter heat pump with a variation of frequency and refrigerant charging amount, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 66-72.
137. Paek, J. W., Kim, S. Y. and Kang, B. H., 2001, Heat transfer from a porous heat sink by air jet impingement, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 73-79.
138. Lee, H. and Lee, J., 2001, Experimental study on the microencapsulated PCM as a thermal storage medium, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 80-87.
139. Yoo, J. and Eom, Y., 2001, Chaotic thermal convection in a wide-gap horizontal annulus:  $Pr=0.1$ , Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 88-95.
140. Youn, Y., Chung, J. and Min, M., 2001, An experimental study on the high performance optimal discharge system of a rotary compressor for an air conditioner using alternative refrigerant R410a, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 96-105.
141. Choi, I. S., Chung, K. S., Park, Y. C., Han, H. T. and Lee, J. J., 2001, Characteristics of thermal environment and evaluation of thermal comfort in task area with personal air-conditioning system (PACS), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 106-114.
142. Yee, J., Yoon, C., Chung, K., Han, H. and Park, Y., 2001, The thermal environmental characteristics for task-ambient air-conditioning system in heating condition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 115-121.
143. Ko, Y., Kim, J., Park, J., Jung, D. and Kim, Y., 2001, Pool boiling heat transfer correlation for mixture refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 122-130.

- tion Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 122-133.
144. Youn, Y., Kim, Y. and Min, M., 2001, Characteristics of flank and tip seal leakage in a scroll compressor for air-conditioners, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 134-144.
  145. Yoo, J. and Kim, Y., 2001, Low Rayleigh number thermal convection between two horizontal plates with sinusoidal temperature distributions, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 145-152.
  146. Kim, Y., Park, G.W., Youn, Y., Min, M. and Choi, Y.D., 2001, Performance analysis of a multi-type inverter heat pump, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 153-159.
  147. Kong, T., Chung, H. and Jeong, H., 2001, The effect of flow rate into room by natural convection in air conditioner duct, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 160-166.
  148. Ji, M., Bae, C., Chin, J., Jeong, H., Chu, M. and Chung, H., 2001, Study on the numerical analysis for microenvironments in bed mattress, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 167-173.
  149. Kwon, O.K., Jeon, C.D., Kang, J.S. and Lee, J., 2001, Study on pressure drop and condensation heat transfer characteristics of R-404A in brazed plate heat exchanger, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 174-183.
  150. Choi, Y., 2001, A study on the control method of ventilating system for high speed train in a tunnel, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 184-193.
  151. Lee, D., Kim, N., Kim, S. and Kim, C., 2001, The study on drag reduction rates and degradation effects in synthetic polymer solution with surfactant additives, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 194-199.
  152. Cho, H., Byun, K., Song, J., Chang, H. and Choi, Y., 2001, Indoor temperature control of a heat pump based on model predictive control considering energy efficiency, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 200-208.
  153. Choi, C.H. and Lee, J.H., 2001, Effect of circumferential velocity from guide vane on the nozzle flow of a jet fan, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 209-216.
  154. Koh, J., Kim, I., Choi, B. and Yim, C., 2001, A numerical analysis on forced ventilation using indoor air cleaner in an apartment house, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 217-224.
  155. Hwang, S., Yun, S., Kim, D. and Lee, S., 2001, Study on the heat transfer characteristics of immersed and falling flows on helical tubes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 225-232.
  156. Choi, J., Kim, Y. and Ha, J., 2001, Experimental study on superheat control of a variable speed heat pump, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 233-241.
  157. Han, J., Kim, S., Jung, D. and Kim, Y., 2001, Flow boiling heat transfer characteristics of R22 alternative refrigerants in a horizontal smooth tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 242-251.
  158. Cho, E., Seo, T. and Park, Y., 2001, Air flow and heat transfer analysis of personal environment module system, *Korean Jour-*

- nal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 252-261.
159. Lee, S., Park, B. and Shigeru Koyama, 2001, A prediction model for condensation of zeotropic refrigerant mixtures inside a horizontal smooth tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 262-270.
160. Kim, J., Yun, J., Kwon, O. and Lee, C., 2001, An experimental study on the thermal resistance characteristics of layered heat sink, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 271-278.
161. Jeong, Y., Huh, J. and Bang, K., 2001, Energy retrofit and estimate for small-to-medium office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 279-288.
162. Ahn, J., Kim, K., Yoon, J. and Ahn, K., 2001, Study on the fine particle charging characteristics with the electrohydrodynamic atomization, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 289-294.
163. Kim, H., Kang, S. M. and Kang, B. H., 2001, Disengagement of a pendant liquid drop from a vibrating ceiling, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 295-303.
164. Kim, B. J., Jeong, E. S. and Sohn, B. H., 2001, Void fraction and pressure gradient of countercurrent two-phase flow in narrow rectangular channels, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 304-312.
165. Choi, J., Kim, Y. and Ha, J., 2001, Performance of the flow distribution and capacity modulation of a multi-heat pump system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 313-320.
166. Park, K. R., Oh, M. D. and Lee, J. H., 2001, Simulation and analysis of local ventilation characteristic of road tunnel with ventilation system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 321-332.
167. Lee, H., Yoon, P., Kim, C., Lee, Y. and Jeong, J., 2001, Performance test of a R134a centrifugal water chiller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 333-340.
168. Ahn, S. W. and Son, K. P., 2001, Effects of rib shapes on the friction Factors and heat transfer in a rectangular duct, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 341-347.
169. Lee, J., Riu, K., Jang, J. and Kim, B., 2001, The study about cooling effect of a heated module in a horizontal channel with a variation of channel height, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 348-355.
170. Kim, K., Park, M. and Park, K., 2001, A study on flow characteristics of branch type sparger in drain tank for depressurization, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 356-367.
171. Ahn, Y., Lee, W., Kim, J. and Kim, J., 2001, Study on performance evaluation of oscillating heat pipe heat exchanger for low temperature waste heat recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 368-376.
172. Youn, Y., Kim, Y. and Min, M., 2001, A study on leakage characteristics of a scroll compressor with alternative refrigerants of R22, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 377-387.
173. Suh, Y. K., 2001, Numerical analysis of the dynamical characteristics of fluid flow inside a pipe with an accumulator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 388-397.
174. Pak, H. Y., Park, K. W. and Lee, S. C., 2001,

- Analysis of mixed convection heat transfer in arbitrarily shaped flat tubes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 5, pp. 398-410.
175. Kim, S. G. and Kim, M. S., 2001, Analysis and experiment on the performance of an autocascade refrigeration system using carbon dioxide as a refrigerant, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 5, pp. 411-421.
176. Kim, B. J., Sohn, B. H. and Koo, K., 2001, Analysis of falling-film generator in ammonia-water absorption system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 5, pp. 422-430.
177. Chung, G. J., Choi, Y. D., Chang, H. W., Song, J. B. and Park, Y. C., 2001, Cooling performance measurement of a 3 room type inverter heat pump system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 431-439.
178. Jho, S. G., 2001, A study on the boiling heat transfer of heat surface with fin array to R-113, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 440-447.
179. Hur, N. K., Kim, W., Kim, S. and Cha, C., 2001, Unsteady numerical simulation on the ventilation in a long rail tunnel, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 448-454.
180. Kang, J., Kim, N., Lee, J. and Kim, C., 2001, Analysis of performance and economical efficiency through cycle simulation for power saving BIP (Block Ice Plant), *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 455-461.
181. Chang, K., Lee, K., Lee, Y. and Yoo, S., 2001, Effects of working fluid filling ratio and heat flux on correlations of heat transfer coefficient in loop thermosyphon, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 462-473.
182. Hong, J., Choi, S., Kim, D., Chung, W., Byun, Y. and Yang, K., 2001, Experimental study on the performance improvement of aluminum grooved heat pipe due to increased number of grooves, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 474-481.
183. Lee, Y. P. and Kang, S. W., 2001, The effect on fouling reduction by the cleaning system in compressed type refrigerator, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 482-489.
184. Shin, J., Lee, N., Han, S. and Ha, S., 2001, The effect of water contact angles of the fin surfaces of the fin-and-tube heat exchangers on the water hold-up, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 490-496.
185. Choi, D., Kim, K. and Cha, K., 2001, An analytic and experimental study on the performance characteristic of the rotary compressor, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 497-504.
186. Chang, W., Jeong, E. S. and Kim, B. J., 2001, A numerical analysis of a revised VX absorption cooling cycle, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 505-513.
187. Park, B. K., Kim, G. O. and Kim, M. G., 2001, Analysis of transient thermal characteristics in a gas-loaded heat pipe, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 514-523.
188. Lee, K., Lim, K., Ahn, K. and Jung, Y., 2001, Analysis of temperature and humidity distribution in a dry room, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 524-531.
189. Kim, Y., Yoon, H. and Yeo, M., 2001, A study on the control of water flow and

- water temperature in the radiant cooling system through simulations, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 532-540.
190. Kim, Y. and Kim, K., 2001, A study on the thermal environmental analysis and the application of radiant floor cooling in apartment building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 541-548.
  191. Jang, Y. and Pak, J., 2001, A study on heat flow characteristics during hot water extraction process, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 549-556.
  192. Kang, I., Kim, N. and Kim, C., 2001, The study on absorption performance of a plate-fin type absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 557-563.
  193. Park, J. and Cho, K., 2001, Study on the performance of the cascade system using alternative refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 564-571.
  194. Kim, Y., Hwang, T. and Yoo, J., 2001, A study on the collection characteristics of submicron particles in an electrostatic precipitator-I. Electrical characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 572-578.
  195. Kim, Y., Yoo, S. and Yoo, J., 2001, A study on the collection characteristics of submicron particle in an electrostatic precipitator-II. Collection efficiency characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 579-587.
  196. Kim, T., Kim, N., Lee, J. and Kim, C., 2001, Numerical analysis of heat transfer characteristics in corrugated plate type heat exchanger channel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 588-594.
  197. Kim, K., Choi, D. and Park, J., 2001, Measurement of flow field through a staggered tube bundle using particle image velocimetry, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 595-601.
  198. Han, D. and Lee, K., 2001, Experiments on condensation heat transfer characteristics and flow regime inside microfin tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 602-611.
  199. Lee, D., Jin, J. S. and Kang, B. H., 2001, Optimum design of a compact heat exchanger with foam metal insertion, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 612-620.
  200. Cho, Y., Moon, Y. J. and Park, J. M., 2001, Flow induced noise characteristics of the cross flow fan with uniform/random pitch blades, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 621-626.
  201. Lee, S., Cheoi, C. and Kim, C., 2001, Mathematical modeling and analysis on the behavior of VOC in an indoor environment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 627-636.
  202. Choi, W. H., Kim, C. N. and Choung, S. J., 2001, A numerical analysis of the abatement of VOC with photocatalytic reaction in a flow reactor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 637-646.
  203. Choi, I., Chung, K., Park, Y., Han, H. and Lee, J., 2001, Evaluation of thermal comfort in task area with personal air-conditioning system (PACS) by PMV index, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 647-652.
  204. Moh, Y., Yoo, Y. and Kim, J., 2001, The characteristics of pulsating flow in a hy-



- draulic pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 7, pp. 653-666.
205. Riu, K., Lee, B. and Choi, I., 2001, The effect of a vortex chamber diameter ratio on energy separation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 667-673.
206. Lee, H., Lee, J.S., Ro, S.T. and Park, G., 2001, An experimental study on the convective boiling in inclined tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 674-681.
207. Tae, C.S., Cho, S.H. and Lee, C.G., 2001, Application of the outdoor air temperature prediction control for intermittent heating residences, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 682-691.
208. Han, J., Kim, S., Jung, D. and Kim, Y., 2001, Flow boiling heat transfer characteristics of R22 alternative refrigerants in a horizontal microfin tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 692-700.
209. Kang, H., Kim, J. and Kim, C., 2001, A study on heat transfer performances of a heat pipe heat sink for power control semiconductors, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 701-709.
210. Park, J., Kim, J., Jung, D. and Kim, Y., 2001, Pool boiling heat transfer coefficients of new refrigerants on various enhanced tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 710-719.
211. Park, K., Kwon, K., Jeong, S. and Kim, B., 2001, Effect of vapor flow direction on falling film heat transfer in a coiled tube absorber (Part 1: Experiments with pure water), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 720-729.
212. Kang, H. and Kim, M., 2001, Dehumidifying performance of material-saving fin in fin-tube heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 730-738.
213. Lee, J., Kang, T., Yoon, S., Ku, J., Han, J. and Cho, M., 2001, A study on ventilation effectiveness in the non-isothermal supply using mixing and displacement ventilation systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 739-745.
214. Kim, B., 2001, An experimental investigation on the variation of heating performance due to the refrigerant flow control in a variable-speed heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 746-756.
215. Na, S. and Rhee, E., 2001, A study on the ondol heating system design in welfare facilities for the aged, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 757-762.
216. Yang, D., Chung, J., Park, J. and Hwang, S., 2001, Effects of the heat transfer on the performance characteristics of rolling piston type rotary compressors for air conditioner, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 763-770.
217. Kim, I., Koh, J., Park, S. and Yim, C., 2001, Thermodynamic modeling of parallel flow condenser for automotive air conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 771-779.
218. Han, D. and Kwon, H., 2001, Compressor control of a multi-type air conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 780-786.
219. So, J.H., Yoo, S.S. and Shin, G.S., 2001, The on-line diagnostic test of fault diagnosis system for air handling unit, Ko-

- rean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 787-795.
220. Lee, K., Park, K. and Chun, W., 2001, Heat transfer characteristics of the U-shape heat pipe using working fluid of PFC, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 796-802.
221. Ahn, S. W. and Son, K. P., 2001, Effects of the corrugated tubes on pressure drop in concentric annuli, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 803-809.
222. Kim, S. Y. and Kim, M. S., 2001, Capacity modulation of a multi-type heat pump system using PID control with fuzzy logic, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 810-817.
223. Baik, Y., Chang, Y. and Kim, Y., 2001, Performance test of a wet surface finned-tube evaporator of an air source heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 818-826.
224. Han, K., Park, J., Kweon, Y. and Cho, D., 2001, Experimental study on condensation heat transfer characteristics of special heat transfer tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 827-835.
225. Tae, C., Cho, S. and Lee, C., 2001, Application study on the outdoor air temperature prediction control for continuous floor heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 836-844.
226. Riu, K., Lee, B. and Choi, B., 2001, The effect of the thermal conductivity of a tube and the convective heat transfer on the outer surface of a tube on the energy separation in vortex tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 845-852.
227. Han, H., Choi, S. and Jang, K., 2001, Distributions of local supply and exhaust effectiveness according to the room airflow patterns, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 853-859.
228. Cho, E. and Seo, T., 2001, Coupled heat and mass transfer in absorption of water vapor into LiBr-H<sub>2</sub>O solution flowing over a finned inclined surface, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 860-867.
229. Lee, Y. and Lee, K., 2001, A Study on the characteristics of energy consumption and CO<sub>2</sub> emission of multi-family housing, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 868-877.
230. Lee, H., Kim, S. and Lee, J., 2001, Operating characteristics of a bubble pump for diffusion-absorption refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 878-887.
231. Shin, J. and Park, B. K., 2001, Effect of boundary conditions on the flow rate of the internal coolant in gas turbine blades, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 888-894.
232. Riu, K., Bang, C. and Kim, H., 2001, Evaporation cooling phenomena of droplets containing fire suppression agents, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 895-903.
233. Kum, S., 2001, Heat transfer and flow characteristics by trapezoid rod array in impinging jet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 904-913.
234. Seok, H. and Kim, J., 2001, Thermal performance evaluation of design parameters and development of load prediction equations of office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 914-922.

- neering, Vol. 13, No. 9, pp. 914-921.
235. Kang, Y. T., Cho, H. K. and Hong, H. K., 2001, Hybrid GAX cycle: Performance improvement and low temperature applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 923-929.
236. Seo, M., Park, J. and Kim, Y., 2001, Experimental study on R-22 evaporation pressure drop characteristic in plate and shell heat exchangers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 930-938.
237. Kim, Y., Ha, B., Jeong, S., Hong, W., Yoa, S. and Yoo, J., 2001, A study on the collection characteristics of a wide plate-spacing electrostatic precipitator - I. effect of plate spacing and type of discharge electrode -, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 939-946.
238. Park, S. and Shin, S. C., 2001, A study on the development of the zonal division model and the state feedback controller for the temperature control of the indoor zone via VAV unit, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 947-959.
239. Kim, Y. and Seo, T., 2001, Experimental study on minimum heat flux point of liquid film flow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 960-965.
240. Kim, S., Yang, S., Kim, Y. and Kim, S., 2001, Measurement and analysis of energy consumption of an office building with cleanroom and laboratory, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 966-973.
241. Kim, Y., 2001, Study on minimum heat flux point in spray cooling of hot plate, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 974-981.
242. Kim, K., Lee, J., Oh, M. and Kim, J., 2001, Performance of ventilation equipment with various air distribution system in enclosed parking garages, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 982-992.
243. Lee, W. H., Kim, Y. J. and Kim, M. S., 2001, Experimental study on the performance of refrigeration system with an ejector, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 993-1001.
244. Uhm, J., Lee, J., Kim, N. and Kim, C., 2001, An experimental investigation of 20 kW OTEC pilot plant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 1002-1008.
245. Kwon, O., Lee, J., Kim, S. Y., Karg, B. H. and Kim, Y., 2001, An experimental study on the heat transfer enhancement by pulsatile flow in a triangular grooved channel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 1009-1016.
246. Oh, S. and Lee, K., 2001, Optimal shape of header part in a parallel-flow heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 1017-1024.
247. Kim, J., Kim, H., Kang, B. H. and Lee, K., 2001, A study of droplet motion on an inclined surface, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 1025-1033.
248. Ji, J. H., Jeong, E. S. and Jeong, S., 2001, A numerical model of a counter-current plate type generator for ammonia/water absorption refrigerators, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 10, pp. 1034-1041.
249. Kim, J., Kim, H., Kang, B. H. and Lee, J., 2001, A study of rivulet flow on an inclined solid surface, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering,

- neering, Vol. 13, No. 10, pp. 1042-1048.
250. Choi, C., Choi, Y. and So, H., 2001, A numerical study on the performance analysis of the plume abatement NWD cooling tower, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1049-1058.
251. Kim, Y., Ha, B., Jeong, S., Hong, W., Ha, D. and Yoo, J., 2001, A study on the collection characteristics of a wide plate-spacing electrostatic precipitator—II. Effect of wave form of pulse energization, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1059-1064.
252. Gil, B., Lee, Y., Jung, D., Cho, B. and Choi, E., 2001, A study on transport and heat utilization of ice slurries, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1065-1071.
253. Ahn, B.C., 2001, On-line optimal control, methodology for the DDC controller of a heating, ventilating and air-conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1072-1078.
254. Park, B., Lee, J., Koyama, Shigeru, Hwang, I.N., Chang, S. and Chung, B., 2001, Development of the dynamic simulation program for the multi-inverter heat pump air-conditioner, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1079-1088.
255. Oh, S. and Won, S., 2001, Transient simulation of an automotive air-conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1089-1096.
256. Ko, G.O., Chung, N.K. and Kim, J.H., 2001, A basic study on thermal properties of TMA clathrate with additives, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1097-1105.
257. Lee, J. and Kim, T., 2001, A experimental study on the ultrasonic influence for melting the paraffin the ice, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1106-1113.
258. Park, B.K., Kim, G.O. and Kim, M.G., 2001, Effects of air flow nonuniformity on the thermal performance of a compact evaporator for natural working fluids, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1114-1124.
259. Choi, J.K., Kim, M.G. and Park, B.K., 2001, Analysis on the thermal performance of an ammonia unit cooler, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1125-1133.
260. Yang, D.I. and Jung, H.H., 2001, A study on the heat transfer characteristics of oil flow over offset strip fins, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1134-1140.
261. Kim, Y., Han, D. and Lee, K., 2001, Experiments on condensation heat transfer and pressure drop in plate heat exchangers with different chevron angles, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1141-1148.
262. Riu, K.J., Kim, J.S. and Choi, I.S., 2001, Experimental investigation for the characteristics of energy separation of a vortex tube at various inlet and outlet pressure conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1149-1155.
263. Song, S., Seok, H., Hwang, H. and Ahn, H., 2001, Economical efficiency evaluation of the cold storage warehouse with various envelope structures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1156-1164.
264. Kim, Y., Lim, J., Yeo, M. and Kim, K., 2001, An experimental study on control performance of radiant floor cooling using

- ondol, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1165-1174.
265. Park, K., Hideo, Inaba and Akihiko, Horibe, 2001, Study on ice making behavior of water solution with surfactant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1175-1183.
266. Yoon, Y. H., Bae, T. H. and Park, W. G., 2001, Velocity measurement in a rectangular duct with 90° mitered elbow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1184-1195.
267. Kim, J., Kim, H., Kang, B. H. and Lee, J., 2001, Perturbation analysis of a meandering rivulet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1196-1204.
268. Kim, Y. J., Hong, W. S., Jeong, S. H., Ha, B. K., Da, D. H. and Yoo, J. S., 2001, A numerical study on the collection characteristics of a wide plate-spacing electrostatic precipitator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1205-1213.
269. Seo, J. and Cho, K., 2001, Effect of diameter and length on the absorption performance in a vertical absorber tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1214-1222.
270. Park, C. H., Choi, J. H. and Hong, H. K., 2001, Consideration on the T-history method for measuring heat of fusion of phase change materials, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1223-1229.
271. Lee, K., Shin, J., Yi, C., Chung, H. and Jeong, H., 2001, An experiment and numerical analysis of mixed convection in a rectangular space with variable partition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1230-1235.
272. Park, K. and Oh, H., 2001, Hideo Inaba, Akihiko Horibe, Naoto Haruki, and Hideo-toshi Miura, Influence of control pressure and concentration of water solution at continuous ice making in a tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1236-1244.
273. Kim, H. J., Lee, T. J., Park, S. and Hwang, I., 2001, A Study on the Optimum Design for the Discharge Port of a R410A Rotary Compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1245-1254.
274. Park, E. C. and Cha, D., 2001, Stabilization of fuel flow in a multi-nozzle combustion system burning natural gas, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1255-1265.
275. Cho, N. C., Kim, D. C., Lee, C. M. and Yim, C. S., 2001, Melting of ice inside a horizontal cylinder under the volume change, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1266-1274.
276. Jung, D. and Choi, E., 2001, Convective heat transfer of a paraffin slurry in a drag reducing carrier fluid, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1275-1281.
277. Ji, M., Bae, K., Jeong, H., Chung, H., Chung, H. and Chu, M., 2001, Natural convection for air-layer between body skin and clothing with considering coefficient of permeability, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1282-1287.
278. Lee, W. and Kyong, N., 2001, Fault detection and diagnosis for an air-handling unit using artificial neural networks, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1288-1296.
279. Kim, W., Lee, J., Yeo, M., Seok, H. and

- Kim, K., 2001, An experimental study on the control methods of radiant floor heating systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1297-1305.
280. Youn, Y., Kim, Y. C. and Min, M. K., 2001, Simulation on performance characteristics of a tip-seal type scroll compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1306-1318.