

공기조화, 냉동 분야의 최근 연구 동향 — 1998년 및 1999년 학회지 논문에 대한 종합적 고찰 —

이 재 현[†], 김 광 우^{*}, 김 병 주^{**}, 이 재 효^{***}, 김 우 승^{****},
조 형 희^{*****}, 김 민 수^{*****}

한양대학교 기계공학부, ^{*}서울대학교 건축학과, ^{**}홍익대학교 기계공학과, ^{***}건국대학교 기계공학과,
^{****}한양대학교 기계공학부, ^{*****}연세대학교 기계공학과, ^{*****}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 1998 and 1999 —

Jae-Heon Lee, Kwang-Woo Kim^{*}, Byong Joo Kim^{**}, Jai-Hyo Lee^{***},
Woo-Seung Kim^{****}, Hyung Hee Cho^{*****}, Min Soo Kim^{*****}

Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

^{}Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

*^{**}Department of Mechanical Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea*

*^{***}Department of Mechanical Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea*

*^{****}Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Kyonggi-do, 425-791, Korea*

*^{*****}Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

*^{*****}School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

(Received October 31, 2000; revision received November 10, 2000)

ABSTRACT: A review on the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigerating Engineering in 1998 and 1999 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) A review of the recent studies on fluid flow, turbomachinery and pipe-network shows that many experimental investigations are conducted in applications of impingement jets. Researches on turbulent flows, pipe flows, pipe-networks are focused on analyses of practical systems and prediction of system performance. The results of noise reduction in the turbomachinery are also reported.

2) A review of the recent studies on heat transfer analysis and heat exchanger shows that there were many papers on the channel flow with the application to the design of heat exchanger in the heat transfer analysis. Various experimental and numerical papers on heat exchanger were also published, however, there were few papers available for the analysis of

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-2290-0425; fax: +82-2-2293-5169

E-mail address: jhlee@email.hanyang.ac.kr

- nology, 1997, Development of Energy Performance Evaluation Strategies in Office Buildings-Final Report, Ssangyong Engineering & Construction Co., Ltd.
8. Ssangyong Institute of Construction Technology, 1998, Development of Energy Management Methods in Office Buildings-Final Report, Ssangyong Engineering & Construction Co., Ltd.
9. Stephen, B., 1997, Regression Analysis for Savings Verification, ASHRAE Journal, Vol. 39, No. 10, pp. 57-63.

whole system including heat exchanger.

3) A review of the recent studies on heat pump system have focused on the multi-type system and the heat pump cycle to utilize treated sewage as the heat source. The defrosting and the frosting behaviors in the fin-tube heat exchanger is experimentally examined by several authors. Several papers on the ice storage cooling system are presented to show the dynamic simulation program and optimal operation conditions. The study on the micro heat pipes for the cooling of high power electronic components is carried out to examine the characteristics of heat and mass transfer processes. In addition to these, new type of separate thermosyphon is studied experimentally.

4) The recent studies on refrigeration/air conditioning system have focused on the system performance and efficiency for new alternative refrigerants. New systems operating with natural refrigerants are drawing lots of attention. In addition to these, evaporation and condensation heat transfer characteristics of traditional and new refrigerants are investigated for plain tubes and also for microfin tubes. Capillary tubes and orifice are main topics of research as expansion devices and studies on thermophysical properties of new refrigerants and refrigerant/oil mixtures are widely carried out.

5) A review of the recent studies on absorption cooling system shows that numerous experimental and analytical studies on the improvement of absorber performance have been presented. Dynamic analysis of compressor have been performed to understand its vibration characteristics. However research works on two-phase flow and heat transfer, which could be encountered in the refrigeration system and various phase-change heat exchanger, were seemed to be insufficient.

6) A review of recent studies on duct system shows that the methods for circuit analysis, and flow balancing have been presented. Researches on ventilation are focused on the measurement of ventilation efficiency, and variation of ventilation efficiency with ventilation methods by numerous experimental and numerical studies. Furthermore, many studies have been conducted in real building in order to estimate indoor thermal environments. Many research works to get some information for cooling tower design have been performed but are insufficient.

7) A review on the recent studies on architectural thermal environment and building mechanical systems design shows that thermal comfort analysis in sitting environment, thermal performance analysis of Korean traditional building structure, and evaluation of building environmental load have been performed. However research works to improve the performance of mechanical system design and construction technology were seemed to be insufficient.

Key words: Air conditioning(공기조화), Condensation(응축), Compressor(압축기), Refrigeration(냉동), Absorption cooling(흡수식 냉동), Heat exchanger(열교환기), Heat transfer analysis(열전달 해석), Heat pump(열펌프), Heat pipe(히트파이프), Thermophysical property(열물성), Turbomachinery(유체기계), Pipe-network(배관망), Impingement jet(충돌제트), Thermosyphon(써모사이폰), Ice storage system(빙축열시스템), Frosting(착상), Defrosting(제상), Evaporation(증발), Expansion device(팽창장치), Duct(덕트), Ventilation(환기), Cooling tower(냉각탑), Thermal environment(열환경), Mechanical system design(설비설계)

1. 서 론

본 논문의 목적은 설비공학 분야의 최신 연구 경향을 분석하고, 그 흐름을 평가하기 위한 것으로, 1998년부터 1999년까지의 최근 2년간에 공기 조화냉동공학회의 논문집에 발표된 논문들을 유사한 주제에 따라 몇 개의 큰 분야로 분류하였고, 각각의 분야에 대하여도 자세한 세분류로 나눈 다음 이에 대한 분석을 하였다. 학회에 발표된 논문들에 대한 연차적인 평가를 통한 연구 동향의 흐름 분석은 이번이 처음 시도되는 것으로, 앞으로는 매년 이러한 분석을 통해 앞으로의 연구 방향 설정에도 유익한 정보가 제공될 수 있도록 하여야겠다.

2. 유동현상, 유체기계, 배관 분야의 연구 동향

2.1 개 관

유동현상, 유체기계 및 배관에 관련된 발표논문은 충돌제트 응용에 관한 연구, 난류유동장 해석에 관한 연구, 관내 유동에 관한 연구, 배관망 및 분배관에 관한 연구, 유체기계에 관한 연구 등으로 구분된다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

2.2 충돌제트 응용에 관한 연구

충돌제트의 유동 및 열전달 특성을 고찰하기 위하여 다양한 연구가 수행되어졌다. 수행된 연구의 주요 인자로는 제트의 속도, 난류강도, 제트 분사 표면의 형상, 제트노즐의 형상 및 열경계조건 등의 영향을 고려하여 주로 실험적으로 연구가 이루어졌다.

충돌면의 형상 및 열경계조건에 관심을 둔 연구로는 2차원 충돌분류의 포텐셜 코어내에 위치하는 전열면 근방에 난류촉진체를 설치하였을 때의 열전달 특성 및 열전달 증진율을 고찰하여 절열면의 소형화의 가능성을 검토하고, 열전달 증진에 대한 원인 규명을 위하여 유동가시화를 수행하였다.⁽²⁰⁾ 충돌면의 형상효과를 고찰하기 위하여 액정과도현상기법(liquid crystal transient method)을 이용하여 오목/볼록 표면에 분사되는 경사충

돌제트에 의한 난류 열전달 특성을 해석하였으며, 주요 실험인자로는 충돌 표면 사이의 경사각, 제트의 속도, 거리에 따른 국소 열전달계수를 측정하였다.^(32,171)

또한, 선형적 온도구배를 갖는 가열판에 대한 원형충돌제트의 열전달 특성과 난류유동구조를 파악하기 위한 연구가 실험적으로 수행되어 레이놀즈수, 충돌거리, 벽면제트 방향거리, 온도구배 등의 변수가 유동장 및 국부 열전달계수의 분포에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.⁽¹⁷²⁾

액체 작동유체를 이용한 충돌제트에 대한 연구로는 회전 전열평판과 충돌수분류간의 강제대류에 대하여 노즐직경, 분류량, 분류위치, 전열면의 회전수의 변화에 따른 열전달 특성을 총류와 난류영역에 대하여 고찰하였다.⁽⁵¹⁾ 다중노즐 액체분사에 대한 연구로는 매끈한 면 및 핀형 형상의 확장 전열면에서 단일액상의 물을 사용하여 열전달 특성에 대하여 실험적으로 고찰되었다.⁽⁷⁴⁾

이론적인 해석으로서의 평면충돌 정체유동조건에서의 점성유체의 응고현상에 관한 연구가 있는데, 응고과정의 초기 단계와 최종 단계에 대한 해석적인 해를 구하였으며, 특히 유체의 유동이 응고현상에 미치는 영향에 대해 조사하였고, 응고가 일어나고 있을 때의 열전달 특성에 대하여도 고찰되었다.⁽²⁶⁾

2.3 난류유동장 해석에 관한 연구

난류유동해석에 관련된 연구는 해석 대상이 매우 다양하고 실용적인 응용방향으로 그 범위가 확대되고 있는 것이 그 특징이다. 주로 수치적인 방법을 이용한 연구결과가 다수 발표되고 있으며, LDV, 열선풍속계를 이용한 계측에 의한 실험적 연구결과 및 홀로그래피 간섭도모그래피를 이용한 가시화 방법도 소개되었다.

건물내에서의 유동현상을 고찰하기 위하여 기존의 난류 열유동장 해석기술을 적용하여 부력효과를 고려한 난류 열유동 해석용 코드를 개발하고, 이 코드를 사용해서 건물 계단통에서의 부력에 의한 난류 열유동장을 수치해석을 통하여 유동특성을 파악하였다.^(22,87) 최적 양식환경을 위한 수조식 양식장내의 유동특성에 관한 연구로 유동가시화 실험 및 수치해석을 수행하여 유입환수량 및 수조의 기하학적 형상에 따른 유동특성 변화

를 예측하기도 하였다.⁽¹¹⁾

3차원 굴절률장을 측정하는 홀로그래피 간섭도 모그래피(HIT)를 이용한 3차원 유동장 측정에 관한 연구⁽¹⁶¹⁾와 장방형유로의 밀면에 배열된 2차원 및 3차원 돌출 발열블록에 대하여 리브형 난류촉진제 삽입에 의한 열전달 촉진 및 압력강하 특성에 대하여 검토하고 압력손실을 고려한 전열성능평가⁽¹⁷³⁾가 수행되어졌다. 2상 유동에 대한 연구로는 가스분사장치에서의 2상 유동을 Eulerian 기법을 사용하여 수치해석을 수행하여 수송과정의 예측에 적용될 수 있는 신뢰성 높은 모델이 제시되었고 두 상간의 온도차가 현저한 경우에 대한 열전달 특성도 고찰되었다.⁽¹⁶⁹⁾

2.4 관내 유동에 관한 연구

관내 유동 해석에 관한 연구로는 차압식 벤트리온 유량계에 대하여 $k-\omega$ 난류모형과 유한해석법을 사용하여 복잡한 차압식 venturi-cone 주위의 유동장을 해석한 연구⁽⁷¹⁾와 변압기를 모델링한 두 개의 동심 원형 실린더내에서 난류 자연대류의 수치해석⁽⁹⁶⁾이 있으며, 원관내 난류저항 감소 현상의 수치해석에 점탄성(viscoelastic) 모델을 응용해 수정된 저레이놀즈수 $k-\epsilon$ 모델을 적용함으로써 비교적 적은 양의 저항감소에 정확한 예측결과를 얻을 수 있는 저항감소모델이 개발되었다.⁽¹⁵⁹⁾

또한, 외벽면에 사각돌출 거칠기가 있는 충분히 발달된 환형관에서 마찰계수, 속도변동성분의 자기상관계수, 파워스펙트럼밀도함수, 그리고 적분길이척도를 X형 열선풍속계를 사용하여 실험적으로 구하여 거친 동심환형관 유동의 물리적 현상을 규명하였다.⁽⁸⁰⁾ 보텍스 튜브의 노즐 홀수 변화에 따른 에너지 분리특성을 조사하여 최대냉각특성을 나타내 주는 노즐 홀수를 구하기 위한 연구도 이루어졌다.⁽¹⁵⁴⁾

2.5 배관망 및 분배관에 관한 연구

배관망 및 분배관에 대한 연구는 실제적인 시스템에 대한 해석 및 성능변수예측을 위하여 폭넓은 연구가 진행되었는데, 대형 배관망의 정상상태 유동 해석을 위한 비선형 연립방정식의 해를 반직접법(ILU-CGS 방법)을 사용하여 구함으로써, 해의 정확도 및 수렴성을 향상시킨 연구결

과⁽¹⁰⁹⁾가 발표되었다. 공동주택의 적정 급수량 및 급탕량을 예측하기 위하여 서울과 경기도 분당신도시 지역의 아파트 740세대를 대상으로 전용면적별 거주인원수, 설치된 위생기구수, 월별 급수 사용량 및 급탕 사용량을 조사 분석하여 전용면적에 따른 예상 급수·급탕량을 산정할 수 있는 모델을 제시하였으며,⁽¹⁶²⁾ 사무소 건물의 배관경산정시 사용되는 동시사용유량을 예측하는 데 있어서 절수형 세정밸브식 대변기의 설치시 이 기구의 기구급수 부하단위를 산정하고, 또한 동시사용유량을 산정하는 선도를 제시하였다.⁽¹³⁴⁾

분배관에 대한 실험적 연구로서는 경사분배관(tapered header)의 유체 유동이론을 정리하고 경사 기울기, 분지관의 수 및 바이-패스 유량에 따라 유동분포가 어떻게 변하는가를 LDV를 사용하여 실측하여 유동이론과 비교하여 상관관계를 규명한 연구결과가 발표되었다.⁽¹¹⁾

2.6 유체기계에 관한 연구

유체기계와 관련하여 유동소음을 저감하기 위한 연구결과가 발표되었는데, 이는 유체기계의 정속 운전에 대한 요구가 증가하기 때문이다. 다익 송풍기의 날개통과주파수(Blade Passing Frequency) 소음 저감을 설부(cut-off) 간격을 주요인자로 설정한 한 연구가 소음측정 및 스크롤 표면 압력 측정, 내부 유동 측정 및 압력 변동 측정을 통하여 이루어졌다.⁽⁹⁷⁾ 또한 에어컨용 직교류팬의 소음특성과 저감 방법에 대한 주파수 분리기법을 이용한 연구가 수행되어 소음발생과 연관되는 영역을 유추하고, 이 영역에 적절한 크기의 펜스를 설치하여 소음이 저감되는 것을 보였다.⁽¹⁷⁴⁾

압축기에 대한 연구는 반경류형 임펠러를 장착한 원심 압축기를 대상으로 열선프로브를 이용하여 임펠러 출구 유동에 대해 실험적 연구가 수행되었는데, 이를 통하여 임펠러 출구에서의 제트-후류 유동의 특성을 고찰하고, 압축기의 유량 변화에 따른 경향 및 난류강도 등을 분석하였다.⁽⁴⁹⁾

3. 열전달 해석, 열교환기 분야의 연구 동향

3.1 개 관

열전달 해석 및 열교환기 분야의 발표 논문들

살펴본 결과 열전달 해석 분야의 논문들은 과거와는 달리 몇 편을 제외하고는 열교환기 등 공조기와 관련된 연구를 수행한 수치 및 실험 논문들이 다수를 이루고 있으며 특히 열교환기에서 사용되는 관의 내부유동과 관련된 연구가 많이 수행되었고, 복합열전달에 대한 연구도 수행되었다. 한편 열교환기 관련 연구는 가정용 공조기의 응축기, 자동차 공조용 응축기에 대한 성능평가와 환-관 열교환기의 열전달 특성 및 제상특성에 대한 연구 등 다양한 분야에서 실험 및 해석과 관련된 연구들이 많이 발표되었다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

3.2 관내 유동

열교환기 표면이나 전자 장비의 설계 등에서 야기되는 돌출부를 갖는 채널 내의 열유동을 수치적으로 해석하였으며, 다구치법을 도입하여 직교배열표에 의한 각 변수들의 조합에 대한 수치계산을 수행하여 채널 내의 최적설계 조건이 제시되었다.⁽¹³⁾ 또한 나선형 튜브 열교환기와 같은 여러 종류의 산업 장비에서 발생하는 곡선 튜브에서의 강제대류 열전달 현상을 파악하기 위해 표면적을 증가시킨 corrugated-tube, spiral-tube를 이용하여 균일 열유속의 조건 하에서 물의 난류유동에 대한 열전달 현상을 규명한 연구가 수행되었다.⁽²⁸⁾

한편 관 내부를 가득 채우고 있는 고온의 다공물질에 갑자기 일정한 온도를 유지하는 찬 공기가 유입되어 다공물질을 냉각시키는 경우의 열응답 특성을 실험적으로 고찰하여 다공물질의 재질과 크기, 공기의 유량이 변화하였을 때 다공물질의 열전달 특성과 압력손실 특성에 미치는 영향을 규명한 연구도 있다.⁽⁵⁹⁾

열교환기에 사용되고 있는 마이크로 환 관과 환 외부의 환상유로에서의 대향류 열교환기 실험을 수행하였으며, 마이크로 환 관내의 단상유동 열전달계수 상관식을 구하였다.⁽⁴²⁾

이밖에도 마이크로 환 관내의 응축 및 증발 열전달에서 환 형상의 특징을 열전달 실험으로부터 나타내었으며, 열전달 특성과 압력강하 실험을 통해 열전달 촉진관의 성능 평가에 대한 연구도 이루어졌다.^(164,165)

3.3 복합 열전달

연소 시스템, 고온의 열교환기 등에서 발생되는 복사 열전달이 연계된 유동장에 대해 유한체적법을 정규 형상에 적용하여 매질의 광학 두께, 산란 알베도 등이 열 및 유동장에 미치는 영향을 수치적으로 예측한 연구가 수행되었다.⁽¹⁰⁾

한편 원형 실린더의 내부에 간접 가열 방식으로 일정 열유속을 공급할 경우에, 원형 실린더 주위에서 공기가 수직 방향으로 유동할 경우의 강제 대류 열전달 실험을 수행하여, 원주 방향의 전도 열전달이 국소 대류 열전달에 미치는 영향을 연구하기 위해 원관의 두께, 직경 등을 달리 하여 해석한 경우도 있다.^(44,52)

3.4 열전달 해석 관련 기타 연구

핵 용합로 제 1 벽의 냉각성능에 대한 수치적 연구를 수행하였으며, 제 1 벽 내 물리적-재료적 제한 조건 등을 고려한 제 1 벽의 기하학적, 열수력학적 인자들을 최적화한 연구가 수행되었다.⁽⁸²⁾

또한 알루미늄 발포 금속의 다공도와 기공의 크기 등 형상 변화가 유효 열전도도와 압력손실 특성에 미치는 영향을 실험을 통해 규명하여, 최대의 열전달 촉진 특성과 최소의 압력손실 특성을 갖는 알루미늄 발포 금속의 형상을 고찰하고 이에 대한 상관식을 제시한 연구도 수행되었다.⁽⁹⁹⁾

한편 냉각제들에 따른 불연속 발열체의 냉각성능에 대한 연구를 수행하였으며, 기존의 냉각방식과 파라핀 슬러리를 사용한 잠열 액체 냉각방식을 다칩 모듈 간접 액체 냉각방식에 적용하여 냉각특성의 비교를 통해 파라핀 슬러리를 사용한 액체 냉각방식의 냉각성능 향상을 조사하였다.⁽¹⁰³⁾ 또한 건물에서의 복사 열전달 문제를 해석하기 위한 형태계수 계산식을 제시한 연구가 수행되었으며,⁽¹⁵⁶⁾ 쌍곡선형 2단계모델을 이용하고 또한 전자의 온도분포에 따른 막에서의 반사율의 변화를 고려하여 막의 열적 반응을 해석한 연구도 이루어졌다.⁽¹³⁶⁾

이밖에도 층돌 분류의 열전달계수를 증가시키고 열전달계수의 균일도를 향상시키는 차원에서 다중 오리피스 노즐을 도입하여 이에 대한 열전달 특성을 실험적으로 규명하였으며,⁽¹⁵⁰⁾ 또한 연속 주조 공정에서의 EMBR의 수치해석을 통해 EMBR이

유동장의 변화, 자유표면의 온도 상승, 주형 상부 영역의 유동의 균일화, 노즐로부터 도출되는 유동의 분산효과를 예측한 연구도 수행되었다.⁽¹⁶³⁾

3.5 응축기

자동차용 응축기로 사용되고 있는 알루미늄 열교환기 등 가정용 공조기의 응축기로의 적용 가능성을 평가한 연구가 이루어졌으며,⁽⁵⁾ HFC-134a를 냉매로 사용하여 parallel flow type 응축기에 대한 열전달 현상을 해석적으로 고찰한 연구도 수행되었다.⁽³¹⁾

3.6 환-관 열교환기 실험

관이 엇갈리게 배열되어 있는 wave 및 wave-slit 환-관 열교환기에 대한 실험으로부터 공기측 열전달계수 및 압력강하를 측정하였으며 이에 대한 상관관계식을 제시하였으며,⁽⁵⁸⁾ 열교환기의 제상 성능 평가를 위하여 각 열교환기의 제상시 제상 종료 시간 및 제상 효율 등을 조사하였다.⁽⁹⁵⁾ 한편 환-관 열교환기에서의 각종 환 형상의 성능 특성에 관한 실험적 연구도 수행되었다.⁽¹³¹⁾

3.7 열교환기 해석

열교환기 해석과 관련된 연구는 시스템 전체에 대한 해석과 환 성능과 같이 국소적인 부분에 대한 해석이 주로 수행되었다.

자동차 에어컨 시스템의 각 구성요소인 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등에 대한 수학적 모델링을 통해 전체 자동차 에어컨 시스템을 해석할 수 있는 프로그램을 개발한 연구도 진행되었으며,⁽²³⁾ 덩플이 부착된 적층형 판 열교환기의 U-turn 부에서 발생하는 유동 결합영역이 생기는 문제를 해석하여 설계변수들을 변화시켜서 이에 따른 유체의 거동과 유동 결합영역 및 마찰계수의 변화를 해석하고 적절한 유동 조건을 제시하였다.⁽³⁵⁾ 한편 다통로 판형 열교환기에 대한 기존의 성능 선도에 의한 설계법의 문제점을 개선하고 보다 일반화된 설계법을 확립하기 위한 연구가 수행되었으며,⁽¹⁰⁶⁾ 밀집형 열교환기에 사용되는 평판 환 성능에 관한 수치적 연구를 수행하여 환의 기하학적 형상비, 환을 지나는 튜브의

개수, 배열형태 등을 변화시켜가며 환의 열전달 특성과 효율을 고찰하였다.⁽¹¹⁰⁾ 또한 지중 열교환기에 대한 기초 연구로 수직으로 매설된 이중 열교환기에 대해 연구를 수행하여 열교환기의 길이에 따른 냉각능력 및 채열능력 등을 검토하였으며,⁽¹¹⁵⁾ 고온의 강관 냉각용 삼중 열교환기에 대한 열해석을 수행하여 삼중 열교환기의 대류열전달계수를 구한 연구도 수행되었다.⁽¹⁴⁶⁾ 한편 관순법을 이용한 공조기 사이클 시뮬레이션을 통해 공조기를 설계할 수 있는 프로그램을 개발한 연구도 있다.⁽¹³³⁾

덩플형 돌출물이 있는 판형 열교환기의 관내 열유동을 3차원 층류유동의 해석을 통해 최적화를 수행하여 열유동 특성을 극대화시킬 수 있는 덩플의 중요 형상인자 값을 제안한 연구가 수행된 바 있다.⁽¹⁵⁵⁾ 또한 과도응답해석을 이용하여 열교환기의 성능을 평가하는 방법에 대한 연구도 수행되었다.⁽⁸⁸⁾

이밖에도 열교환기망과 열시스템과의 최적합성에 관한 연구도 수행되었으며,⁽¹⁶⁶⁾ 판형 환을 갖는 열교환기의 환 효율에 관한 수치해석적 연구를 수행하여 열교환기에서의 환 효율의 정의와 그 타당성을 검토하였고, 열교환기에서 순수 열전달 계수를 예측하기 위한 보다 타당한 모델을 제시한 연구도 있다.⁽¹⁷⁸⁾

3.8 열교환기 관련 기타 연구

열교환기 최적설계를 위한 기초 연구로서 유동 방향의 열전도가 전열면의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 유한차분법을 이용하여 매개변수 해석을 수행하였으며,⁽¹⁴⁰⁾ 열교환기의 성능 저하의 원인이 되는 열교환기 환 표면의 친수특성 저하에 대한 연구를 수행하기 위해 몇 가지 종류의 친수호일에 대하여 친수지속성, 내식성 및 내열성에 대한 특성을 실험적으로 고찰하고 최적의 친수코팅 방법을 제시한 연구도 수행되었다.⁽¹⁵⁸⁾

4. 열펌프, 히트파이프, 열역학사이클 해석, 상변화(ice, frost), 빙축열 분야의 연구 동향

4.1 개 관

열펌프 및 히트파이프 분야에 대한 연구와 빙

축열 분야에 대해 주로 실험을 위주로 한 연구와 몇 개의 이론적 연구가 발표되었다. 여기에 착상 현상 및 제상에 대한 연구가 실험을 위주로 연구가 진행되었다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

4.2 열펌프 성능 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구

열펌프에 대해서는 기존의 단일시스템과 단일 열원을 쓰는 시스템의 연구에서 멀티형 시스템에 관한 연구와 열원을 기존의 공기 대신에 폐수나 물 등을 사용하는 연구가 주로 진행되었다.

멀티형 시스템에 관한 연구는 열펌프의 동적부하에서 동적반응에 따른 액서지 분석을 수행하였다. 그리고 이것을 액서지-온도선도에 나타내어 액서지 값의 변화를 쉽게 알아 볼 수 있게 하였다.⁽¹⁶⁾

열펌프의 효율을 높이기 위한 연구로서 3단 응축 고온/고효율 열펌프 시스템의 성능을 컴퓨터 해석을 통하여 최적화한 연구가 수행되었다. 1단, 2단, 3단에 대한 전산프로그램을 개발하여 R11, R123, R141b을 냉매로 하여 각각에 대하여 성능을 비교하였다.⁽³⁰⁾

다양한 열원에 대한 연구로는 하수처리수를 이용하는 흡수식 열펌프의 시뮬레이션 연구가 진행되었다. 저온사이클에서는 2중효용형 병렬방식 또는 직렬방식을, 고온사이클에서는 1중효용사이클로 구성하여 전산 프로그램을 개발하였으며, 이것을 이용하여 성능을 조사하였다.⁽¹²⁴⁾ 외기의 온도가 어느 온도 이하가 되면 공기 대신 물을 쓰는 이중열원에 대한 성능해석이 시뮬레이션과 실험에 의하여 수행되었다. 이중열원을 이용할 수 있는 SUDS 증발기를 실외기 열교환기로 사용하고 SUDSk 응축기를 실내기 열교환기로 사용하여 열원을 물 또는 공기로 그리고 실내에 공급되는 열싱크로 물 또는 공기를 이용하는 프로그램을 개발하여 성능을 검토하였으며, 이것을 실험한 결과와 비교하였다.⁽¹²¹⁾

여기에 화학적 열수송으로 폐열을 이용하여 흡열반응을 진행시킨 후 이것을 수요처에 수송하고 이것에 발열반응을 진행시켜 열을 회수하는 화학 열펌프에서 작업유체의 하나로 메탄올이 사용되는데, 이때 메탄올의 분해/합성에 우수한 반응을

보이는 촉매를 연구하는 논문이 발표되었다.⁽³³⁾

4.3 히트파이프의 성능 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구

히트파이프에 관한 연구는 주로 극소형 크기에 대한 작동특성에 관한 것과 특이한 구조를 가진 히트파이프에서 열전달성능에 관하여 활발하게 진행되었다.

마이크로 히트파이프에 대한 연구로는 고발열 전자부품 냉각용으로 사용되는 써모사이폰을 제작하여 작동유체, 경사도, 내부에 와이어를 삽입 유무 등에 대하여 냉각특성을 실험하였다.⁽¹⁴⁾

또한 전자부품의 냉각에 사용되는 PFC 히트파이프의 열전달 한계를 튜브 직경, 충전율, 내부표면구조, 작동온도를 변수로 하여 실험한 연구가 수행되었다.⁽¹¹²⁾ 제작기술을 습득하기 위한 기초 연구로서 삼각단면을 가진 MHP의 작동특성에 관한 수치해석과 실험적 해석이 수행되었다.⁽⁹⁸⁾

열전달 성능을 증가시키기 위하여 내부에 물체를 삽입한 연구도 수행되었다. 수평회전 히트파이프에서 내부에 헬리컬코일을 삽입한 후의 유동형태와 열전달에 미치는 영향을 연구하였다.⁽⁷⁶⁾

헬리컬코일 대신 특별한 형상의 그루브를 갖도록 가공된 알루미늄관에 스크린 메쉬를 삽입한 형태의 조합형 워를 사용한 저온용 히트 파이프에 대한 성능실험도 수행되었다.⁽¹⁰⁴⁾

특이한 구조로서 증발기와 응축기를 분리한 분리형 2상 밀폐 써모사이폰에 대해서 열유속, 작동유체 총액량, 증발부와 응축부의 설치높이차 및 냉각수 온도를 변화시키면서 실험으로 열전달 특성을 연구하였다.⁽³⁾

작동유체로 증류수와 CFC-30을 사용하는 2상 밀폐 써모사이폰을 낮은 핀관으로 제작하여 경사각과 작동온도에 대하여 열플럭스와 총열전달계수의 변화를 조사하였다.⁽¹⁷⁾

4.4 빙축열에 관한 연구

빙축열에 관한 연구는 축냉재에 대한 기초연구와 시스템에 대한 운전 특성 등에 관한 연구로 집중되었다.

기초연구로서 잠열미립자를 축열재 및 열수송 물질로 이용할 수 있는지를 보는 가능성 실험으

로 잠열슬러리의 물성 중 점성 및 수송시 야기되는 유체역학적인 특성을 이해하기 위한 연구가 수행되었다.⁽¹³⁹⁾ 또 다른 연구로서 축냉제로서 사용되는 TMA-물계 포접화합물의 농도와 냉열원 온도 및 충전량의 변화에 따른 상변화온도, 비열 및 충전량의 변화에 따른 상변화온도, 비열 및 과냉 특성을 실험을 통하여 조사한 것이 수행되었다.⁽¹⁰¹⁾ 열전달면적을 증가시키기 위해서 진공챔버 내에서 물을 분무하여 얼음입자를 제조하는 실험이 수행되었다. 노즐의 위치, 노즐의 수 및 노즐분사율 등에 의한 영향을 조사하였으며, 단일액적에서 주변으로의 확산에 의한 증발모델의 결과가 실험과 비교적 잘 일치함을 보여주고 있다.⁽⁴⁸⁾

시스템에 대한 연구로는 빙축열 시스템에서 최대축열량이 얼마나 되는지를 예측하는 시뮬레이션을 연구하였다. 냉동기 크기의 영향과 충전작동에 대하여 조사하였다.⁽⁹⁴⁾ 성능실험에 근거하여 냉동기와 빙축열조의 열적 특성을 고려하여 관외 방착형 빙축열시스템의 운전 시뮬레이션을 개발하였으며, 이것을 실험결과와 비교하여 시뮬레이션의 정확성을 검증하고, 이것을 이용하여 4가지 기존의 운전방식에 따라 각각 최적설계를 수행하여, 축열조와 냉동기의 최소용량을 구하는 연구를 수행하였다.⁽¹²²⁾ 빙축열 시스템과 저온공조시스템을 비교하는 연구도 수행되었다. 기존의 빙축열 냉방시스템의 일부를 개조하여 저온 공조시스템으로 재설계하여 시공한 후, 실험으로 양 시스템을 비교하였다.⁽¹¹¹⁾

빙축열의 동적해석으로 각 구성요소에 대해 효과적인 동적모델을 개발한 후 이를 사용하는 시뮬레이션을 개발하였다. 전체시스템을 결빙시 냉동기 출구온도 제어시스템, 해빙시 빙축조측 삼방밸브 제어시스템으로 구분하고 각각의 제어알고리즘으로 비례적분 제어알고리즘으로 가정하였으며 개발된 시뮬레이션을 통해 각 제어알고리즘에 필요한 적절한 개인을 선택하였다. 이 시뮬레이션을 수행하여 빙축열냉방시스템의 동적현상을 구체적으로 분석하는 연구를 수행하였다.⁽¹⁶⁸⁾

4.5 착상, 제상, 상변화 현상에 관한 연구

열교환기 튜브외부에 생기는 서리는 열전달 현상에 많은 영향을 준다. 또한 이 분야에 대한 연구가 근래부터 활발하게 진행되고 있다. 여기서

도 분야에 대한 연구가 다른 분야보다 많이 발표되었다. 그러나 아직까지 기초적인 연구로 서리의 생성거동에 대한 연구와 제상에 대한 연구가 진행되고 있다.

먼저 서리가 생성되는 분야를 연구한 논문을 살펴보면 평판형코일의 최적 제상을 위한 기초 연구로서 층류유동, 공기 노점온도가 0°C 이하의 조건에서 단면냉각 평행평판 유동의 경우의 냉각판 위치, 냉각판의 온도, 습도, 공기온도에 대해서 서리 성장 특성을 연구하였다.⁽¹²⁶⁾ 기존의 실험과 수치결과들이 고습일 경우에 대해서 제시된 것에 비하여 공기의 습도조건이 빙점 이하의 이슬점을 갖는 경우에 대하여 연구가 진행되었다. 직교유동내에 놓인 수평실린더에서 공기의 온도와 습도가 서리층의 두께와 유효전도율, 유효 열저항값에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.⁽¹²⁷⁾

환-관 열교환기의 표면특성을 친수성처리한 것과 무처리한 것과의 다양한 조건에서 착상거동을 실험으로 조사하였다.^(119,64)

제상연구로는 기초연구로 눈 용해과정을 해석하였다. 열용량의 효과와 다공성 영향의 감소를 고려한 개선된 1차원 모델을 개발하여 초기 눈의 온도, 초기 눈의 밀도, 눈의 용해에 관한 열유속 등의 영향을 연구하였다.⁽⁸⁴⁾ 원관내에 밸브 또는 노즐이 부착되면 이 부분이 협착유로가 되고, 결빙이 이 부분에 수반될 때는 급격한 압력강하나 유로가 막히게 될 수가 있어 안전에 관련되어 이 부분의 해석이 매우 중요하다. 이런 점을 해석하는 연구로 협착관내의 물의 결빙현상을 정상상태 층류유동인 경우에 대하여 수치해석 하였는데, 협착부의 높이, 길이의 변화와 유동강도의 변화, 관벽면 및 유입온도가 결빙층에 미치는 영향을 비교하였다.⁽²⁾ 실제 열교환기에서의 제상 거동에 대해서는 무처리, 친수성 그리고 발수성으로 각각 처리된 열교환기 표면에 따라 환-관 열교환기의 제상거동이 어떤 영향을 받는지를 실험하여 제상시 시험부 내의 온도 분포와 용해수 배출가동을 조사하였다.⁽¹⁸⁰⁾

상변화에 대한 연구로는 2상영역이 존재하는 상변화물질이 원통형 몰드내에서 응고시의 상변화문제를 엔탈피법을 이용하여 비교적 용이하게 수치해석 하였으며, 이를 온도수식법을 이용한 기존의 연구결과와 비교하였다. 온도분포와 고상, 액상 경계면의 이동속도 및 총 응고에 소요되는

시간에 미치는 영향을 미치는 주요 변수를 구하고자 물드 외벽에서의 열전달계수 및 열전도계수의 효과를 조사하였다.⁽¹⁷⁶⁾

5. 냉동시스템, 증발/응축, 팽창장치 분야의 연구 동향

5.1 개 관

냉동 시스템 및 증발/응축 분야의 연구 동향은 냉동/냉방 시스템의 성능 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구, 증발 및 비등열전달에 관한 연구, 응축에 관한 연구, 팽창장치에 관한 연구 및 냉매의 열물성에 관한 연구로 구분된다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

5.2 냉동/냉방 시스템 성능 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구

냉동/냉방 시스템에 관한 연구는 대체냉매를 사용한 시스템의 성능 평가에 초점을 맞추어 성능 실험 및 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 주로 R22 및 R502 대체냉매를 대상으로 하였으며, 새로운 혼합 냉매에 대한 연구도 일부 수행되었다. 또한 에어컨 이외의 새로운 시스템에 관한 연구도 진행되었다.

기존의 냉동시스템에서 R22에 대한 대체냉매들을 대상으로 시스템의 성능계수 및 냉동능력을 측정하였으며,^(29,137) R502의 대체냉매인 R407A와 R404A, R507을 냉동기에 적용한 경우의 성능 및 열전달에 관한 연구가 진행된 바 있다.⁽¹⁴⁷⁾ 공조 시스템에 대해서도 실내 열교환기, 실내 팬 또는 팽창기구와 같은 구성부품이 변경된 혼합 공조 시스템에서 에너지 이용효율에 대한 연구도 이루어졌다.⁽¹³⁸⁾

새로운 냉동/냉방 시스템에 대한 연구가 수행되기도 하였는데, 이산화탄소와 R134a의 혼합냉매를 대상으로 오토캐스케이드 냉동사이클을 구성하여 시스템의 성능변화를 고찰한 바 있다.⁽¹⁷⁵⁾ 또한 인버터를 사용하는 냉동시스템에서 팽창장치로 모세관, 온도조절팽창밸브, 전자팽창밸브를 사용하였을 경우의 성능변화를 고찰한 연구도 있다.⁽¹⁸¹⁾ 맥동관 냉동기에서의 엔탈피 이동에 관한 연구를 수행한 연구도 있다.⁽¹⁹⁾

실제로 응용되는 시스템과 관련된 연구로서는 자동차용 에어컨 시스템의 성능을 시뮬레이션한 것이 있으며, 실험을 통하여 자동차용 에어컨에서 사용되는 적층형 증발기와 평행류형 응축기의 성능해석을 수행한 연구가 있다.⁽²¹⁾ 가정용 냉장고에 대해서는 대체냉매 R134a와 R600a를 사용한 사이클 시뮬레이션을 수행하고 실험을 통하여 타당성을 입증한 바 있다.⁽⁷⁵⁾ 또한 활어 수송을 위한 새로운 개념의 방법으로서 저온 컨테이너를 이용하는 방법이 제시되었으며, 저온 컨테이너의 온도를 변화시켜 가면서 활어의 생존기간과 암모니아 화합물의 농도 변화를 측정하여 최적의 컨테이너 유지 및 운전의 기초자료를 제시한 연구도 있다.⁽³⁴⁾

액체 질소 예냉식 Linde-Hampson 사이클을 이용하여 Joule-Thomson 냉동기의 냉각특성과 냉동능력을 측정하여 다른 냉동방식과 비교하기 위한 연구가 수행되었으며,⁽¹²⁸⁾ Roubuck 냉각 장치의 기본 원리를 이용하여 다단계 회전형 헬륨 재응축 장치를 설계하여 시제품 제작에 관하여 고찰하는 등⁽¹²⁹⁾ 저온 냉동 시스템에 관한 연구도 상당히 이루어졌다.

이밖에도 스크롤 압축기를 사용한 냉동기의 성능향상을 위한 부분개조와 그 영향에 대해 분석한 연구가 있고,⁽⁸⁵⁾ 전자장치와 같이 열원이 존재하는 채널 안에서 냉각효과를 증대시키기 위해 채널 하부에 별도의 채널을 부착하는 간접냉각유로방식을 사용한 시스템에 대한 수치해석을 실시한 바 있다.⁽¹¹³⁾

5.3 증발 및 비등 열전달에 관한 연구

증발 열전달에 관한 연구에서는 관의 형상, 오일의 함유량, 대체 냉매의 특성이 열전달에 미치는 영향을 주로 취급하였다. 마이크로 핀관에 대한 연구가 많아진 것이 특징이며, 냉매와 오일 혼합물에 대한 연구가 활발해졌다.

R22에 대해서 평활관과 마이크로 핀관에 대한 실험을 통하여 이들의 열전달 계수와 압력강하 특성을 비교한 연구가 있으며,⁽¹⁰²⁾ 해수를 담수화하는 장치의 증발기에서 낮은 핀이 가공된 원관의 증발 성능에 관한 실험도 수행된 바 있다.⁽⁶⁷⁾ 또한 오일이 함유되었을 경우의 증발 열전달 특성에 대한 실험도 활발하게 연구되고 있다. R407C에 POE 오일이 함유되었을 경우 마이크로 핀관

에서의 증발 열전달 특성에 대하여 실험적으로 연구하였으며,⁽⁸⁶⁾ 유턴 흐름을 갖는 차량 공조형 플레이트형 증발기에서 R134a와 POE 오일이 혼합되었을 경우 증발기의 전열특성에 대한 실험을 수행하였다.⁽¹³⁰⁾

강제대류 비등 열전달에 관해서는 물을 작동유체로 하여 원관에 직교하는 유동조건에서 열전달 특성이 연구한 바 있으며,⁽⁵⁵⁾ R407C를 대상으로 하여 실험을 수행하고 기존의 상관식과 비교하여 그 결과를 제시한 연구도 있다.⁽¹⁷⁹⁾

플비등 열전달과 관련된 연구에서는 관의 형상에 따른 특성 변화를 고찰하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대체 냉매를 대상으로 하여 낮은 핀관에 대한 플비등 열전달 계수가 측정된 바 있으며,⁽⁴¹⁾ 터보 냉동기용 증발기의 전열촉진관인 성형가공관의 플비등 성능에 대한 평가도 이루어졌다.⁽¹⁶⁷⁾

5.4 응축 열전달에 관한 연구

응축 열전달에 관한 연구는 새로운 대체 냉매를 사용한 실험적인 연구가 대부분이며, 실험조건과 관의 형상을 변화시키면서 응축 열전달 특성 변화를 고찰하고 기존의 상관식과 비교하는 연구에 집중되어 있다.

현재 널리 사용되고 있는 냉매인 R22에 대하여 응축관의 직경이 7 mm와 4.5 mm인 경우에 대한 실험적 연구가 이루어졌으며, 소구경관에 적용할 수 있는 새로운 상관식이 제시되었다.⁽²⁷⁾ 대체냉매인 R407C와 R410A에 대한 응축 열전달 실험이 수행되었으며 Shah의 식을 기초로 한 응축 열전달 상관식을 제시하였다.⁽¹⁴⁸⁾ 응축관의 형상을 평관, 낮은 핀관, Turbo-C 촉진관으로 바꾸어 가면서 R11, R12 및 이들의 대체 냉매인 R123, R134a에 대하여 응축열전달 계수를 측정하고 비교한 바 있다.⁽⁵⁶⁾ 수평관 내의 응축열전달 계수를 수치해석적으로 예측한 연구도 수행되었다. 이 연구에서는 압력강하가 열전달에 미치는 영향을 고려하여 실험값과의 오차를 줄이는 모델을 제시하고 있다.⁽⁷³⁾

5.5 팽창장치에 관한 연구

팽창장치에 대한 연구는 주로 모세관과 오리피

스를 대상으로 수행되고 있다. 기존 냉매 및 대체 냉매에 대한 특성을 알아보는 것이 대부분이며 실험과 수치적 연구가 병행되고 있다.

R407C와 R290에 대해 모세관 형상을 변화시키면서 성능 특성을 실험적으로 고찰한 연구가 진행된 바 있다.^(6,132) 오리피스에 대해서는 유동 중간에 두 개의 바이패스 구멍을 가지는 바이패스형 오리피스를 설계하여 오리피스 형상 및 운전조건 변화에 따른 성능특성을 고찰하였다.⁽¹²⁾ 또한 오리피스와 모세관을 수치해석 및 실험을 통해 성능을 연구, 비교하였으며 냉매 유량변화에 따른 특성을 고찰하기도 하였다.⁽⁶⁾

5.6 냉매의 물성치에 관한 연구

냉매의 물성치에 대한 연구는 꾸준히 계속되고 있으며 혼합냉매의 기액 상평형, 오일 농도 측정 방법, 물성치 예측 방법 개발 등에 관한 연구가 대부분이다.

기액 상평형에 관한 연구는 대체 냉매의 개발에 따라 다양한 냉매에 대해 진행되고 있다. 최근에는 R125/134a, R32/R134a, R143a/R134a의 혼합냉매에 대한 기액 상평형 실험이 수행되었다.^(24,89)

냉동기에 사용되는 냉매에 함유되어 있는 오일의 농도를 측정하기 위한 연구도 활발하다. 밀도계를 사용하여 비추출 방식으로 냉동장치 내에 순환하는 오일의 양을 실험적으로 측정하여 오일의 농도를 예측할 수 있는 상관식을 제시하였다.⁽⁸³⁾ 또한 R407C와 R410A를 사용하는 냉동시스템에서의 POE 오일이 혼합되어 사용될 때의 오일농도를 실험적으로 측정하여 이를 예측할 수 있는 비중-농도-온도의 상관식을 제시하기도 하였다.⁽¹²⁰⁾ 이와 더불어 R134a과 PAG 오일의 혼합물에 대한 용해도 및 상용성과 관련된 기초 자료를 제시하기 위한 실험을 수행한 바 있다.⁽¹³⁵⁾

물성치를 계산하기 위한 상관식의 개발과 관련된 연구도 진행되었다. 냉매의 상태식이 존재하지 않는 경우 집단기여법을 사용하여 냉매의 특성인자를 예측하였으며, 이를 이용하여 냉매의 물성치를 계산한 연구도 있다.⁽⁹³⁾ 순수냉매의 증발엔탈피에 대한 기존의 상관식을 변형하여 보다 간단하고 정확한 새로운 상관식을 얻은 바 있으며,⁽⁴⁵⁾ 냉매의 포화증기밀도에 대해 무차원화된

밀도의 로그함수를 무차원화된 온도의 역급수로 나타내어 새로운 형태의 상태방정식의 유형을 제시하였다.⁽⁵⁴⁾

이밖에도 열확산계수를 레이저 섬광법에 의해 측정하는 경우, 실시간 온도보정이 적외검출소자에 미치는 영향을 고려하여 열확산계수 측정의 정밀도를 향상시키기 위한 연구도 수행되었다.⁽⁷⁹⁾

6. 압축기, 흡수식 냉동, 2상 유동 분야의 연구 동향

6.1 개 관

흡수식 냉동과 압축기 분야에 많은 이론 및 실험적 논문이 발표되었다. 흡수식 냉동의 경우 시스템의 성능 향상을 위한 요소기술의 개발에 대하여, 그리고 압축기의 경우 대체냉매의 적용을 위한 압축기의 개발을 위한 연구가 주종을 이루었다. 그러나 2상유동 분야에 관련된 논문은 그 수가 극히 제한되어 있다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

6.2 흡수식 시스템 및 열 및 물질전달 기구에 관한 연구

현재 중대형 시스템으로 제작되어 운전되고 있는 물-리튬브로마이드 흡수식 냉동기에 대하여 성능 향상이나 소형 공냉화를 위한 많은 연구가 수행되었다. 공냉화를 위하여 수용액의 높은 온도에서도 흡수율이 우수하고 상대적으로 결정화 온도가 높은 신 용액에 대한 연구가 계속되고 있다. 용해도 상승효과 및 흡수능력이 우수한 것으로 확인된 물과 LiBr+CaCl₂의 3성분계 작동매체의 용해도와 증기압의 실험적 측정을 통하여 듀링선도와 엔탈피-농도 선도가 작성되었다.⁽⁶⁶⁾ 3성분계의 용액은 공냉형 흡수식 냉동기의 새로운 작동매체로 개발 가능성이 있음이 확인되었다.

흡수식 시스템에서 성능과 냉동용량에 가장 큰 영향을 미치는 흡수기의 성능향상을 위한 실험적 연구가 다양하게 수행되었다. 수직관식 흡수기의 경우 리튬브로마이드 수용액의 온도, 수용액의 액막 레이놀즈수, 그리고 냉각수의 온도가 흡수특성에 미치는 영향이 실험을 통하여 체계적으로 연구되었다.⁽¹⁷⁰⁾ 과열 수용액의 경우 흡수율이 급

격히 감소하였으며 낮은 액막 레이놀즈수의 경우 유하액막의 형성이 불완전하여 흡수특성은 낮은 것으로 제시되었다. 공냉형 수직관식 흡수기에서 계면활성제의 효과를 파악하기 위하여 관내면의 형상을 변화시킨 흡수 촉진관에 대한 실험적 연구가 수행되었으며 계면활성제가 첨가될 경우 열전달률은 30~50% 정도 증가한다는 결론이 제시되었다.⁽¹⁶⁰⁾ 리튬브로마이드 수용액을 이용하는 수평관식 흡수기에서 기존의 평활관의 젖음 특성을 향상하기 위하여 프로릴관과 낮은 원관을 채택한 경우에 대한 실험적 연구가 수행되었으며 40%에서 60% 정도의 열 및 물질전달 특성의 향상이 확인되었다.⁽⁵⁷⁾ 가정용의 소형 흡수식 냉난방기의 개발을 위하여 제안된 나선형 흡수기에 대한 열 및 물질교환 실험이 수행되었으며 동일한 수용액 유량에서 수평 전열관군 흡수기의 경우와 유사한 열 및 물질전달 특성이 확인되었다.⁽¹⁴¹⁾ 장방형 수평원관 흡수기에 대한 리튬브로마이드 수용액막의 흡수과정에서 용액유량과 흡수기 압력의 영향이 실험적으로 연구되었으며 발생된 냉매를 충분히 흡수하기 위하여 흡수액의 순환유량은 설계값의 3배 이상이 되어야 함이 밝혀졌다.⁽¹¹⁴⁾

흡수과정에 대한 비흡수가스의 영향이 수치적으로 해석되었다.⁽⁴⁶⁾ 완전히 발달한 층류 유동을 가정하여 각 상에 대한 물질전달 및 에너지 보존을 통하여 냉매증기의 질량유량, 냉매증기에 포함된 비흡수가스 농도의 영향, 그리고 수용액의 질량유량이 흡수율에 미치는 영향이 해석되었다. 수직판이나 수직원관식 흡수기의 경우 리튬브로마이드 수용액막은 매끄러운 액막보다는 그 표면에 파동이 형성되는 파동액막으로 흘러내린다. 파동에 의한 물질전달 표면적의 증가 및 내부 혼합효과를 이론적으로 해석하였으며 40% 이상의 열 및 물질전달 특성의 증가가 보고되었다.⁽⁴³⁾ 유하액막의 형성도를 증가시키고 수용액막의 내부 혼합을 증가시키기 위하여 스프링이나 철망과 같은 삽입기수가 수직관에 설치되었을 경우 낮은 액막 레이놀즈수에서도 높은 열 및 물질전달이 가능하다는 것이 실험적으로 확인되었다.⁽⁴⁷⁾

기존의 상용 흡수식 열펌프 중 수요가 많은 150RT급 시스템의 고온재생기에 대한 실규모 실험을 통하여 재생기의 부위별 흡열 비율, 증기 발생량 및 용액 가열량, 농도분포, 온도 분포 및

총합열전달계수에 대한 실험적 연구가 수행되었다.⁽¹¹⁸⁾ 물-리튬브로마이드 흡수식 냉동기의 성능을 크게 향상시킬 수 있는 삼중효용 시스템에 대한 시뮬레이션이 수행되어 고온재생기의 가스 공급량이나 전열면적이 감소하면 냉방용량이 크게 감소하나 성능계수는 도리어 증가하는 경향이 해석되었다.⁽⁸⁾ 냉각수 온도의 증가에 따라 냉방용량과 성능계수가 크게 감소하였다.

태양열을 이용하는 흡수식 시스템의 동특성에 대한 수치적 연구가 수행되었다.⁽⁷⁸⁾ 물-리튬브로마이드 흡수식 시스템의 과도기적 특성을 일사조건과 외기온도가 변화하는 조건하에서 해석하였으며 온수의 유량제어와 보조가열기를 사용할 경우 실내온도를 일정하게 유지할 수 있을 뿐만 아니라 축열조내의 온수의 온도를 높게 유지할 수 있음이 확인되었다.

물-리튬브로마이드 흡수식 시스템에 비하여 상대적으로 그 구성은 복잡하나 소형, 공냉화가 유리한 암모니아-물 흡수식 냉동기의 핵심 요소에 대한 이론적 연구가 수행되었다. 암모니아-물 흡수식 시스템의 경우 발생기에서 생산되는 냉매증기 중 물의 농도를 저감하기 위하여 발생기와 정류기를 조합하여 정류기를 소형화하고 GAX 가열기의 온도중첩시 발생하는 열의 이용을 위하여 용액 주입구의 위치와 GAX 가열기의 적정 위치 등에 대한 이론적 연구가 수행되었다.⁽¹²⁵⁾ 발생기의 압력이 높을수록 정류 단수가 증가하며 정류 응축기의 온도차가 증가하면 환류비가 증가하면서 성능계수가 증가하나 한계 온도차 이상에서는 주입열량이 증가하여 성능계수가 감소한다는 것이 밝혀졌다. 암모니아-물 흡수식 시스템에서 단열정류기의 성능에 대한 이론적 해석을 통하여 대부분의 분류과정이 수용액의 입구영역에서 발생하므로 단열정류기의 길이는 적절히 선택되어야 하고 정류효율은 혼합증기보다 수용액막의 전달특성에 크게 지배된다는 결론이 또한 도출되었다.⁽¹²³⁾

6.3 2상유동에 관한 연구

고분자 수용액과 공기의 2상유동에서 압력강하 및 국부 보이드율 분포에 대한 실험적 연구가 수행되었다.⁽⁴⁰⁾ 고분자 수용액의 농도가 증가함에 따라 인접한 기포들의 활발한 합체로 기포는 관

의 중심 쪽으로 유동하는 특성이 강화되어 유동 양식의 천이가 유도되었다. 또한 고분자수용액의 농도가 증가할수록 기계적 퇴화가 적으며 높은 마찰저항 감소율을 유지함을 규명하였다. 수평 T형 증발관내 2상유동의 유량 분배 및 압력강하 특성에 대한 실험적 연구로부터 모관과 출구관 사이의 분지에서는 압력상승, 모관과 분지관 사이의 분지관에서는 압력강하가 발생하며 분리유동 모델에 의한 예측치는 균질유동 모델의 경우보다 실험적 결과와 잘 일치한다는 결론을 얻었다.⁽¹⁵¹⁾ 냉매증기의 질량 유량비는 질량유속보다 입구 건도의 영향에 지배되며 이는 기상의 평균 운동량이 증가하기 때문인 것으로 밝혀졌다. 2중관 오리피스를 이용한 차압 기구식 유량계의 개발하고 이를 이용하여 기액 2상유동에서 각 상의 유량을 측정하는 기법이 제시되었다.⁽⁶¹⁾ 2중관 오리피스에서 상류영역과 하류영역에서의 각 차압들에 대한 보정 실험을 통하여 송출계수를 정의하였다.

6.4 압축기에 관한 연구

기존의 왕복동 압축기에 여러 순수 및 혼합냉매를 적용하여 성능시험을 수치적으로 수행한 연구가 제시되었다.⁽¹⁰⁸⁾ 혼합냉매의 경우 혼합 비율을 변경한 결과 R290의 몰비율이 증가할수록 토출 과정의 냉매온도와 작동압력이 높아져 압축기의 신뢰도는 낮아지지만 체적효율과 단열효율은 향상됨이 확인되었다. 저온용 밀폐형 왕복동형 압축기에 탄화수소계 냉매를 적용하여 성능평가 실험을 수행한 경우도 있다.⁽⁶⁸⁾ ASHRAE LBP 조건에서 R12 대비 열량 측정의 실험결과 R600a의 경우 냉동능력은 43% 정도 저하하나 성능계수는 22% 정도 개선되었다. 신뢰성 실험의 결과 R12 대비 탄화수소계 냉매의 신뢰성은 우수한 것으로 확인되었다. 그러나 OS-21CII의 경우 인화성 개선을 위하여 혼합된 첨가제가 미치는 영향은 미미하였다. 고온용 밀폐형 왕복동 압축기에 탄화수소계 냉매를 적용하여 성능 및 신뢰성 실험을 수행하였다.⁽¹⁰⁷⁾ 고온용 표준 조건에서 열량 측정 실험결과 HC-Blend는 R12에 비하여 냉동능력은 동등 수준이나 성능계수는 약간 우수한 것으로 나타났다. R12 대비 탄화수소계 혼합냉매의 신뢰성은 우수한 것으로 확인되었으며 OS-12a 냉매

의 경우 인화성 개선을 위하여 혼합된 첨가제의 영향은 무시할 수 있을 정도로 작았다.

인버터형 열펌프를 이용하여 회전 피스틴형 로타리 압축기의 최고속도와 최저속도를 변화시켜 정상운전 조건과 단속운전 조건의 성능실험을 수행하고 압축기 속도가변화가 계절성능에 미치는 영향이 해석되었다.⁽¹⁸⁾ 서울과 대구의 외기 자료를 사용하여 계절성능을 파악하였으며 압축기의 최저속도를 낮출 경우 계절 성능계수가 크게 증가함을 확인하였다. 그러나 압축기 최고속도의 경우 속도의 변화에 관계없이 계절 성능계수는 일정하였다. 낮은 증발온도에서 작동되는 가변속 롤러형 베인 압축기의 성능 특성을 파악하기 위한 실험적 연구가 수행되었다.⁽¹⁰⁰⁾ 최적 사이클의 구현시 유량 및 소비입력은 모든 실외온도에서 동일하게 회전수의 증가에 따라 직선적으로 증가하였고 동일 회전수에서는 실외온도의 저하에 따라 감소하는 경향을 보였다.

반경방향 순응기구를 갖는 스크롤 압축기의 동적 해석을 통하여 압축기 본체에 작용하는 힘과 모멘트, 크랭크 축의 각속도와 각가속도의 변화 그리고 베어링 하중을 구하였다.⁽⁴⁾ 압축기 본체에 작용하는 힘은 주로 편심 운동하는 운동부재의 원심력에 기인하며 크랭크축의 관성모멘트가 압축기에 작용하는 축 방향 모멘트의 지배 인자임을 밝혔다. 스크롤 압축기의 성능향상과 진동·소음특성 개선을 위하여 선회 스크롤의 질량 편심에 대한 영향을 해석하기 위하여 스크롤 압축기의 각 운동 부재 및 본체에 대한 역학적 모델링으로 운동방정식을 유도하고 수치해석의 결과를 실험적 결과와 비교·분석하였다.⁽¹⁴⁵⁾ 질량 편심의 경우 경관을 절삭하여 밸런싱하는 경우가 가장 우수한 것을 수치적 해석과 실험을 통하여 확인하고 압축기의 설계시 각 부재의 마모 감소 및 진동 특성의 개선을 위한 방향을 제시하였다. 두 개의 부재가 동시에 선회하는 동시 선회 스크롤 압축기에 대한 이론적 성능해석을 통하여 랩 간 반경방향 접촉력에 운동 부재들의 원심력이 작용하지 않으므로 가변속 운전이나 대용량에 적용하기에 유리하다는 것을 확인하였다.⁽¹⁵⁷⁾ 자유 부재가 선회 운동하는 등의 구조적인 차이로 인하여 기계적 손실의 증가를 피할 수는 없으나 실제 마찰 손실 증가분에서 상당 부분이 마찰 부위에서 발생하므로 선회 반경을 줄여 주는 등의 적

정 설계를 통하여 손실 증가분을 충분히 낮추어 줄 수 있다.

7. 덕트, 환기, 냉각탑 분야의 연구 동향

7.1 개 관

덕트, 환기 및 냉각탑 분야에서는 덕트시스템 해석기법에 관한연구, 환기효율에 관한 연구 및 공조시스템의 적용성 평가에 관한 연구, 그리고 냉각탑 설계에 필요한 기초자료확보를 위한 연구가 수행된 것으로 분석되었다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

7.2 덕트 분야에 관한 연구

덕트 분야에 관한 연구에는 실험 및 수치해석을 통하여 덕트시스템에 해석기법에 관한 연구와 덕트 시공 후 이루어지는 풍량밸런싱 방법에 관한 연구가 수행되어졌다.

VAV 공조방식에서 많이 채택되고 있는 환상식 덕트시스템을 해석하기 위하여 단순T-method 방법을 개선한 확장 T-method 방법을 제안한 연구가 수행되었으며,⁽³⁹⁾ 덕트시스템 해석에 일반적으로 사용되는 1차원 방법의 적합성을 평가하기 위한 연구도 수행된 바 있다.⁽¹⁴²⁾

취출구에서의 풍량밸런싱 방법에 관하여서도 압력평형식을 바탕으로 덕트시스템 시공 후 간편하고 정확하게 공기유량을 밸런싱하는 방법에 대한 연구가 진행된 바 있다.⁽⁷⁾

7.3 환기 분야에 관한 연구

환기 분야에 관한 연구로는 실험적인 방법과 수치적인 방법을 통하여 환기의 적정성을 평가하기 위한 인자 중 하나인 환기효율 측정과 환기방식에 따른 환기효율 변화에 대한 연구와 다양한 공간의 공조환경을 평가하며 우수한 공조방식을 선정하기 위한 연구가 수행되었다.

바닥취출 공조 챔버내에서 추적가스를 이용하여 평균연령에 근거한 환기효율을 실험적으로 측정하기 위한 방법을 제시하고 추적가스 주입방법이 환기효율 측정에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되었으며,⁽⁶⁰⁾ 천장 급배기공조 공간에 대하여

역유동계산법을 적용하여 용이하게 평균잔여채류 시간의 분포를 산정하는 방법에 대한 연구도 수행된 바 있다.⁽⁶⁵⁾ 또한 바닥취출 공조시스템에서 급기온도, 급기풍량, 그리고 디퓨저의 각도 등의 변수에 따른 실내기류분포와 환기효율의 변화를 수치적으로 예측을 통해 바닥취출방식은 냉방환기에 적합한 공조방식임을 제시한 연구도 있었다.⁽⁶³⁾ 공기연령 및 환기효율 개념을 이용하여 공조취출방식과 취출구의 방향에 따른 재실자의 영향을 비교 분석하여 데스크탑 공조시스템이 우수한 환기효율과 에너지효율을 나타냄을 보인 연구도 있었다.⁽⁹²⁾

근래에 들어서며 대부분의 건물이나 시설에 공조시스템이 설치되고 있으며, 이에 따라서 공조시스템이 설치되거나 설치될 실제 공간에 대한 급기방식이나 설치위치에 따른 공조환경에 대한 연구도 많이 수행되어졌다.

다양한 환기시스템이 적용된 실제 대형 공개홀에 대해 쾌적감에 영향을 주는 물리적인자 및 인체인자를 측정하고 설문조사를 통하여 적용되는 환기시스템의 적정성을 평가한 연구가 수행되었으며,⁽¹⁵⁾ SES 프로그램과 모형실험을 바탕으로 지하철 환기시스템의 최적설계를 위한 설계 프로그램을 개발하고 환기실의 형상최적화에 대한 연구도 수행된 바 있다.⁽⁶²⁾ 또한 변풍량시스템에 저온 공기분배 방식을 적용하여, 실내의 온열감을 유지시키기 위하여 변풍량시스템을 제어하는 방안과 에너지 소비량을 분석하여 에너지를 절감하고 쾌적한 실내환경을 조성할 수 있는 방안과 시스템 적용시 고려할 사항에 대한 연구도 수행되었다.⁽⁹⁰⁾

석굴암에 대한 항온항습 모형실험을 통하여 장마철 석굴암 내부의 통풍 및 제습구조에 다공층의 암석의 역할을 분석하는 연구가 수행된 바 있으며,⁽¹⁴³⁾ 교환기실에 급배기 방식별로 내부의 유동장, 온도장 및 냉각특성을 면밀히 고찰하고 최적의 급배기 방식을 선정하는 연구도 수행되었다.⁽¹⁵²⁾

이밖에도 집진기에 사용되는 사이클론에 대하여 사이클론 내부 유동장의 수치해석과 입자의 하전을 고려한 입자궤적 계산을 통하여 전기사이클론을 해석하는 기본기법을 정립하고 유동장과 전기장을 해석하는 근사 이론을 검증하는 연구도 수행되었다.⁽⁷⁰⁾

7.4 냉각탑에 관한 연구

냉각탑에 관한 연구는 냉각탑 설계에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 냉각탑 성능에 영향을 미치는 인자들을 분석하고, 이를 예측할 수 있는 프로그램을 개발하는 방향으로 진행되었다.

성능실험을 통해 운전조건에 따른 열적 성능 특성으로 운전변수에 따른 냉각능력 및 냉각수의 손실정도를 조사한 연구가 수행된 바 있으며,⁽⁹⁾ 대항류형 냉각탑에 대하여 냉각탑 내의 유동장을 해석하고 냉각탑 내부의 유동변화와 운전조건 변화가 냉각탑의 효율과 냉각용량에 미치는 영향을 평가한 연구도 이루어졌다.⁽⁵³⁾ 또한 냉각탑의 성능실험과 NTU법으로 냉각탑의 열성능에 영향을 미치는 각종 변수들이 냉각탑의 성능에 미치는 영향을 예측할 수 있는 프로그램 개발에 관한 연구도 수행되었다.⁽¹⁴⁴⁾

충전재의 형상이 냉각탑의 성능에 미치는 영향을 충전재의 형상변화에 따른 냉각탑의 열전달 성능과 팬소비동력의 변화의 측면에서 평가하고 이를 통하여 충전재 설계시 압력강하 특성보다는 열전달 특성이 우수하도록 설계할 것을 제시한 연구도 있었다.⁽³⁶⁾

8. 건축 열환경 및 설비설계 분야의 연구 동향

8.1 개 관

건축 열환경 및 설비 설계 분야의 연구를 회고한 결과 온열 쾌적감 및 환경 특성에 관한 연구, 공기 환경 및 생태 건축에 관한 연구, 그리고 시스템 평가 및 부하계산에 관한 연구로 분류해 볼 수 있었다. 이들의 구분에 따른 연구내용은 다음과 같다.

8.2 온열 쾌적감 및 환경특성에 관한 연구

온열 쾌적감에 관한 연구는 인공환경 실험실에서 하계와 동계 조건으로 나누어 온열 쾌적 특성이 실험에 의해 평가되었으며, 환경 특성에 관한 연구는 석재 모형 돔에서 하계와 동계의 실내 환경 특성에 관하여 분석되었다.

하계 인공환경 실험에서의 온열쾌적 특성⁽³⁷⁾에

관해서는 실험실 내에서의 체감 실험에 의한 주관적 평가와 심전도 및 뇌파가 온도와 상대 습도의 변화에 어떠한 관계에서 쾌적감에 영향을 미치는지에 대해 검토되었다.

동계 인공환경 실험에 의한 온열쾌적 특성⁽⁷²⁾에 관해서는 동계 체감 실험에 의한 인공환경 실험실 내에서의 온·습도 변화에 의해 피험자로부터 조사된 주관적 평가 및 심전도와 뇌파의 변화가 온열 쾌적감에 주는 영향이 연구되었다.

공간 내에서의 환경 특성 분석을 위한, 석재 모형 돔에서의 실내 환경 특성에 관한 연구는 동절기⁽¹⁴⁹⁾와 하절기⁽¹⁷⁷⁾로 나누어 이루어졌으며, 자연적인 대기 조건하에서 여러 가지의 외피 유형에 따른 상대습도, 건구온도, 기류속도, 증발량 등의 실내 환경 요소의 변화가 측정 분석되었다.

8.3 공기 환경 및 생태 건축에 관한 연구

공기 환경에 관한 연구로는 고속도로 요금소 주변의 대기오염 현황에 관한 연구⁽¹¹⁷⁾가 이루어져, 고속도로 영업소의 요금소 부스 및 그 주변의 대기 오염도를 측정 분석하여, 부스의 외형 변화와 공조 시스템의 개선을 통하여 근무자의 쾌적한 근무 조건 개선안을 수립할 수 있는 기초 자료가 마련되었다.

생태건축에 관한 연구로는 서울지역 사무소 건물의 환경 부하에 관한 연구⁽¹⁰⁵⁾가 이루어져, 최근의 에너지 원별 소비 실태가 파악된 34개의 사무소 건물을 대상으로 에너지 소비 실태에 따른 이산화탄소 배출량을 분석함으로써, 에너지 소비를 환경 부하로 인식하고 향후 에너지 원단위를 환경부하 원단위로 전환하기 위하여 사무소 건물의 운용에 소요되는 냉난방 및 급탕 등의 에너지 소비량을 기초로 이산화탄소 배출량이 산출됨으로써, 환경부하 원단위 설정을 위한 기초 자료가 제시되었다.

8.4 시스템 평가 및 부하계산에 관한 연구

시스템 평가에 관한 연구로는 공동주택단지 난방 시스템들에 대한 경제성 평가⁽⁷⁷⁾가 이루어져, 500~3,000세대 규모의 아파트 단지를 난방할 수 있는 시스템에 대하여 6가지의 기존 및 신기술에 대해 기술적, 경제적 및 환경적 평가를 수행하여

단지 규모별 최적 시스템을 제안하고자 하였다.

실내 환경 조절 설비의 제어시스템 특성에 관한 시뮬레이션⁽²³⁾에서는, 환경 조절 설비의 제어시스템에 대해 연구하기 위해, 설비의 각 구성요소들을 열역학적으로 해석하여 시스템 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 시스템 시뮬레이션 모델을 이용해서 전형적인 운전조건하에서 여러 제어기의 반응을 모사하고, 시뮬레이션의 결과에 의해 제어기의 특성을 비교하였으며 제어 전략의 타당성도 검토되었다.

부하계산에 관한 연구로는 열용담계수를 이용한 TFM 부하계산법의 제안⁽¹⁵³⁾이 이루어져서, ASHRAE Table 사용에 의한 TFM 부하 계산시의 문제점을 제시하고, 열용담 계수를 이용한 TFM 부하계산 프로그램을 제안하였다. 이에 따라 CTF 계수의 유효항수에 따른 계산의 정확도, ASHRAE Table의 error, 오차 범위들이 폭넓게 분석되었다.

9. 결 론

지난 2년간의 우리 학회의 논문집 논문들을 통하여

(1) 유동현상, 유체기계 및 배관에 관련된 발표 논문은 총돌제트 응용에 관련한 연구를 회고한 결과 총돌제트 응용 분야에 관련하여 실험적 연구경향이 두드러졌으며, 관내유동, 난류유동장 해석, 배관망 및 분배관에 관한 연구는 실제 시스템에 대한 해석 및 성능예측에 관련한 논문이 증가하였다. 유체기계에 관련하여서는 유동소음 저감에 관련된 연구결과도 제시되었다.

(2) 열전달 해석 및 열교환기 관련 논문들을 살펴본 결과 열전달 관련 연구에서는 열교환기와 연관된 연구들 중 특히 관내의 유동과 관련된 연구가 많았다. 또한 열교환기 관련 연구는 실험 및 해석적 연구를 통해 다양한 연구가 수행되었으나 시스템 전체에 대한 연구는 상대적으로 부족하다고 하겠다.

(3) 열펌프에 대해서는 멀티형 시스템에 대한 연구와 공기 열원 대신 폐수 등을 이용하는 연구가 주로 실험으로 연구되었다. 히트파이프에 대한 연구는 전자 부품의 냉각에 사용될 수 있는 마이크로 히트 파이프에 대한 연구가 활발히 연구가 수행되었다. 병축열에 관한 연구는 축냉재

료에 대한 기초 연구와 주로 시스템에 대한 운전 특성 등에 관한 연구가 발표되었다. 그리고 열교환기 튜브외부에 생기는 서리에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 서리 생성에 대한 냉각관의 온도, 습도, 공기 온도 등에 관한 연구와 제상 분야에 연구로는 튜브의 친수처리, 발수처리 등에 대한 비교 실험이 행하여졌다.

(4) 냉동/냉방 시스템과 연관된 연구를 회고한 결과 많은 연구들이 대체냉매를 사용한 시스템의 성능 평가에 초점을 맞추고 있었으며, 천연냉매를 사용하는 새로운 냉동/냉방 시스템에 대한 연구가 수행되었다. 냉매의 증발 열전달에 관한 연구에서는 관의 형상, 오일의 함유량, 대체 냉매의 특성이 열전달에 미치는 영향을 주로 취급하였으며, 마이크로 핀관에 대한 연구가 많아진 것이 특징이다. 응축 열전달에 관한 연구에서는 새로운 대체 냉매에 대하여 응축 열전달 특성 변화를 고찰하고 기존의 상관식과 비교하는 연구에 집중되었다. 팽창장치에 대한 연구는 주로 모세관과 오리피스를 대상으로 수행되고 있었으며, 기존 냉매 및 대체 냉매에 대한 특성을 알아보는 것이 대부분이었다. 냉매의 물성치에 대해서는 혼합냉매의 기액 상평형, 오일농도 측정방법, 물성치 예측방법 개발 등에 관한 연구가 주된 내용이었다.

(5) 흡수식 냉동의 경우 흡수기의 성능향상을 위한 실험적 연구가 다양하게 발표되었으며 소형화 및 공냉화를 위한 신용액의 개발과 시스템의 개선에 대한 연구가 계속되었다. 압축기의 경우 대체 냉매를 적용하기 위한 연구가 수행되었고 특히 압축기에 대한 동적 해석이 마모 및 진동특성을 개선하기 위하여 시도되었다. 그러나 냉동시스템이나 기타 상변화 열교환기에서 발생하는 2상유동 및 열전달 특성에 대한 연구는 미진하였다.

(6) 덕트 분야의 경우 시스템 해석기법과 풍량 밸런싱방법에 대한 연구가 주로 수행되어졌다. 환기 분야에 관해서는 실험과 수치해석을 통하여 환기효율 측정과 환기방식에 따른 환기효율의 변화에 대한 연구 및 우수한 공조방식으로 선정하기 위한 연구가 수행되어져 왔다. 또한 냉각탑에 관해서도 설계의 기초자료를 제공하고자 많은 연구가 수행되어졌으나 아직까지는 미흡한 상태이다.

(7) 건축 열환경 및 설비 설계의 연구를 회고한 결과 실내 공간 내에서의 우리의 좌식 생활에 따른 쾌적 조건을 정립하고자 하는 점이 특징으

로 나타났고, 우리의 건축 구조 및 구법에 대한 열적 해석과 시스템 성능 평가를 하고자 하는 점들이 돋보였으며, 생태 건축이라는 시대적 조류에 맞게 환경 부하를 평가하고자 하는 시도가 새롭게 대두되었다고 볼 수 있다. 그러나 설비 시스템의 설계 및 시공 기술 향상을 위한 논문은 아직도 매우 미흡하다고 하겠다.

참고문헌

1. Yoon, Y. H. and Lee, S. H., 1998, Experimental study on flow distribution in manifolds by a tapered header, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 1-10.
2. Suh, J. S., Kim, M. G., Ro, S. T. and Yim, C. S., 1998, Ice-formation phenomena for laminar water flow in a stenotic tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 11-21.
3. Chang, K. C., Lee, K. W. and Yoo, S. Y., 1998, Experimental study on the heat transfer characteristics of separate type thermosyphon, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 22-32.
4. Kim, H. J., Kim, J. H. and Lee, J. K., 1998, Dynamic behavior of a scroll compressor with radial compliance device, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 33-43.
5. Kim, M. H. and Kim, K. J., 1998, Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers for a condenser in residential air conditioning applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 44-55.
6. Kim, Y. H., Kim, C. N. and Park, Y. M., 1998, Investigation on the selection of capillary tube for the alternative refrigerant R-407C, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 56-65.

7. Lee, D. W., Park, M. S. and Park, Y. W., 1998, Balancing air flow at terminal in CAV duct system with DPM method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 66-78.
8. Cho, K. W., Jeong, S. and Jeong, E. S., 1998, Cycle simulation of a triple effect LiBr/water absorption chiller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 79-87.
9. Lee, H. C., Bang, K. H. and Kim, M. H., 1998, Experimental study on the thermal performance of a cooling tower, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 88-94.
10. Park, K. S., Park, K. W. and Park, H. Y., 1998, Analysis of natural convection-radiation heat transfer using the finite volume method in enclosure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 95-107.
11. Jeong, H. M. and Chung, H. S., 1998, Study on fluid flow characteristics of aquarium for optimum environment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 108-117.
12. Kim, Y. C. and Choi, J. M., 1998, Comparison of refrigerant flow through capillary with short tube orifice, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 118-128.
13. Lee, K. S. and Park, C. G., 1998, Analysis of laminar forced convection for optimal design of parallel plates with protrusions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 129-136.
14. Kim, K. S., Kim, W. T., Song, K. S. and Lee, K. B., 1998, Experimental study on the cooling characteristics of thermosyphon for the high power electronic components, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 137-146.
15. Kwon, Y. I. and Kwon, S. S., 1998, Thermal environment evaluation of KBS open hall with mixing ventilation and downward displacement ventilation systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 147-154.
16. Jang, K. T., Nam, K. W. and Jeong, S., 1998, Exergy analysis of heat pump in consideration of its dynamic response, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 155-164.
17. Cho, D. H. and Kwon, H. H., 1998, Experimental study on heat transfer inside inclined thermosyphon with low integral-fins, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 165-172.
18. Park, Y. C., Ha, D. Y. and Min, M. K., 1998, The effect on the seasonal performance of an inverter compressor with higher and lower operating range, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 173-179.
19. Kang, Y. G. and Jeong, E. S., 1998, Enthalpy transport in pulse tube refrigerators, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 180-192.
20. Lee, Y. H., 1998, Study on the flow characteristics and heat transfer enhancement on flat plate in potential core region of 2-dimensional air jet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 193-201.
21. Lee, G. H., Yoo, J. Y., Jung, J. D. and Choi, K. H., 1998, Computer simulation for the performance analysis of automobile air conditioning system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 202-216.
22. Myong, H. K. and Jin, E., 1998, Simulation

- of buoyant turbulent flow in a stairwell, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 217-226.
23. Hong, J. W., Choi, Y. K. and Lee, J. H., 1998, Development of program for the automotive air conditioning system analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 227-237.
 24. Kim, C. N. and Park, Y. M., 1998, Investigation of vapor-liquid equilibrium of HFC-125/134a system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 238-250.
 25. Lee, J. S., 1998, Simulation on the Characteristics of the control system of an environmental control facility, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 251-259.
 26. Yoo, J. S., 1998, A theoretical analysis on the viscous plane stagnation-flow solidification problem, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 260-270.
 27. Kim, N. H., Cho, J. P., Kim, J. O., Kim, M. H. and Yun, J. H., 1998, Experiments on R-22 condensation heat transfer in small diameter tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 271-281.
 28. Han, K. I., Park, J. U. and Im, T. W., 1998, Study on forced convective heat transfer in helically coiled tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 282-291.
 29. Song, Y. J., Park, B. J., Jung, D. S. and Kim, C. B., 1998, Performance evaluation of R22 alternative refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 292-302.
 30. Lee, Y. H., Jung, D. S. and Kim, C. B., 1998, Computer simulation of a three-stage condensation heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 303-314.
 31. Bae, S. Y., Chung, B. Y., Kim, I. G., Park, S. R. and Yim, C. S., 1998, Numerical study on the heat transfer characteristics of the condenser for the air-conditioners, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 315-323.
 32. Lim, K. B. and Kim, H. J., 1998, Local heat transfer measurement from a concave surface to an oblique impinging jet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 324-333.
 33. Moon, S. H., Park, S. R., Yoon, H. K. and Yoon, K. J., 1998, An experimental study methanols decomposition catalysts for long distance-heat transportation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 334-342.
 34. Yoon, S. M., Kim, C. B., Cho, Y. C. and Hur, B. K., 1998, Study of the temperature container system for a live fish transportation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 343-347.
 35. Lee, K. S., Park, C. J. and Chung, J. Y., 1998, An analysis of fluid flow in U-bend area of laminated plate heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 348-357.
 36. Lee, K. H., Choi, W. Y., Lee, J. H. and So, H. Y., 1998, Comparison of performance of cooling tower with various shape of packings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 358-367.
 37. Park, J. I., Kim, K. H., Hong, H. G., Min, B. I. and Kim, C. J., 1998, Characteristics of thermal comfort for artificial environment experiment summer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering,

- Vol. 10, No. 3, pp. 368-377.
38. Kim, D. G., Kum, J. S., Choi, K. H., Park, H. W., Kim, J. R. and Joo, I. S., 1998, Effects of relative humidity on comfort sensation by comparison between the young and the aged, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 381-388.
 39. Lee, S. C., Moon, J. S. and Lee, J. H., 1998, Analysis of loop duct system by extended T-method, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 389-397.
 40. Cha, K. O., Kim, J. G. and Yang, H. J., 1998, Experimental study on the flow characteristic by the co-polymer A611P additive in gas-liquid two-phase vertical up flow, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 398-410.
 41. Song, K. H., Lee, J. K., Jung, D. S. and Kim, C. B., 1998, Pool boiling heat transfer coefficients of alternative refrigerants of low fin tubes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 411-422.
 42. Kwon, J. T. and Kim, J. H., 1998, Heat transfer coefficients for single-phase flow in a micro-fin tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 423-430.
 43. Kim, B. J. and Kim, J. H., 1998, Heat and mass transfer in laminar-wavy film, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 431-439.
 44. Lee, S. H. and Lee, E. S., 1998, The effect of wall heat conduction on local convection heat transfer from of air, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 440-448.
 45. Park, K. K., 1998, A new correlation of the enthalpy of vaporization for pure refrigerants, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 449-455.
 46. Hur, K. J., Jeong, E. S. and Jeong, S., 1998, Effect of a non-absorbable gas on the absorption process in a vertical tube absorber, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 456-465.
 47. Kim, B. J., Shin, K. S. and Moon, H. S., 1998, Improvement of absorption characteristics by insert devices in a vertical tube, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 466-474.
 48. Shin, H. T., Kim, M. H., Lee, Y. P. and Choi, Y. D., 1998, Experimental study on the production of spherical ice particles using water as refrigerant, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 475-482.
 49. Shin, Y. H., Kim, K. H. and Son, B. J., 1998, Experimental study on impeller discharge flow of a centrifugal compressor, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 483-494.
 50. Hwang, Y. J. and Kim, H. Y., 1998, A study on the transient characteristics during speed up of inverter heat pump, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 495-507.
 51. Jeon, S. T., Lee, J. S. and Choi, G. G., 1998, Heat transfer characteristics between a rotating flat plate and an impinging water jet, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 509-522.
 52. Lee, S. H., Lee, E. S. and Jeong, E. H., 1998, Conjugated heat transfer on convection heat transfer from a circular tube in cross flow, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 523-534.

53. Lee, S. Y., Lee, J. H., Choi, Y. K. and Ryou, H. S., 1998, Numerical study for performance analysis and design of a counter-flow type cooling tower, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 535-549.
54. Park, K. K., 1998, A new type of saturated vapor density correlation for refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 550-557.
55. Lee, S. H., Lee, E. S. and Jeong, E. H., 1998, The effect of forced convection on boiling heat transfer from a horizontal tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 558-568.
56. Cho, S. J., Hwang, S. M., Jung, D. S. and Kim, J. B., 1998, Condensation heat transfer characteristics of alternative refrigerants for CFC-11, CFC-12 for enhance tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 569-580.
57. Seol, W. S., Kwon, O. K. and Yoon, J. I., 1998, Experimental investigation of enhance heat and mass transfer for LiBr/H₂O absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 581-588.
58. Youn, B., Kil, Y. H., Park, H. Y., Yoo, K. C. and Kim, Y. S., 1998, Experimental study of air side pressure drop and heat transfer characteristics of wave and wave-slit fin-tube heat exchangers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 589-599.
59. Paek, J. W., Kang, B. H. and Hyun, J. M., 1998, Thermal response of porous media cooled by a forced convective flow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 600-609.
60. Han, H., Seo, S. Y., Kim, M. H. and Kim, Y. I., 1998, Ventilation effectiveness measurements utilizing a tracer gas in an underfloor air-conditioning space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 610-618.
61. Lee, S. C., Lee, S. M. and Nam, S. C., 1998, Development of a gas-liquid two-phase flowmeter using double orifice plates, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 619-629.
62. Kim, K. Y., Cho, J. H., Li, S. M. and Yang, T. Y., 1998, Study on optimization technique for the design of ventilation system of subway, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 630-639.
63. Chung, K. S., Han, H. and Hong, S. J., 1998, Effect of supply air temperature and airflow rate on ventilation effectiveness in an underfloor air conditioning space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 640-648.
64. Lee, K. S., Kim, G. W. and Jhee, S., 1998, An experimental study of behavior of defrosting on the fin-tube heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 649-657.
65. Han, H. T., 1998, Numerical analysis of local exhaust effectiveness using reverse-flow calculation method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 658-665.
66. Lee, H. R., Koo, K. K. and Jeong, S., 1998, Solubility, vapor pressure, duhring and enthalpy-concentration charts of H₂O(LiBr + CaCl₂) solution as a new Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 666-673.
67. Kim, N. H., 1998, Enhancement of thin film evaporation on low-fin tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration

- Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 674-682.
68. Kim, K. M. and Pak, H. Y., 1998, The application of hydrocarbon refrigerants in a hermetic reciprocating compressor for low back pressure conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 683-694.
 69. Kim, J. R., Kum, J. S., Choi, K. H., Yoon, J. I., Park, J. T., Kim, D. G., Kim, B. C. and Chung, Y. H., 1998, Research on using the exhausted heat from subway tunnel as unused energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 695-701.
 70. Kim, W. S., Kang, Y. H. and Lee, J. W., 1998, Numerical analysis of collection performance for electro-cyclone, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 702-713.
 71. Yoon, J. Y., Maeng, J. S. and Lee, J. W., 1998, Numerical analysis of the differential pressure venturi-cone flowmeter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 714-720.
 72. Park, J. I., Kim, K. H. and Choung, S. I., 1998, A study on characteristics of thermal comfort for artificial environmental experiment in winter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 721-731.
 73. Kwak, K. M., Bai, C. H., Chung, M. and Lee, S. C., 1998, Prediction of condensation heat transfer coefficients inside horizontal tube in annular flow regime, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 732-742.
 74. So, Y. K., Pak, B. C. and Baek, B. J., 1998, A study of single-phase liquid cooling by multiple nozzle impingement on the smooth and extended surfaces, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 743-752.
 75. Shin, J. G., Moon, C. G. and Yoon, J. I., 1998, An investigation on the system characteristics of a refrigerator with alternative refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 753-762.
 76. Lee, J. S., Kim, C. J., Kim, S. J. and Moon, S. H., 1998, An experimental study on the effects of an inserted coil on flow patterns and heat transport performances for a horizontal rotating heat pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 763-772.
 77. Cho, K. N., Yoon, S. H. and Kim, W. B., 1998, Economic evaluation on heating systems of apartment complex, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 773-783.
 78. Jeong, S. and Cho, K. W., 1998, Dynamic simulation of a solar absorption cooling system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 784-794.
 79. Lee, W. S. and Bae, S. C., 1998, Effects of the in-process calibration from IR detector for thermal diffusivity measurement by laser flash method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 795-802.
 80. Ahn, S. W., 1999, Structure of turbulence of fully developed flow in concentric annuli with rough outer wall, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 1-9.
 81. Cho, Y. D., Han, C. S. and Yoo, S. Y., 1999, Development of design technique for automotive condenser, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 10-17.
 82. Jeong, I. S. and Hwang, Y. K., 1999, Numerical analysis of the cooling effects for the first wall of fusion reactor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 18-30.
 83. Kim, S. H., Kim, C. N. and Park, Y. M.,

- 1999, An investigation on the in situ measurement of the oil-concentration with densimeter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 31-37.
84. Lee, K. S. and Ko, Y. W., 1999, An analysis of snow melting process for a study of defrosting phenomena, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 38-47.
85. Lee, D. Y., Jung, S. H., Kang, B. H. and Hong, H., 1999, Experimental study on the performance improvement of a screw-compressor-type chiller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 48-60.
86. Cho, K. and Tae, S. J., 1999, Effect of refrigeration lubricants on the heat transfer performance in the microfin tube evaporator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 61-72.
87. Myong, H. K., 1999, Numerical analysis of 3-dimensional buoyant turbulent flow in a stairwell model with three different finite differencing schemes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 73-80.
88. Park, B. K., Hong, T. and Park, S. H., 1999, Performance evaluation technique of a heat exchanger using a transient response analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 81-90.
89. Kim, C. N. and Park, Y. M., 1999, Investigation of vapor-liquid equilibrium of HFC-32/143a and HFC-143a/134a systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 91-99.
90. Kwon, Y. L. and Kwon, S. S., 1999, Ventilation and energy performance evaluation of the office building with variable air volume system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 100-108.
91. Choi, J. M. and Kim, Y. C., 1999, Experimental study on characteristics of two-phase flow through a bypass-orifice expansion device, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 109-116.
92. Cho, D. W., 1999, Comparison of age of air and air change effectiveness between supply diffuser types, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 117-124.
93. Kim, Y. I., 1999, Estimation of characteristic parameters of refrigerants by group contribution method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 125-132.
94. Lee, D. Y., Kang, B. H. and Kim, M. S., 1999, Prediction of practically chargeable cold energy in an ice storage system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 133-146.
95. Jhee, S. and Lee, K. S., 1999, An experimental study of defrosting behaviors on the fin-tube heat exchanger with PTC heating sheet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 147-155.
96. Oh, K. J. and Ha, S. S., 1999, Numerical analysis of turbulent natural convection in a cylindrical transformer enclosure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 157-166.
97. Kim, Y. C. and Lee, S. W., 1999, An experimental study for reduction of B.P.F. noise level of multi-blade fan, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 167-175.
98. Moon, S. H., Kim, J. O. and Kim, C. J., 1999, Fundamental study on performance characteristics of a micro heat pipe with

- triangular cross section, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 176-184.
99. Paek, J. W., Kang, B. H., Kim, S. Y. and Hyun, J. M., 1999, Measurement of effective thermal conductivity and permeability on aluminum foam metal, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 185-192.
 100. Kim, B. H., 1999, Analysis on the performance characteristics of a variable-speed, roller-type vane compressor operating at low evaporating temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 193-204.
 101. Han, Y. O. and Kim, J. H., 1999, A study on cooling characteristics of clathrate compound for cold storage applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 205-214.
 102. Jang, S. H., Jeong, S. and Hong, Y. K., 1999, Evaporation heat transfer and pressure loss in micro-fin tubes and a smooth tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 215-223.
 103. Choi, M. G. and Cho, K. N., 1999, Study on the cooling performance of discrete heat source using coolants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 224-235.
 104. Hong, J. K., Boo, J. H. and Chung, W. B., 1999, Experimental study on the working characteristic of a heat pipe with combined wick, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 236-243.
 105. Lee, S. H., Lee, Y. G., Yang, K. S., Ahn, T. K., Lee, S. E. and Park, H. S., 1999, A study on the environmental load of office buildings in Seoul, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 244-249.
 106. Yoo, H., Lee, K. H. and Bang, B. C., 1999, An easy-to-use design procedure for multi-pass plate heat exchangers based on the performance plots, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 250-261.
 107. Kim, K. M. and Pak, H. Y., 1999, The application of hydrocarbon refrigerant mixtures in a hermetic reciprocating compressor for high back pressure conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 262-269.
 108. Kim, J. H., Chung, Y. G., Park, K. W. and Pak, H. Y., 1999, Performance analysis of the reciprocating compressor with hydrocarbon refrigerant mixtures, R290/R600a, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 270-280.
 109. Chai, E. M. and Sah, J. Y., 1999, Steady-state flow analysis of pipe network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 281-291.
 110. Yoo, J. W. and Song, T. H., 1999, Numerical investigation of plate fin performance for a compact heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 292-300.
 111. Yeom, H. K., Park, B. K. and Koh, D. Y., 1999, Study on operation characteristics of the cold air distribution systems with an ice storage tank, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 301-312.
 112. Kang, H. K., Kim, J. J. and Kim, C. J., 1999, A study on heat transport limitation for a perfluorocarbon heat pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 313-320.
 113. Kim, K. C., Park, M. H. and Yoon, J. K., 1999, The study on heat transfer enhancement using indirect cooling system in the

- channel with heat source, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 321-331.
114. Kwon, Y. and Yun, S. K., 1999, An investigation of absorption phenomena in the horizontal staggered tube absorber for various LiBr solution flow rates, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 332-338.
115. Yoo, J. O., Gum, S. M. and Shin, H. J., 1999, Numerical analysis of the vertical tube-in-tube ground coil heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 339-348.
116. Park, D. J., Chang, H. M. and Kang, B. H., 1999, Prediction of liquid amount in hydrogen liquefaction systems using GM refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 349-358.
117. Kim, S. D., Park, S. K., Bong, C. K., Kim, J. H., Kang, H. J. and Lee, E. S., 1999, A study on the condition of air pollution near tollbooths on highway, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 359-368.
118. Park, C. W. and Jung, J., 1999, The heat transfer characteristics of a desorber for 150 RT absorption heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 369-376.
119. Ryu, S. G. and Lee, K. S., 1999, A study on the behavior of frost formation according to surface characteristics in the fin-tube heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 377-383.
120. Lee, J. M., Kim, C. N. and Park, Y. M., 1999, A study on prediction of oil concentration in the R-407C and R-410A refrigeration system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 384-390.
121. Woo, J. S., Lee, S. K., Lee, J. H. and Park, H. S., 1999, Performance analysis of dual source heat pump system with single unit dual source evaporator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 391-400.
122. Lee, D. Y., Jung, S. H. and Kang, B. H., 1999, Comparative analysis of the minimum capacity of an ice-on-coil thermal storage system for various operation strategies, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 401-413.
123. Kim, B. J., 1999, Mass transfer in adiabatic rectifier of ammonia-water absorption system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 414-421.
124. Lee, Y. H., Shin, H. J. and Choi, G. G., 1999, Simulation of a two-stage absorption heat pump cycle using treated sewage, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 422-430.
125. Yun, S. K., 1999, Heat and mass transfer characteristics of generator combined rectification system of the GAX ammonia absorption heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 431-439.
126. Han, H. D. and Ro, S. T., 1999, Experiment of frost growth on the parallel plates in the condition of laminar and low humidity, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 440-447.
127. Lee, Y. B. and Ro, S. T., 1999, An experimental study of frost forming on the horizontal cylinder under cross flow, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 448-456.
128. Baik, J. H., Kang, B. H., Hong, S. J. and

- Chang, H. M., Performance test of Joule-Thomson cryocooler with H₂ gas, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 457-463.
129. Jeong, S. and Lee, C. G., 1999, Rotating helium-recondensing system using Roebuck refrigerator, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 464-471.
130. Kang, J. K. and Kim, J. S., 1999, A study on the characteristics of heat transfer and pressure drop in plate type evaporator with U-turn for automotive air conditioner, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 472-483.
131. Youn, B., Park, H. Y. and Park, H. Y., 1999, Experimental study of performance characteristics of various fin types for fin-tube heat exchanger, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 484-491.
132. Kim, Y. C., Cho, I. Y. and Choi, J. M., 1999, Experimentation and modeling on the flow of R407C and R290 through capillary tubes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 492-498.
133. Youn, B., Park, H. Y., Yoo, K. C. and Kim, Y. C., 1999, Air-conditioner cycle simulation using tube-by-tube method, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 499-510.
134. Lee, Y. H., 1999, The evaluation of the simultaneous flow rate for sizing the water supply piping in the office building, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 511-517.
135. Kim, C. N., Song, J. S. and Park, Y. M., 1999, Measurement of solubility and miscibility of R-134a/PAG oil mixture, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 518-527.
136. Park, S. H. and Kook, J. J., 1999, Effects of transient thermorefectance on the thermal responses of metal thin film exposed to ultrashort laser heating, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 528-536.
137. Kim, B. S. and Lee, S. H., 1999, Performance of a room air conditioner using R410A according to the variation of outdoor temperature, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 537-541.
138. Kim, B. S. and Lee, S. H., 1999, Evaluation of energy efficiency ratio in the mixed air conditioner system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 542-548.
139. Lee, H. J., Lee, S. W. and Lee, J. G., 1999, Fluid dynamical characteristics of microencapsulated phase material slurries, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 549-560.
140. Park, B. K., Hong, T. and Park, S. H., 1999, Effects of longitudinal conduction on the performance of heat transfer surfaces, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 561-569.
141. Kwon, O. K. and Yoon, J. I., 1999, Heat and mass transfer of helical absorber on household absorption chiller/heater, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 570-578.
142. Lee, S. C. and Lee, J. H., 1999, Adaptability of one-dimensional analysis for the flow distribution of a complex duct system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 579-587.

143. Lee, J. K. and Song, T. H., 1999, Experimental investigation of dew formation and heat transfer in the original upper structure of Sokkuram grotto, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 588-597.
144. Kim, Y. S., Seo, M. K. and Lee, S. K., 1999, A study on the counter-flow cooling tower performance analysis using NTU-method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 598-604.
145. Park, S. C. and Lee, J. K., 1999, Performance analysis of scroll compressor considering eccentric mass of orbiting scroll, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 605-614.
146. Ko, B. H., Park, S. H. and Shin, D. S., 1999, Thermal analysis on triple-passage heat exchangers for a hot tube cooling system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 615-623.
147. Park, C. D., Kim, M. S. and Ro, S. T., 1999, Performance and heat transfer characteristics of refrigeration system using R-502 alternatives, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 624-632.
148. Suh, J. H. and Kim, M. S., 1999, Condensation heat transfer of R407C and R410A in a horizontal smooth tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 633-641.
149. Kong, S. H., 1999, A study on the characteristics of environmental factors of granite dome models with different envelope structures in winter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 642-646.
150. Kim, Y. Y., Jung, G. H., Kim, K. S. and Seo, T. B., 1999, An experimental study on the heat transfer augmentation by using the multiple orifice nozzle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 647-657.
151. Park, J. H., Cho, K. N. and Cho, H. G., 1999, Characteristics of T-Phase flow distribution and pressure drop in a horizontal T-type evaporator tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 658-668.
152. Noh, H. K., Lee, J. H. and Koh, C. K., 1999, Cooling characteristics of the telecommunication system in a switching room for various air supply and return flow system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 889-683.
153. Choi, W. Y., Ko, C. K., Lee, J. H. and Ryu, H. S., 1999, Development of a TFM Load Calculation Program based on Thermal Response Factor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 684-691.
154. Riu, K. J. and Lee, L. H., 1999, The effect of the number of nozzle holes on the energy separation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 692-699.
155. Lee, K. S., Si, J. M. and Chung, K. Y., 1999, A numerical study for optimizing the thermal and flow performance in the channel of plate heat exchanger with dimples, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 700-708.
156. Yoo, S. H. and Sohn, J. Y., 1999, A solution method of view factor by the area weighted average and graphical methods, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 709-715.
157. Kim, H. J., Kim, M. K. and Seo, W. Y., 1999, Performance analysis of co-orbiting scroll compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering,

- Vol. 11, No. 6, pp. 716-724.
158. Kim, Y. S., Kil, Y. H., Park, H. Y., Youn, B., Kaneko, H. and Kim, B. Y., 1999, Experimental study on the hydrophilic performance of pre-coated aluminum foil, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 725-732.
159. Hong, S. J., Kim, K. Y. and Choi, H. J., 1999, Numerical analysis of drag reduction of turbulent flow in a pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 733-739.
160. Yoon, J. I., Kwon, O. K. and Moon, C. G., 1999, Influence of surfactant on heat transfer of air-cooled vertical absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 740-748.
161. Cha, D. J. and Cha, S. S., 1999, Holographic interferometric tomography for reconstructing a three-dimensional flow field, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 749-757.
162. Kim, S. N. and Ha, T. W., 1999, Estimation model of reasonable amount of domestic old water and hot water supplies in apartment houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 758-765.
163. Kim, H. G., Ryou, H. S. and Ryou, S. Y., 1999, Numerical analysis of continuous casting process with electromagnetic brake, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 766-773.
164. Kwak, K. M., Chang, J. S., Bai, C. H. and Chung, M., 1999, Heat transfer with geometric shape of micro-fin tubes (I), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 774-788.
165. Kwak, K. M., Chang, J. S., Bai, C. H. and Chung, M., 1999, Heat transfer with geometric shape of micro-fin tubes (II), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 789-798.
166. Ahn, J. S., Lee, J. H. and Kim, D. H., 1999, A study on the optimal integration of heat exchanger network and heat system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 799-807.
167. Kim, T. H. and Kim, N. H., 1999, Pool boiling performance of an enhanced tube used in flooded refrigerant evaporator for turbo-refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 808-814.
168. Han, D. Y. and Lee, J. H., 1999, Dynamic simulation of the ice storage cooling system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 815-823.
169. Choi, C. R. and Kim, C. N., 1999, Two-phase flow and heat transfer characteristics in a submerged gas injection system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 824-834.
170. Seo, J. H., Cho, K. N. and Choi, K. B., 1999, Heat and mass transfer characteristics in a vertical absorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 835-845.
171. Choi, H. C., Lee, S. G., Lee, S. H. and Lim, K. B., 1999, Measurement of the local heat transfer coefficient on a convex hemispherical surface with round oblique impinging jet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 846-854.
172. Han, C. H., Lee, K. B. and Lee, C. G., 1999, An experimental study on the heat transfer and turbulent flow of round jet impinging the plate with temperature gradient,

- Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 855-860.
173. Park, S. W. and Chung, I. K., 1999, Heat transfer enhancement in electronic modules using a turbulence promoter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 861-870.
174. Koo, H. M., 1999, An experimental study for noise reduction of the cross-flow fan of the room, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 871-879.
175. Park, S. N. and Kim, M. S., 1999, Performance of autocascade refrigeration system using carbon dioxide and R134a, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 880-890.
176. Yeo, M. S., Choi, S. K. and Kim, M. C., 1999, A study on the phase change in the cylindrical mold by the enthalpy method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 891-897.
177. Kong, H. C., 1999, A study on indoor environmental elements of the granite model dome in different envelope materials during summer season, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 898-902.
178. Kang, H. C., 1999, Numerical study for the fin efficiency of the heat exchanger having plate fins, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 903-911.
179. Oh, J. T., 1999, Forced convective boiling heat transfer for a ternary refrigerant mixture inside a horizontal tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 912-920.
180. Lee, K. S., Kim, J. M. and Jhee, S., 1999, A study of defrosting behavior according to surface characteristics in a fin-tube heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 921-927.
181. Lee, Y. T., Kim, Y. C., Park, Y. C. and Kim, M. S., 1999, Performance of an inverter refrigeration system with a change of expansion devices, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 928-936.