

설비공학 분야별 최근 연구 동향:

2021년 설비공학논문집 발표논문에 대한 종합적 고찰

A Review of the Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2021

송두삼(Doosam Song)^{1*}, 김동선(Dong-Seon Kim)², 김수민(Sumin Kim)³, 김현정(Hyun Jung Kim)⁴, 남유진(Yujin Nam)⁵, 박윤철(Youn Cheol Park)⁶, 백영진(Young-Jin Baik)⁷, 정재원(Jae-Weon Jeong)⁸, 조진균(Jinkyun Cho)⁹, 조홍현(Honghyun Cho)¹⁰

¹성균관대학교 건설환경공학부 교수, ²한국교통대학교 기계공학과 교수, ³연세대학교 건축공학과 부교수,

⁴아주대학교 기계공학과 교수, ⁵부산대학교 건축공학과 교수, ⁶제주대학교 기계공학과 교수,

⁷한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실 책임연구원, ⁸한양대학교 건축공학부 교수,

⁹국립한밭대학교 설비공학과 부교수, ¹⁰조선대학교 기계공학과 교수

¹Professor, School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

²Professor, Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

³Associated Professor, Dept. of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea

⁴Professor, Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon, 16499, Korea

⁵Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Pusan, 46241, Korea

⁶Professor, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University, Jeju, 63243, Korea

⁷Principal Researcher, Thermal Energy Systems Lab., Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 34129, Korea

⁸Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

⁹Associated Professor, Dept. of Building and Plant Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

¹⁰Professor, Dept. of Mechanical Eng., Chosun University, Gwangju, 61452, Korea

Abstract This article reviews the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2021. The purpose of this article is to understand the status of current research issues in the areas of heating, cooling, ventilation, sanitation, and indoor environments of buildings and plant facilities. Summary of this paper is follows.

- (1) The topics of the paper in the field of building mechanical system were the energy consumption, indoor environment analysis, building energy saving, ventilation system, renewable energy system and law of mechanical facilities.
- (2) The topics of the research in the field of indoor environment were the IAQ, ventilation, air cleaning, cooling/heating load, renewable energy, zero-energy building, building energy performance etc.
- (3) The research topics in the field of refrigeration in 2021 include robust temperature control of variable speed refrigeration system, R32 liquid-injection showcase vapor compression system, hybrid desiccant dehumidifying system, compressor torque calculation by differential pressure measurement, FAPO zeolite adsorbent, compression-adsorption hybrid refrigeration system and so on.
- (4) The topics of the papers published in the field of heat were heat transfer, a heat exchanger and a battery, etc.
- (5) The topics of the papers published in the field of heat transfer were the air flow rate inside drum of clothes dryer, the dynamic behavior and thermal performance of a solar water heater, a higher energy density storage system using sensible heat or phase change of water, factors affecting performance characteristics of falling film evaporation using R-1233zd(E) refrigerant and the underground seawater intake system in a power plant.

Key words Battery(배터리), COVID-19(코로나19), Energy saving(에너지 절감), Heat exchanger(열교환기), Heat storage(축열), Heat transfer(열전달), Renewable Energy(신재생에너지), Thermoelectric element(열전소자), Ventilation(환기)

* Corresponding author, E-mail: dssong@skku.edu

1. 서 론

이 논문은 2021년도에 대한설비공학회 ‘설비공학논문집’에 발표된 논문을 분석하여 설비공학 분야의 최근 기술 및 연구동향을 파악하고자 하는 목적으로 작성되었다. 발표된 논문들을 분류하면 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열전달 및 열유체로 분류할 수 있다. 본 논문이 설비공학 분야의 최신 연구동향을 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

2. 건축기계설비

2.1 개요

2021년 건축기계설비분야에서 발표된 논문들은 기계설비 분야 전반, 냉난방 및 환기시스템 관련 기술, 신재생에너지 관련 기술로 분류할 수 있으며 각 논문의 내용을 정리하면 다음과 같다.

2.2 건축기계설비 전반

Lee and Kim⁽¹⁾은 기계설비공사의 적산작업 효율화를 위한 국내외 관련기준을 조사하고 물량산출 방식에 따른 소요시간을 비교 검토하여, 건설현장에서의 배관공사 적산작업의 효율화 방안을 제시하였다.

Kim et al.⁽²⁾은 시설원예의 에너지자립과 난방에너지 소비량 및 연간 난방공급을 위한 운영비용 절감을 위한 방안으로 태양열 및 계간축열기반 신재생에너지 융복합시스템을 제안하고 요소 기술별 운영 결과 분석을 통해 적용성을 평가하였다.

Kim and Jeong⁽³⁾은 다수의 fan coil unit(FCU)에 작동유체를 공급하는 분배시스템에서 하부 유동변화에 따른 유량분배를 예측하고 평가하기 위해, 유량계수(flow coefficient)의 개념을 적용한 플로우 네트워크 모델을 개발하고 모델 검증에 위한 유량분배 실험을 수행하였다.

Kim et al.⁽⁴⁾은 친환경에너지타운 내 기존 중앙냉난방방식의 열공급설비 및 열에너지 프로슈머 운영을 기반으로, 신축된 공공건물을 기존 네트워크에 편입하고 또 하나의 프로슈머로 전환시킨 후, 양방향 열공급이 가능하도록 배관망을 수정하고 제어 시스템을 구축하였다.

Choi et al.⁽⁵⁾은 국내 BIM지침과 선행 연구들을 정리하고 다년간의 실무지식을 반영하여 단계별 기계설비 BIM 설계 프로세스와 BIM 정보표현수준을 제시하였다.

Cho et al.⁽⁶⁾은 데이터센터의 대표적인 에너지효율 개선 솔루션인 HAC 및 CAC의 IT공조환경을 비교분석을 위하여 실제 데이터센터를 대상으로 CFD 시뮬레이션을 수행하였으며 HAC와 CAC에 적용된 냉각시스템의 가동성능과 서버룸 내부의 IT공조환경의 차이를 비교하였다.

Kim and Kim⁽⁷⁾은 데이터센터 설계 단계에서 냉방 시스템의 용량 산정 및 에너지 성능을 평가할 수 있는 툴을 Matlab 기반으로 개발하였으며, 동적 에너지 시뮬레이션인 디자인빌더 결과값과 비교를 통해 개발 중인 툴의 신뢰성을 검토하였다.

Kim and Kim⁽⁸⁾은 온라인 진단에 적합하여 산업 현장에서 적용 요구가 많아지고 있는 MCSA 방식의 전동기 고장진단 시스템을 실험실의 소규모 고장진단 장치를 구성하여 회전자, 고정자, 축 정렬불량, 불평형 등을 실험하였다. 또한 실제 산업 현장에 9개월간 3대의 전동기에 적용하여 실제 결함 발생을 Trend값으로 확인하였고 해당 원인 제거 시 정상값으로의 복귀 등을 확인함으로써 고장진단과 유지보수 측면에서의 활용성을 검토하였다.

Cho et al.⁽⁹⁾은 발전플랜트 취수설비의 해양생물 및 해저퇴적물의 유입 정도를 파악하기 위하여 실제 발전플랜트 건설 프로젝트를 대상으로 그 영향도를 분석하였다. 기본적으로 수리모형실험 방법을 준수하였고, 사전에 조사된 발전플랜트 취수설비의 구조적인 특성과 주변 해양물리환경을 근거로 대상 해양생물 및 해저퇴적물을 선정하고 객관적인 수치해석 모델과 실질적인 영향도 평가를 도출하였다.

Kim et al.⁽¹⁰⁾은 화재에 의해 발생하는 연기와 열의 거동을 동시에 해석할 수 있는 3차원 수치해석수법을 이용하여 제연경계벽에 대한 설치기준이 미흡한 대공간에서의 층고와 화원의 발생위치에 따른 제연경계벽의 깊이별 제연효과에 대해 정량적으로 분석하였다.

Jung and Shin⁽¹¹⁾은 스틱슬립 현상을 최소화 하며 ROP(Rate of penetration)를 증가시키는 drillstring 제어를 모사하기 위해 Khulief and Al-Naser가 제시한 시추모델 Newmark 수치해석법을 사용하여 동적 거동 분석을 진행하였다. 시추 파이프 노드마다 분포하중, 시추공과의 접촉마찰, Bit-Rock 상호작용을 적용하고 지상부 시추 파이프 회전속도를 PI 제어하는 상황에서 시추 파이프의 거동 계산을 수행하였다.

Kim et al.⁽¹²⁾은 기 구축된 진천 친환경에너지타운의 소규모 냉방 및 난방 열 네트워크를 기반으로 양방향 열공급이 가능한 수정 열네트워크를 제안하였으며, 기존 신재생 열원이용 소규모 중앙공급방식 열 네트워크를 수정하여 여름철 및 겨울철 실증실험을 통해 양방향 열공급 및 열거래 적용 가능성을 검증하였다.

Jung et al.⁽¹³⁾은 음압컨테이너형 선별진료소에서 진료 SOP(Standard Operating Procedure) 설정을 위하여 CFD 시뮬레이션을 수행하여, 선별진료소에서 검사자로부터 배출된 입자의 확산 특성을 파악하고 교차오염 방지를 위한 검사대의 적절한 배기량과 실간 압력차를 제시하였다.

Yang and Park⁽¹⁴⁾은 실내공기질을 유지하기 위해 적용된 환기시스템의 효율적인 사용을 위하여 다양한 외기조건에 따라 선택적 HVAC 시스템을 적용하여 건물에너지 절감 효과를 검증하였다.

Kwon⁽¹⁵⁾은 소규모 상점의 개방된 출입구에 외부에 설치된 수평토출에어커튼의 운전조건에 따라 변화되는 외기 차단성능 평가를 위해 수행하였다. 압력변화에 따른 차단성능을 평가 후 차단성능을 향상시키고 에너지절약을 달성할 수 있는 제트공기의 토출조건을 제시하였다.

Cho et al.⁽¹⁶⁾은 기존 CFD 기반 수치해석으로 비교한 HAC와 CAC시스템의 공조효율을 현장실험으로 구현하기위해 데이터센터의 실제상황과 운영조건을 변경하였다. HAC와 CAC에 적용된 공조시스템의 차폐구조에 따라서 IT공조환경과 공조효율 차이를 실험 및 비교하였다.

Choi et al.⁽¹⁷⁾은 실내 온열 쾌적감 향상을 위해 PCM을 삽입하였으며 간헐난방시 PCM 위치에 따른 실내 및 바닥표면 온도변화를 Mock-up 실험을 통해 온수배관 하부에 삽입하는 것이 유리함을 제시하였다.

Jeong et al.⁽¹⁸⁾은 건물 설비 중 공기조화기에 대한 고장진단을 실제 건물에 추가적인 센서나 제어기 설치 없이 에너지 플러스 DesignBuilder로 모델링하고 진단하여 다양한 공기조화 시스템에 적용할 수 있는 규칙기반 고장진단 알고리즘을 제시하였다.

Lee et al.⁽¹⁹⁾은 학교교실의 미세먼지 저감을 위한 공기환경조절시스템의 적용 실태를 파악하기 위하여 조달청 나라장터 사이트에 등록된 공기청정기와 공기순환기의 현황 및 성능을 조사하고 데이터 값을 비교하였다. 실제 시스템 적용 및 유지관리 현황 파악을 위해 경기도 학교의 시설데이터를 조사 분석을 진행하였다.

2.3 난방 및 환기시스템

Choi and Park⁽²⁰⁾은 시뮬레이션을 통해 어린이집 원생들의 다양한 실내 활동으로 인한 실내 미세먼지 농도 상승 그리고 이를 제거하기 위한 방안으로 환기시스템, 공기청정기 등을 가동하는 분석을 실시했다. 어린이들의 실내 활동을 고려하면 실내 미세먼지 농도는 최대 5.5배까지 상승하는 결과를 보였으며, 환기시스템과 공기청정기를 병용해서 가동한다고 해도 공기청정기 필터를 자주 교체해서 정격 효율을 발휘하도록 하는 것이 중요하다는 것을 제시하였다.

Park et al.⁽²¹⁾은 대도시에 위치한 어린이집을 대상으로 미세먼지 농도 상승에 많은 영향을 미칠 수 있는 조리실에서 조리 시 발생하는 미세먼지의 영향에 따른 보육실의 미세먼지 농도와 저감 대책의 적용효과를 네트워크 시뮬레이션 분석을 통해 검토하였다.

Park et al.⁽²²⁾은 어린이집 조리실에서 조리행위와 보육실에서 원생들의 활동으로 인해 실내 미세먼지 농도가 급격히 상승하는 상황에서 환기시스템 및 공기청정기를 가동하여 실내 미세먼지를 제거하는 방안에 대해 분석하였다. 또한 조리행위와 보육실에서 원생들의 활동행위 등에 따라 미세먼지 농도의 발생정도를 파악하였다.

2.4 신재생에너지

Jeong and Koo⁽²³⁾는 태양광 발전 시스템이 설치된 저에너지 사무소 건물에 ESS를 설치하여 건물 내 전력 사용량과 배터리에 의한 피크제어 및 총 전력 사용량 저감 효과를 분석하였다. 피크목표값을 설정하여 ESS를 운영한 결과, 측정기간인 9~10월, 대부분의 기간 중 피크제어가 가능하였으며 측정기간 동안 5.83%의 그리드 전력 사용량을 저감효과를 확인하였다.

Choi and Hong⁽²⁴⁾은 벽체일체형 태양열온수기의 장기적인 실증실험을 수행하였다. 간헐적 부하조건과 연속적 부하조건에서 태양열 의존율, 집열효율과 이용률은 부하패턴과 상관없이 거의 유사한 결과 값을 보였으며, 특히 급탕부하가 가장 커지는 동절기에 열성능이 양호한 것을 통해 벽체일체형 태양열온수기의 적절성을 확인하였다.

3. 건축환경

3.1 개요

건축환경 분야의 논문은 크게 건물에너지, 실내환경 및 기타로 분류할 수 있다. 건물에너지 분야로는 초단기 기상 예보 데이터 기반 일사 계산을 통한 건물 단기간 미래 건물 전력 소비량 예측, 열회수형 환기장치 적용 다중이용시설의 환기횟수에 따른 냉·난방부하 평가, 제로에너지빌딩 인증으로 인한 아파트 열원 선정 영향 분석, 복합단열벽체 적용 주택의 냉방부하 연구가 수행되었다. 실내환경 분야에서는 결로방지를 위한 공용배기 활용 환기 시스템의 습도저감 성능 분석, 건물에너지 최적제어를 위한 실내온도 분포 예측 모델 연구가 수행되었다. 기타 분야로는 학교 미세먼지 관리기술 개발을 위한 건물 DB 구축 및 코드체계 표준화 연구, 1/4 공진기 기반 음향 메타물질의 광대역 차음성능 평탄화를 위한 내부 구조 설계 연구가 수행되었다.

3.2 건물에너지

Kim et al.⁽²⁵⁾은 건축물의 에너지 효율을 높이기 위해 배관의 설치 공간별 온도측정 및 국내외 배관 단열 두께 기준별 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 측정결과 실내 파이프 샤프트 내부온도의 경우 일정한 온도를 유지하는 반면 지하주차장의 경우 ‘건축기계설비공사 표준시방서’의 보온두께 기준보다 낮게 나타나 외부에 설치되는 배관의 경우 단열두께 기준의 상향을 고려해야 할 필요가 있는 것으로 나타났다. Star CCM+를 활용한 시뮬레이션 분석결과 에너지 손실이 외부에 설치되는 경우 평균 36.7% 증가하는 것으로 보고하였다.

Ahn et al.⁽²⁶⁾은 마이크로 그리드의 기술 개발을 위한 기초 연구로 기상청에서 제공하는 기상 데이터만으로 건물 전력 소비량을 예측하기 위한 방안으로 다양한 건물에 적용할 수 있는 입력 데이터 요소 방안을 도출하고자 하였다. 해당 결과를 도출하기 위해 계산된 일사 데이터가 실제 일사 데이터와 동일한 결과를 나타내는지 비교하였다. 결과 예측 모델로는 다양한 분야에서 활용되고 있는 LSTM모델이 적용되었다. 수집된 기상데이터와 계산된 일사 데이터를 통해 건물 전력 소비량을 예측하여 정확도를 비교하였으며 CVMSE 27.61%, MBE 10.62%의 결과를 도출하였다.

Jang et al.⁽²⁷⁾은 다중이용시설 대상으로 환기 유무 및 ERV 사용으로 환기하는 경우에 대해 환기 횟수에 따른 냉·난방에너지 소요량을 시뮬레이션을 통해 분석하였으며, 이를 기반으로 감염률과의 상관관계를 분석하였다. TRANSYS18을 사용하여 카페 공간에서 환기율 및 방법에 따른 냉난방 부하를 계산하였다. 난방운전 시 환기율이 증가함에 따라 난방부하가 증가하였다. 난방 운전 시 현열 및 잠열부하 모두 증가하였다. 동절기에는 일정 습도로 제어하지 않으므로 현열부하만 고려한다면, ERV 도입에 따라 3ACH 환기시 비환기 대비 현열부하가 약 3.5배 증가하였으며, 환기량 확보 및 에너지 절약을 위해 ERV 사용이 바람직하다는 것을 도출하였다.

Choi and Park⁽²⁸⁾은 2025년부터 시행될 제로에너지 건축물 인증이 아파트 열원 선정에 미치는 영향에 대해

분석하였다. 실제 건설 중인 500세대 규모의 아파트 단지를 표준모델로 선정하여, 열관류율 기준을 적용하고 열원별 에너지요구량, 1차 에너지소비량, 초기투자비용 등을 비교하였다. ECO₂ 프로그램을 사용하여 에너지요구량과 1차 에너지소비량을 평가하였다. 1차 에너지소비량을 줄이는 방안으로 지역난방을 적용하는 방안이 고려될 수 있으며, 1차 에너지 환산계수가 0.728로 가스 1.1보다 작기 때문에 1차 에너지소비량에서 유리한 것으로 분석되었다. 지역난방을 열원으로 적용할 경우 신재생에너지 용량이 가스보다 13.6% 감소되며 신재생에너지 초기 투자비용도 16~21% 절감되는 것으로 분석되었다.

Seo et al.⁽²⁹⁾은 복합단열벽체 적용에 따른 국가 목표 및 정책에 도달하는 고효율 제로에너지 주택의 보급률을 평가하고자 한다. 이를 위해 패시브하우스 성능기준과 비교하였으며, 실제 시공 주택모델의 봄과 여름에 실내외 온도와 습도를 측정하였다. 복합단열벽체가 적용된 주택은 Design Builder로 모델링하였으며, 열적 성능 분석을 위해 EnergyPlus 시뮬레이션 프로그램으로 분석하였다. 벽체는 내부 단열재, 중간 단열재 및 외부 단열재를 복합 단열재 벽과 비교하였으며, 벽체 열전달 계수, 패시브하우스 성능 수준에서 요구하는 결로 및 열쾌적성을 벽체 유형별로 비교하였다. 복합단열벽체 열관류율 0.108(W/m²K)만이 패시브하우스 기준을 충족하였으며, 복합단열벽체의 열저항이 타 벽체 평균값 대비 2.5배 높아 열손실 방지에 유리한 것으로 분석되었다. 복합단열벽체는 냉방 및 열회수환기 장치를 가동하지 않고도 우수한 열쾌적성을 보였으며, 난방과 축열 기능이 중요한 가을과 겨울철에도 연구 수행이 필요할 것으로 보고하였다.

Park et al.⁽³⁰⁾은 국내 기후에 적합한 데시칸트 환기설비의 기간 효율 평가 방법을 제안하기 위한 목적으로 제로에너지 건축물의 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 이를 통하여 연간 제습잠열부하 분석하고 냉방기간에 대한 부분부하율의 빈도분포를 도출하였다.

Park et al.⁽³¹⁾은 건물에너지 측정검증(M&V)을 위한 베이스라인을 산정하는 국내외 방법과 기준에 대하여 비교분석하였다. BEMS가 활성화 되지 않은 건물은 누락될 수 있는 에너지 데이터에 대한 추정, 보간 방법을 통하여 표준화, 객관화된 M&V 방법론이 필요하고 기후, 법규 제도에 적합하며 현 시장의 상황을 반영할 수 있는 최적의 기준 수립을 요구하였다.

Choi et al.⁽³²⁾은 사막기후지역의 온실에서 적용 가능한 기술을 조사하여 에너지 시뮬레이션을 통하여 피복재의 종류에 따라 평균 실내조도와 최대 냉방부하를 비교하였다. 그리고 피복재가 경질판일 경우 작물의 광량 목표치를 만족하면서 최대 냉방부하를 저감할 수 있는 것을 확인하였다.

3.3 실내 환경

Lee et al.⁽³³⁾은 결로 방지를 위한 공용배기 활용 환기시스템의 습도 저감 성능 분석을 위하여 CFD를 통해 공기온도, 상대습도 분포를 분석하였고, 실제 공동주택을 대상으로 온습도 분포를 측정하였다. 측정된 결과의 분석을 위해 Contam W 프로그램의 Air network model이 활용되었고, 기류분석은 Star-CCM+를 활용되었습니다. 해당 결과를 기반으로 공용배기 활용 환기시스템 적용 시 자연환기보다 최대 50.45% 절대습도 저감 성능이 높고 모든 실의 조건에서 최대 상대습도가 100% 미만으로 결로방지에 효과적이라는 결과를 도출하였다.

Kwon et al.⁽³⁴⁾은 예측모델에 건물에너지 최적 제어를 목적으로 열역학적 물리 모델이 연동될 수 있다는 조건 하에, 단순한 입력으로 실내 임의 영역에 대한 가상 센서로 작동하는 유체역학적 물리 모델을 제시하고 실측 및 예측 결과를 비교 및 분석하였다. 실내 임의 영역은 국부적 위치에서 온도가 측정되었으며, 유체역학적 모델을 단순화하기 위해 정상상태를 기준으로 레이놀즈 수송정리가 적용되었다. 해당 연구에서 결과적으로 제시한 유체역학적 물리 모델은 열역학적 불완전성이 전제되었음에도 실내 평균 온도를 MAE 0.195℃, RMSE 0.216℃의 결과로 비슷하게 예측한 결과를 도출하였다.

Han et al.⁽³⁵⁾은 학교 건물 미세먼지와 내·외부 요인의 상관관계에서 기밀성능을 포함하여 학교 건물의 데이터를 유형별로 분류하여 학교 건물 DB를 구축하였고 QR코드를 활용하여 보여주는 방식을 제안하였다.

Jung and Hong⁽³⁶⁾은 한국의 기후 조건으로 코로나 19 바이러스의 공기 중 확산과 증발을 현상을 분석하였다. 사회적 거리두기 기준으로 사용되고 있는 2 m를 기준으로 두 사람이 서있는 경우를 가정하여 날씨에 따른 입자의 확산과 침적, 상대습도에 따른 입자의 확산을 shear stress transport (SST) 난류모델을 사용하여 검증하였다.

3.4 기타 분야

Han et al.⁽³⁷⁾은 학교건물 미세먼지와 내외부 요인의 상관관계에서 중요할 것으로 예측한 기밀성능 외의 여러 항목을 포함하여 학교 건물의 데이터를 유형별로 분류하고 간단하게 보기 위한 목적과 코딩을 위한 목적으로 DB 구축 및 코드 표준화를 구축하였다. 데이터는 학교유형, 지역, 외부환경, 내부환경, 학교 건축 현황, 건물인증 현황 등이 고려되었다. 프로그래밍 툴은 엑셀과 Python을 통해 도출된 결과를 기반으로 Python이 높은 신뢰성이 보임을 확인하여 해당 툴이 적용되었다. 코드 표준화를 통해 현재 7가지 부류에서 세부 부류를 선택하여 최대 7가지의 조건에 따른 데이터를 출력할 수 있음이 확인되었다.

Park et al.⁽³⁸⁾은 가청 영역(20~20,000 Hz) 내에서 소리의 공명을 제어하기 위해 내부 구조를 형성하여 전송 손실을 평탄화하는 수정된 1/4 공진기 설계를 위한 설계 매개변수를 연구하였다. 내부 구조 형성을 위한 5개의 설계변수를 선정하여 2단계를 통해 매개변수 분석을 수행하였다. 파라미터는 10 mm 간격의 배치 유형을 기본으로 하여 내부 구조 형상 파라미터에 대한 전송손실 해석을 수행하였다. 그 결과 반경 0.25 mm의 원과 면적이 같은 정사각형의 구멍이 유로 간에 수직/수평 교차로 뚫려있을 때(Horizontal-Vertical-Cross_05) 기존 음향 메타물질과 비교 시 기존안과 유사한 차음량을 보존하며, 우수한 평탄성을 보이는 음향 메타물질을 설계하였다.

Jeon and Choi⁽³⁹⁾는 BIM을 활용한 건축설계 과정에서 모델상세수준 및 모델개발수준에 따른 EPI 평가가능항목을 결정하기 위한 요구사항을 판별하는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 EPI 건축부문의 항목별 채택 여부 및 배점 결정시기를 확인할 수 있는 체크리스트를 제시하였다.

4. 냉동분야

4.1 개요

2021년 냉동분야에서는 가변속 냉동시스템용 최적 절환 초평면 슬라이딩 모드 제어기, 소형 쇼케이스용 R32 인젝션 사이클, 하이브리드 데시컨트 제습시스템, 차량용 가변 압축기의 작동 토크 예측, FAPO 제올라이트 흡착제의 수분흡착특성, R-1234ze(E) 압축-흡착 하이브리드 냉동기 등에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 스마트팜에서 복합열원 히트펌프 시스템의 에너지 성능 평가, 가변속 냉동시스템 견실 온도제어, 평행류 열교환기 해석, 상변화물질을 이용한 개인 공조시스템 해석, 차량용 공기순환장치가 승객의 온열쾌적성에 미치는 영향, 원형관의 외표면 구조에 따른 R718의 막응축 특성 등에 대한 연구가 제시되었다.

4.2 냉동사이클

Yang and Jeong⁽⁴⁰⁾은 비선형성과 불확실성이 큰 가변속 냉동시스템의 강인한 온도제어를 위해 최적 절환 초평면을 갖는 슬라이딩 모드 제어를 설계하고 시뮬레이션 및 PI 제어기 실제 성능과 비교하여 평가한 결과 슬라이딩 모드 제어가 목표값에 더 빠르고 엄밀하게 수렴하며 과도 특성이 우수함을 확인하였다.

Choe et al.⁽⁴¹⁾은 가스와 액 인젝션 시스템을 적용한 R32 소형 쇼케이스 사이클의 해석연구를 수행한 결과 R410 사이클 대비 R32 사이클의 COP가 4.7% 높고 토출온도는 15.6℃ 낮아 소형 쇼케이스 사이클에서 R32를 적용한 액인젝션 기술이 효과적인 것으로 보고하였다.

Kim⁽⁴²⁾은 하이브리드 데시컨트 제습시스템의 성능지표를 명시적 함수로 표현한 해석모델을 개발하여 상용 시스템의 성능을 3~5%의 오차로 예측하고 하이브리드 시스템의 제습효율이 일반 냉각식 제습기의 155%, 열회수 냉각식 제습기의 126% 수준인 것으로 평가하였다.

Lee et al.⁽⁴³⁾은 차량용 가변 압축기의 토출 유로에서 냉매 유량에 상당하는 차압을 측정하여 토크를 연산하는 차압토크 방안을 제시하고 실차 평가를 수행한 결과 공조기의 성능에 영향을 받는 기존의 부하토크 방안에 비해 오차 평균과 범위가 현저히 개선됨을 확인하였다.

Bae and Kwon⁽⁴⁴⁾은 FAPO 제올라이트 흡착제의 수분흡착특성을 파악하기 위한 실험연구를 수행하여 동판에 흡착제를 코팅한 경우에 표면온도와 열전달계수가 크고 수분흡착량은 바인더 비율에 반비례함을

확인하고 코팅의 내구성과 흡착속도를 고려하여 최적 흡착시간 7분, 최적 바인더 비율 10%, 최적 코팅 두께 0.2 mm를 제시하였다.

Kim et al.⁽⁴⁵⁾은 R-1234ze(E) 냉매를 적용한 압축식 냉동기와 흡착식 냉동기를 결합한 하이브리드 시스템을 모사한 실험장치를 구축하여 흡착식 냉동기로 냉각되는 별도의 응축기에 공급되는 냉수의 온도, 유량 및 응축기의 크기가 성능에 미치는 영향을 분석하고 흡착식 냉동기 냉수 출구 온도에 따른 시스템 설계조건을 확인하였다.

4.3 냉동시스템

Park et al.⁽⁴⁶⁾은 인공조명형 스마트팜에 복합열원 히트펌프 시스템을 적용하여 에너지 성능 평가를 수행하기 위해 각각 지열원과 수열원 히트펌프 시스템을 포함하여 열원 비중에 따라 총 5가지 경우를 모사하였다. 냉방 시는 수열원 히트펌프 적용 비율이 많은 순서대로, 난방 시에는 지열원 히트펌프 적용 비율이 많은 순서대로 COP가 큰 값을 가지는 방식이 작은 에너지소요량을 보였다. 따라서 지열원의 지속성과 수열원 우수한 냉방 능력을 결합하여 적용하는 것이 스마트팜에 복합열원 시스템이 적합하다고 제시하였다.

Kim and Jeong⁽⁴⁷⁾은 가변속 냉동시스템의 건실 온도 제어를 위해 실용적인 전달함수 모델을 기반으로 구조화 특이치 개념을 적용한 μ -제어기를 설계하였다. 설계된 μ -제어기는 실제 VSRS 기반 오일쿨러를 대상으로 시뮬레이션과 실험을 통해 그 타당성을 검증하였고, 기존의 PI 제어기와 성능 비교를 통해 그 유효성을 확인하였다.

Kim et al.⁽⁴⁸⁾은 주기적 가변되는 입구온도 조건에서 작동하는 이상적인 평행류 열교환기에 대한 1차원 과도 지배방정식의 일반해를 유도하여 평행류 로터리휠 열교환기의 해석모델을 개발하였다. 해석모델은 고온과 저온영역 NTU의 비가 1일 때 가장 정확하였으며 1에서 멀어질수록 열용량율비에 반비례하여 오차가 증가함을 확인하였다. 또한 분할비가 0에 접근할 때 직교류 열교환기의 유용도를 예측할 수 있음을 보여 제시된 해석모델이 직교류 열교환기에도 적용이 가능함을 확인하였다.

Nguyen et al.⁽⁴⁹⁾은 직팽식 소형에어컨의 응축기 역할을 수행하는 Ice-on-coil 형태에서 상변화물질을 적용한 빙축열조의 방열특성 해석을 수행하였으며, 관 길이에 따른 온도를 가정한 경험모델과 이상유동을 포함한 해석 결과를 비교하였다. 경험 모델에서 이상유동 해석 모델과 달리 방열초기에 PCM의 녹는 비율 기울기가 급히 상승하는 특징을 보였다. 응축기 역할을 수행하는 빙축열조의 방열량이 600 Wh인 소형 에어컨을 대상으로 두 모델 모두 설계 발열량을 어느 정도 만족하나, 경험 모델의 경우 이상유동을 포함한 모델에 비해 발열량을 과대평가한 결과를 보였다.

4.4 기타

Kim et al.⁽⁵⁰⁾은 멤베레인과 열펌프를 복합적으로 이용하는 건조기에 관한 연구를 실험적으로 수행하여 건조성능의 정량화를 위한 건조에너지 개념을 도입하고, 건조기 가동시 소비되는 총에너지 중에서 건조만에 사용되는 에너지량을 측정하고 제어방법의 변경을 통하여 건조성능 최적화에 관한 연구를 수행하여, 제어방법의 변경만을 통하여 약 4% 정도 에너지를 절감할 수 있다고 하였다.

Lee et al.⁽⁵¹⁾은 가변속 냉동시스템(Variable Speed Refrigeration System; VSRS)에 대한 기존의 슬라이딩 모드제어(Sliding Mode Control; SMC)의 문제점을 해결하기 위하여 상태공간모델을 토대로 2차원 위상평면을 갖는 슬라이딩 라인을 설계하여 강인한 제어성능을 확보할 수 있는 칼만상태관측기를 제안하였다. 제안된 제어기를 가변속 냉동시스템기반의 오일쿨러 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험을 통해서 제어기의 타당성을 검증하였으며, PI제어기와 비교하여 그 유효성을 평가하였다. 개발된 상태관측기는 연산에 필요한 변수와 외란을 잘 추정하였으며 기존 PI제어기와 비교하여 외란 및 모델의 불확실성에 더 강인함을 제시하였다.

Kim et al.⁽⁵²⁾은 Lee et al.⁽⁵¹⁾과 같은 가변속 냉동시스템의 노출된 배관을 통해 유인되는 외란에 대응할 수

있는 강인한 H_{∞} 제어기를 설계하고 오일쿨러시스템에 적용하여 실험결과를 통하여 PI제어기와 개발된 제어기의 유효성을 입증하였다. 시뮬레이션 결과 열부하 20%의 변동시 최대 온도 변동량과 정착시간의 오차는 0.1°C , 190초 이내로 거의 일치하였고, H_{∞} 제어기는 PI제어기 보다 열전대센서 잡음 유입으로 인한 조작량의 변동폭을 현저히 줄일 수 있음을 확인하였다.

Oh et al.⁽⁵³⁾은 Lee et al.⁽⁵¹⁾ 및 Kim et al.⁽⁵⁰⁾의 시스템과 동일한 가변속 냉동시스템용 오일쿨러용 제어기 설계의 문제점을 보완하는 고성능의 최적 서보제어기 설계법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 최적 제어기는 시스템상의 목표입력에 엄밀히 추종하는 서보(Servo)형으로 Matlab기반의 컴퓨터 시뮬레이션과 지령값 변경 및 외란 인가실험을 통하여 설계된 제어기의 타당성을 검증하고, 최종적으로 PI제어기와의 비교를 통하여 제안된 제어기의 차별성과 효율성을 검증하였다. 연구결과 최적 서보제어기의 평가함수를 최소화하는 최적제어입력을 구현하여 오일출구온도를 허용오차범위 $\pm 0.1\%$ 내로 제어할 수 있음을 제시하였다.

Lee⁽⁵⁴⁾은 SUV 또는 MPV 차량에서 2열 및 3열석 탑승자의 온열쾌적성 향상을 위하여 간편하고 저렴한 공기 순환 장치로 전석의 차가운 바람을 적절히 후석 탑승자에게 공급함으로써 온열쾌적성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 실차 실험 결과, 공기 순환 장치를 작동하면 각 좌석간 고른 온도 분포로 인하여 3열석과 1열석의 온도차이가 $0.4\sim 2.4^{\circ}\text{C}$ 로 줄어들고, 사용자가 설정한 온도에 보다 근접하게 제어된다고 보고하였다.

Kim et al.⁽⁵⁵⁾은 관군에서 원형관의 형상 및 배열 순서에 따른 막응축 열전달 특성을 관찰하기 위해 3종의 원형관(Bare, Corrugate 및 Endcross)을 이용해 R718의 막응축 특성을 분석하였다. 그 결과 상단부에서 하단부의 원형관으로 갈수록 침수효과로 인해 막응축 열전달계수가 감소하는 효과와 원형관 표면의 과냉도 감소에 의한 열전달계수 상승 효과가 복합적으로 작용해 원형관 순서에 따른 막응축 열전달 계수는 U형태를 나타낸다고 보고하였다.

5. 열전달

5.1 개요

열전달 분야에서는 증발열전달 및 응축열전달 특성에 관한 연구를 비롯하여 원통형 리튬이온 배터리의 열폭주 특성, 환-튜브 열교환기에서의 착제상 거동, 그리고 이산화탄소 하이드레이트 형성을 이해하기 위한 연구가 수행되었다. 또한, 발전기 냉각용 열교환기 최적화 및 이상냉각시스템에 관한 연구를 비롯하여 축열 성능, 유기 랭킨 사이클 작동유체 선정, 건축물 연료전지 시스템 용량 설계, 그리고 오리피스 내부의 일반적인 캐비테이션 현상을 이해하기 위한 연구가 수행되었다.

5.2 증발 및 응축 열전달

Jeong and Yun⁽⁵⁶⁾는 CCS 수송과정 중 발생하는 증발열전달 특성 및 불순물이 이산화탄소의 증발열전달에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 불순물을 포함한 이산화탄소의 열전달계수가 순수 이산화탄소의 열전달계수 대비 평균 14.7% 낮음과, 불순물의 농도가 1%에서 5%로 증가할수록 열전달계수가 감소함을 관찰하였다.

Choi and Oh⁽⁵⁷⁾는 내경 4 mm인 세관을 이용한 tube-in-tube 열교환기 및 내경 8 mm인 이중관형 열교환기에서 R-407C와 R-22의 응축열전달 실험을 수행하여 내경 4 mm×4 ch 열교환기에서의 응축열전달계수와 압력강하가 내경 8 mm×1 ch에서의 그것들보다 각각 40% 이상 및 2.5배 증가함을 관찰하였다.

5.3 열전달 일반

Kang et al.⁽⁵⁸⁾은 다양한 송풍기 Fan 회전수에 대하여 빨래 내 수분 함유율 및 빨래 무게에 따른 건조기 드럼 내부 공기 유량을 측정함으로써, 수분 함유율 및 빨래 무게에 따른 드럼 내 공기 유량의 변화 경향을 살펴보았다. 결과로서 수분 함유율에 따른 유량의 변화를 예측하는 무차원 유량 상관식을 제시하였다.

Lim et al.⁽⁵⁹⁾은 다양한 송풍기 Fan 회전수에 대하여 빨래 내 수분 함유율 및 빨래 무게에 따른 건조기 드럼 내부 공기 유량을 측정함으로써, 수분 함유율 및 빨래 무게에 따른 드럼 내 공기 유량의 변화 경향을 살펴보았다. 결과로서 수분 함유율에 따른 유량의 변화를 예측하는 무차원 유량 상관식을 제시하였다.

Park et al.⁽⁶⁰⁾은 중저온의 열원을 공급받는 경우 온수공급을 위한 에너지저장시스템을 연구했다. SrCl₂와 NH₃에 대해 수치해석을 진행한 결과 구동조건에 따라 유효 에너지밀도 및 온수의 온도가 달라짐을 확인했다.

Kim et al.⁽⁶¹⁾은 Low GWP 냉매 개발과 함께 냉매 충전량 저감 이슈로 주목받고 있는 유하액막식 증발기와 관련하여 선행적인 연구로 R-1233zd(E)의 유하액막식 증발 열전달 성능 시험을 수행하였다. 트레이로 공급되는 냉매 순환 유량 및 포화온도의 변화에 따라 증발열전달계수의 성능 변화를 실험적으로 확인하였다.

5.4 기타

Gang et al.⁽⁶²⁾은 원통형 리튬이온 배터리의 열폭주에 대한 온도, 크기, 양극 활물질의 영향을 고찰하기 위한 수치해석적 연구를 수행하였다. 배터리 내부 온도가 증가할수록 열폭주 시간이 급격히 빨라지는 것을 확인하고 해석 대상 배터리 셀의 열폭주 발생시간 예측식을 도출하였으며, 다양한 양극활물질에 대한 열폭주 시뮬레이션을 수행하여 NCM 계열 배터리는 Ni 함량이 증가할수록 열적 안정성이 하락하는 경향을 보임을 확인하였다.

Lee et al.⁽⁶³⁾은 환-튜브 열교환기에서 초발수 코팅의 적용이 착제상 거동에 미치는 영향을 고찰하기 위해 서로 다른 접촉각을 가지는 노-코팅, 발수, 초발수 표면 열교환기를 대상으로 실험을 수행하였다. 성에 성장에 따라 접촉각이 더 큰 표면을 사용할수록 열전달률과 공기측 압력강하 성능 저하가 감소함을 확인하였으며, 발수 표면 및 초발수 표면의 열전달률이 노-코팅 표면 대비 각각 평균적으로 약 1.93% 및 6.73% 높음을 관찰하였다.

Yun et al.⁽⁶⁴⁾은 수평 배관을 따라 화학 첨가물이 존재하는 조건에서 이산화탄소 하이드레이트 형성 특성을 고찰을 위해 CFD 모델링을 수행하였으며, 평균 하이드레이트 질량분율이 화학첨가물에 의해 8%에서 14%로 증가함을 관찰하였다.

Moon et al.⁽⁶⁵⁾은 해수를 이용한 발전플랜트의 지중 냉각수 취수 시스템에서 inlet bay의 길이에 따른 서지 해석결과를 보고하였다.

6. 결 론

2021년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열전달 및 열유체 4개의 분야로 분류하여 연구동향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건축기계설비분야는 총 24편의 연구논문이 보고되었으며, 그 주제로는 그 주제로는 냉난방 및 환기시스템, 신재생에너지 설비에 관한 연구 등이 보고되었다.
- (2) 건축환경분야는 총 15편이 연구논문이 보고되었으며, 주제는 미세먼지, 환기, 결로, 냉·난방부하, 제로에너지 건축물, 건물에너지 성능 평가 등에 관한 연구이었다.
- (3) 냉동분야는 총 16편의 논문이 보고되었으며, 가변속 냉동시스템용 최적 절환 초평면 슬라이딩 모드 제어기, 소형 쇼케이스용 R32 인젝션 사이클, 하이브리드 데시컨트 제습시스템, 차량용 가변 압축기의 작동 토크 예측, FAPO 제올라이트 흡착제의 수분흡착특성, R-1234ze(E) 압축-흡착 하이브리드 냉동기 등에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 차량용 공기순환장치, 복합열원 히트펌프 시스템, 가변속 냉동시스템 견실 온도제어, 평행류 열교환기, 상변화물질, R718의 막응축 특성 등에 관한 것들이었다.
- (4) 열전달/열유체 분야는 총 10편의 논문이 보고되었으며, 발열전달 및 응축열전달 특성에 관한 연구를 비롯하여 원통형 리튬이온 배터리의 열폭주 특성, 환-튜브 열교환기에서의 착제상 거동, 이산화탄소 하이드레이트 형성, 유기 랭킨 사이클 작동유체 선정, 건축물 연료전지 시스템 용량 설계, 그리고 오리피스 내부의 일반적인 캐비테이션 현상을 이해하기 위한 연구가 수행되었다.

References

1. Lee, Y. J. and Kim, Y. I., 2021, Efficient Plan of Mechanical Facility Piping Work Cost Estimation due to Design Changes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 7, pp. 332-341.
2. Kim, M. H., Kim, D., Lee, D. W., and Heo, J., 2021, Applicability of a Renewable Energy Convergence System based on Seasonal Thermal Energy Storage for Greenhouse, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 395-403.
3. Kim, J. and Jeong, J. H., 2021, Flow Distribution Characteristics According to Variation of Flow Resistance in the Header Supplying Working Fluid to Multiple Fan Coil Units, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 413-421.
4. Kim, M. H., Kim, D. W., Lee, D. W., and Heo, J., 2021, Experimental Investigation of the Bi-Directional Heat Supply Operation in a Thermal Network with Multiple Heat Prosumers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 9, pp. 456-464.
5. Choi, E. H., Lee, T. G., and Kim, S. H., 2021, A Suggestion on BIM Mechanical Design Process and Level of Modeling Detail, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 9, pp. 476-483.
6. Cho, J., Park, B., Jeong, Y., and Go, M. G., 2021, An Empirical Study on Cooling Performance Evaluation of Independent Modular Air Containment and Row-based Cooling System for High-Density Data Centers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 10, pp. 494-505.
7. Kim, J. H. and Kim, H. G., 2021, The Cooling System Design Support and Energy Analysis Tool for Performance-based Design of a Data Center, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 10, pp. 543-555.
8. Kim, K. D. and Kim, Y. I., 2021, Predictive Maintenance and Fault Diagnosis of Three-Phase Induction Motor Using MCSA(Motor Current Signature Analysis), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 656-669.
9. Cho, J., Kim, J., Park, C. W., Sung, B. C., and Son, M., 2021, A Case Study on Prediction of Marine Organisms inflow and Submarine Sediment in a Seawater Intake System of a Power by CFD Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 670-681.
10. Kim, H. W., Lee, Y. S., and Nam, Y., 2021, A Study on the Characteristics of Smoke in the Depth of the Smoke Reservoir Screen in Large Volume Space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 064-071.
11. Jung, T. and Shin, Y., 2021, Dynamic Analysis and ROP Calculation of Directional Drilling Using Finite Element Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 015-024.
12. Kim, M., Lee, D., Kim, D., and Heo, J., 2021, Feasibility Study of Bi-Directional Heat Supply in a Small Thermal Network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 33, No. 1, pp. 031-041.
13. Jung, M., Han, S., Yoo, S., Lee, J., and Hong, J., 2021, A CFD Simulation of a Negative Pressurized Medical Container for COVID-19 Testing, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 072-079.
14. Yang, J. and Park, S., 2021, An Analysis of the Energy-Saving Effects of the Ventilation System Operation Method in Small-Sized Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 090-099.
15. Kwon, Y., 2021, Sealing Performance Affected by the Operating Condition of Horizontal Blowing Air Curtain, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 142-153.
16. Cho, J., Choi, W., Jang, S., Lee, J., Park, C., and Lee S., 2021, An Experimental Comparison Study on the Thermal Performance of Hot- and Cold-Aisle Containment Systems for Data Center Cooling, Korean Journal of

- Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 165-178.
17. Choi, S., Yoo, J., Kim, S., and Park, J., 2021, The Optimal Insertion Position of PCM for the Improvement of the Thermal Comfort of Floor Radiant Heating Systems During Intermittent Operations, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 5, pp. 233-243.
 18. Jeong, C., Kim, C., and Kim, W., 2021, The Development of a Rule-Based Fault Detection and Diagnostic System to Use for the Economizing of HVAC Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 5, pp. 244-253.
 19. Lee, H., Park, B., Song, H., Ryu, S., and Yoon, H., 2021, A Study on the Status Analysis of Air Conditioning Systems to Reduce Fine Dust in School Classrooms, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 5, pp. 254-263.
 20. Park, S., Park, S., and Song, D., 2021, Effect of Installation of Ventilation Systems and air Cleaning Units in Daycare Center on Particulate Matter Reduction Using Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 7, pp. 359-368.
 21. Park J., Park S., Park S., and Song D., 2021, Simulation Analysis of Indoor Particulate Matter Reduction Effect by Installing an Air Curtain in a Daycare Center, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 404-412.
 22. Park, S., Park, S., and Song, D., 2021, The Effect of Countermeasures for the Generation and Transport of Particulate Matter to Adjacent Rooms when Cooking in Daycare Center Using Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 9, pp. 435-446.
 23. Jeong, J. and Koo, B., 2021, Analysis of Power Consumption Reduction According to Peak Load Control of Buildings with Photovoltaic and ESS System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 7, pp. 350-358.
 24. Choi, T. and Hong, H., 2021, Thermal Performance Evaluation of Building Integrated Forced Circulation Solar Water Heater(Part 1: Verification Experiment), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 385-394.
 25. Kim, S. E., Song, Y. W., and Park, J. C., 2021, Comparison of Insulation Surface Temperature and Energy Loss Based on the Location of a Hot-Water Pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 025-030.
 26. Ahn, Y., Lee, Y., Oh, E. J., and Kim, B., 2021, Prediction of Building Power Consumption in the Short-Term Solar Radiation Calculation Based on Ultra-short weather Forecast Data, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 113-121.
 27. Jang, S., Ko, Y., Park, B., and Hong, H., 2021, Thermal Load and the Probability of Infection according to the Ventilation Rate of Multi-Use Facilities Applying ERV, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 199-207.
 28. Choi, S. G. and Park, D. Y., 2021, A Study on the Effect Analysis of the Selection of Heat Source in Apartment by Zero Energy Building Certification, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 265-271.
 29. Seo, J. W. and Kim, Y. I., 2021, A Study on the Cooling Load of a House with Complex Insulation Walls, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 281-292.
 30. Park, S., Ahn, B., and Jung, Y., 2021, Proposal of Periodic Efficiency Evaluation Method for Desiccant Ventilation System in Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 293-299.
 31. Park, Y., Seo, M., and Park, J., 2021, Analysis of Baseline Standard for Building Energy Measurement & Verification, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 7, pp. 313-319.
 32. Choi, S., Hwang, D., and Park, D., 2021, A Comparison of Cooling Effect of Cooling Package System with

- Desert Climate Smart Farm, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 682-690.
33. Lee, S., Choi, G. S., Lee, Y. J., and Lee, H. H., 2021, An Analysis of the Humidity Reduction of Ventilation System Using Centralized Exhaust Fan in Condensation Prevention, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 55-63.
 34. Kwon, O. I., Kim, Y. I., and Kim, S. H., 2021, Prediction Model of Indoor Temperature Distribution for Optimal Control of Building Energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 130-141.
 35. Han, H., Hong, H., and Min, J., 2021, A Study on the Construction of the Building DB for School Particulate Matter Management Technology Development Using QR Code, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 9, pp. 465-475.
 36. Jung, M. and Hong, J., 2021, Analysis on Dispersion of Airborne Cough Droplets for COVID-19 Social Distancing Policy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 10, pp. 533-542.
 37. Han, H., Oh, H., Hong, H., and Min, J., 2021, A Study on the Building Information Database Construction and Code System Standardization for School Particulate Matter Management Technology Development, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 43-54.
 38. Baek, S. H. and Park, S. H., 2021, Parametric Design for the Broadband Flatness of Acoustic Metamaterial Based on a 1/4 Resonator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 179-189.
 39. Jeon, S. and Choi, G., 2021, A Study on Energy Performance Index scoring items by Level of Detail and Level of Development for BIM, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 11, pp. 579-588.
 40. Yang, S. W. and Jeong, S. K., 2021, Robust Temperature Controller Design Based on a Sliding Mode with Optimal Switching Hyper-plane for a Variable Speed Refrigeration System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 101-112.
 41. Choe, J., Jung, J., and Jeon, Y., 2021, Potential Benefits of Saturation Compression Cycle with Liquid Injection in Showcase Vapor Compression Cycle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 190-198.
 42. Kim, D. S., 2021, Analytical Modeling of a Hybrid Desiccant Dehumidifier, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 5, pp. 218-232.
 43. Lee, T. J., Jung, D., and Kim, J. H., 2021, Compressor Torque Calculation by Differential Pressure Measurement, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 7, pp. 342-349.
 44. Bae, K. J. and Kwon, O. K., 2021, Water Vapor Adsorption and Heat Transfer Characteristics of FAPO Zeolite Adsorbent Coating Plate with Operating Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 8, pp. 377-384.
 45. Kim, D. H., Yoo, J. W., and Lee, K. H., 2021, A Study on the Performance Characteristics of the Multi Condensing Source Based R-1234ze(E) Refrigeration Cycle for a Hybrid Adsorption Chiller Application, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 9, pp. 447-455.
 46. Park, S., Han, H., Hong, H., and Min, J., 2021, A Study on Energy Performance Evaluation of Combined Heat Source Heat Pump System Consisting of Ground and Water Sources in Smart Farm, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33 No. 11, pp. 608-618.
 47. Kim, I. and Jeong, S., 2021, μ -Synthesis Controller Design Based on Structured Uncertainty of a Variable Speed Refrigeration System for Robust Temperature Control, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33 No. 12, pp. 619-632.

48. Kim, D., 2021, Mathematical Solution for a Periodic Parallel-Flow Heat Exchanger and its Application: Case Study, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 7, pp. 320-331.
49. Nguyen, H., Duong, X., and Chung, J., 2021, Analysis of Roving Personal Air Conditioning Using Phase Change Material, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 8, pp. 369-376.
50. Kim, B., Jang, J., Lee, I., and Park, Y., 2021, A Study on the Drying Energy for a Dryer with Red Pepper, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 10, pp. 485-493.
51. Lee, J. and Jeong, S., 2021, Robust Temperature Control for a Variable Speed Refrigeration System Based on Sliding Mode Control Using a Kalman State Observer and Feedforward Controller, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 10, pp. 506-519.
52. Kim, D. and Jeong, S., 2021, H-infinity Controller Design for Robust Control of Variable Speed Refrigeration System with Disturbance and Model Uncertainty, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 10, pp. 520-532.
53. Oh, H. and Jeong, S., 2021, Precise Temperature Control of Multi-Input Multi-Output Variable Speed Oil Cooler System Based on Optimal Servo Control Using Genetic Algorithm, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 11, pp. 566-578.
54. Lee, D., 2021, Impact of an Automobile Air-Circulator on Thermal Comfort of Rear Passengers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 11, pp. 589-598.
55. Kim, J., Lee, D., and Kim, S., 2021, A Study on the Film Condensation Characteristics of R718 According to the External Surface Structure of a Circular Tube in a Horizontal Tube Bundle, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 9, pp. 423-434.
56. Jeong, J. H. and Yun, R., 2021, Comparison of the Correlations Between the Heat Transfer Coefficient and the Pressure Drop of CO₂ with Non-Condensable Gas, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 4, pp. 155-164.
57. Choi, K. I. and Oh, J. T., 2021, The Condensation Heat Transfer Characteristics of R-22 and R-407C Inside Small Diameter Tube-in-Tube Heat Exchangers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 2, pp. 80-89.
58. Kang, S., An, J., Shin, H., Youn, B., Yoo, J., Kim, H., Jo, B., Wee, H., Kim, D., and Kwon, O., 2021, An Experimental Study on the Variation of Air Flow Rate inside Dryer Drum with respect to Weights and Moisture Content of Clothes, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 1, pp. 008-014.
59. Lim, H., Lee, W., and Shin U., 2021, Theoretical Analysis of the Flow and Thermal Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 5, pp. 209-217.
60. Park, M., Lee, W., Lee, S., Duong, X., and Chung, J., 2021, Feasibility Study on Thermochemical Energy Storage Using Medium and Low Temperature Heat Source, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 6, pp. 272-280.
61. Kim, D., Kim, J., and Lee, K., 2021 An Experimental Study on Performance Characteristics of Falling Film Evaporative Heat Transfer for R-1233zd(E) Refrigerant, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 11, pp. 599-607.
62. Gang, M. B., Kim, M. G., and Kim, N. J., 2021, Numerical Study on Thermal Runaway by Temperatures, Appearance Sizes, and Cathode Active Materials in Cylindrical Lithium-Ion Batteries, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No. 12, pp. 633-644.
63. Lee, W. J., Bae, K. J., and Kwon, O. K., 2021, Effect of Super-Hydrophobic Coating on Frost/Defrost behavior in Fin-Tube Heat Exchangers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 33, No.

- 3, pp. 122-129.
64. Yun, R., Prah, B., and Lee, K., 2021, CFD Modelling of CO₂ Hydrate Formation in the Presence of Additives, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 645-655.
65. Moon, J., Kim, J., and Lee, S., 2021, Surge Analysis of Underground Seawater Intake System in a Power Plant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 33, No. 11, pp. 557-565.