

## 설비공학 분야별 최근 연구 동향:

### 2022년 설비공학논문집 발표논문에 대한 종합적 고찰

#### A Review of Papers Published in Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2022

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

<sup>1</sup>성균관대학교 건설환경공학부 교수, <sup>2</sup>한국교통대학교 기계공학과 교수, <sup>3</sup>연세대학교 건축공학과 교수,

<sup>4</sup>아주대학교 기계공학과 교수, <sup>5</sup>부산대학교 건축공학과 교수, <sup>6</sup>제주대학교 기계공학과 교수,

<sup>7</sup>한국에너지기술연구원 연구기획조정실 실장, <sup>8</sup>한양대학교 건축공학부 교수,

<sup>9</sup>국립한밭대학교 설비공학과 교수, <sup>10</sup>조선대학교 기계공학과 교수

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

<sup>2</sup>Professor, Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon, 16499, Korea

<sup>5</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Pusan, 46241, Korea

<sup>6</sup>Professor, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University, Jeju, 63243, Korea

<sup>7</sup>Director, R&D Planning & Coordination Div., Korea Institute of Energy Research (KIER), Daejeon, 34129, Korea

<sup>8</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

<sup>9</sup>Professor, Dept. of Building and Plant Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

<sup>10</sup>Professor, Dept. of Mechanical Eng., Chosun University, Gwangju, 61452, Korea

**Abstract** This article provides an overview of the papers published in Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering (KJACR) in 2022. The following is a summary of papers reviewed.

- (1) Papers published in the KJACR encompass a wide range of topics, including energy consumption analysis, indoor environment evaluation, building energy-saving techniques, ventilation systems, renewable energy systems, and economic analysis of mechanical facilities.
- (2) The research topics in the field of indoor thermal environment and IAQ (Indoor Air Quality) included ventilation, air cleaning, cooling/heating load calculations, renewable energy applications, carbon emission reduction, and assesment of building energy performance, among other related subjects.
- (3) In the field of refrigeration, researchers have the topics for the evaluation of thermal properties of refrigerants like R448A and R449A, studying the correlation between heat pump expansion valve performance and flow, designing variable speed scroll compressors, predicting the performance of adsorption heat exchangers, and characterizing compression chillers, among other relevant investigations.
- (4) Papers published in the field of heat and heat transfer included the studies on fuel cells, analysis of heat transfer mechanisms, efficiency evaluation of industrial heat exchangers, examining thermal conductivity and viscosity of carbon dioxide mixtures, investigating the thermal runaway phenomenon in lithium-ion batteries, and analyzing the efficiencies of interstitial thermal storage district heating systems.

**Key words** Building mechanical system (건축기계설비), Heat exchanger (열교환기), Heat transfer (열전달), HVAC (냉·난방, 환기), Indoor environment (건축환경), Refrigeration (냉동), Renewable energy (신재생에너지)

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

## 1. 서 론

본 논문은 2022년도에 대한설비공학회 ‘설비공학논문집’에 발표된 60편의 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

2022년 건축기계설비 분야의 논문은 총 19편이며, 크게 기계설비 분야 전반, 냉·난방, 환기시스템 및 신재생에너지로 분류할 수 있다. 기계설비 분야 전반으로는 LD 제습 기술, 태양광열 시스템 예측 모델, NOx 저감 기술, BIM 템플릿, 위생배관 실험 등 연구가 이루어졌다. 냉난방 및 환기시스템 분야에서는 고밀도 IT전력 냉각시스템 경제성 분석, 상가건물 냉방부하 계산 분석, 교육시설 에너지 사용량 분석, 융복합시스템 제어 모델 성능 분석, 환기시스템 구성과 필터 성능 분석이 수행되었다. 신재생에너지 분야에서는 수열 히트펌프 시스템 성능, 태양광열-지열 복합 시스템, 신재생에너지 시스템 동적해석, 초본계 바이오매스 발전사업 경제성 및 신재생융복합시스템 운영비용 분석 등의 연구를 수행하였다

### 2.2 건축기계설비 전반

Yang et al.<sup>(1)</sup>은 디지털 건축산업에 대응할 수 있는 기계설비 시공용 샵드로잉을 위한 BIM 프로그램 개발을 실시하였다. 또한 프로그램 활용 효과에 대해 분석을 실시하고 시간 및 비용 단축, 간섭회피 등 그 효과를 상세히 제시하였다.

Lee and Jeong<sup>(2)</sup>은 초음파 미세분사형 LD 제습 기술이 적용된 제습 시스템을 제안하고, 여재가 적용된 기존 시스템의 대체 가능성을 평가하기 위해 다양한 액적 크기와 액기비 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 기존의 여재가 적용된 LD 시스템 제습부와 유사한 제습 성능을 갖기 위한 운전 조건을 도출하였다.

Oh et al.<sup>(3)</sup>은 시스템 성능을 설계단계에서 검토하기 위한 인공지능망 기반 태양광열 시스템의 예측 모델을 구축하고 실증실험을 통하여 수집된 데이터와 인공지능망의 예측결과를 비교하여 모델을 검증하였다.

Lee and Kim<sup>(4)</sup>은 SCR설비를 LoTOx 시스템으로 대체하는 방안 제시를 위해 NOx 저감성능, 경제성을 비교분석하며 NOx저감효율을 높이는 방법을 연구하였다.

Lee and Kim<sup>(5)</sup>은 도서납품 업무를 효율화 하며 실무자가 시공상세도를 직접 추출할 수 있는 BIM 템플릿 구성안을 제시하며 Shop BIM 프로세스와 템플릿을 파일럿 프로젝트에서 시험을 실시하였다.

Cho et al.<sup>(6)</sup>은 COVID-19 대유행 상황에서 위생배관을 통한 실내 병원균 전파 가능성에 대한 실험을 실시했다. 실험결과, 트랩의 봉수 유실을 방지하는 것이 중요하다는 것을 밝혀냈다. 그러나 봉수가 유실된 경우, 위생배관을 통해 병원균이 이동될 가능성이 있다는 것을 확인하였으며, 격리병실 등 음압을 인위적으로 유지해야 하는 시설에서는 감염 위험성이 더욱 커진다는 것을 지적하였다.

### 2.3 냉·난방 및 환기시스템

Cho et al.<sup>(7)</sup>은 고밀도 IT전력에 대응 가능한 냉각시스템의 필요 건축면적, 에너지성능 등을 정량적으로 비교하고 합리적인 냉각방식 선정의 객관적인 판단기준을 제시하였다. 또한, 각 설계 대안별 냉각 전력이용효율 및 에너지비용 대한 정량적 분석을 실시하여 경제성 관점에서도 객관적인 판단기준을 제시하였다.

Cho and Cho<sup>(8)</sup>는 소규모 상가건물의 냉방시스템 적정 용량을 제시하기 위해 KS C 9306의 단위면적당 기준 열부하와 실내공기질 관리법에 따른 환기량을 고려한 냉방부하 계산 결과를 분석하였다. 냉방부하는 입면 부위가

투과형 외피인 상가에서 항별로 차이가 발생하며, 환기량에 따른 냉방부하 증가가 크기 때문에 KS C 9306은 이를 고려한 기준을 제시하는 것이 필요하다고 판단하였다.

Jang et al.<sup>(9)</sup>은 초·중·고 학교 건물 에너지 소비현황을 조사하여 지역별, 유형별 에너지 총 조사를 기반으로 전체 교육시설의 에너지 사용량을 분석하여 교육시설의 에너지 효율화 정책방안의 기초자료를 제안하였다.

Chae et al.<sup>(10)</sup>은 공기열원 히트펌프를 기반으로 하는 융복합시스템의 최적제어를 위해 TRNSYS를 이용한 융복합 시스템의 해석 모델을 구축하였으며 축열조를 가진 히트펌프 시스템에서의 부하율 및 펌프 유량에 따른 시스템 성능 변화를 검토하였다.

Park et al.<sup>(11)</sup>은 열회수형 환기장치의 성능현황을 분석하고 특히, 고효율에너지기자재 인증 시의 풍량 별 성능분포와 미세먼지저감을 위한 공기필터 적용 후의 풍량별 성능 분포를 조사 분석하였다.

Kwon<sup>(12)</sup>은 지하주차장에 적용하는 환기시스템의 환기성능에 급기루버 위치와 유인팬 운전 유무가 미치는 영향을 평가하기 위해 수치해석을 실시하였으며 케이스 스터디를 통해 지하주차장의 급기루버 위치와 유인팬 운전이 환기성능에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

## 2.4 신재생에너지

Kwon and Nam<sup>(13)</sup>은 수열 히트펌프 시스템의 정량적인 분석을 위해 동적 에너지 시뮬레이션을 구축하고 국내 지역과 건물 조건에 따른 수열 히트펌프 시스템의 연간 성능 변화를 분석하였다.

Bae and Nam<sup>(14)</sup>은 상업용 건물을 대상으로 태양광열-지열 복합 시스템의 적용 가능성을 분석하기 위해 동적에너지 시뮬레이션 모델을 구축하였고 연간 열 및 전기적 성능 인자에 대한 상세 분석을 실시하였으며 기존 GSHP 시스템과의 비교 분석 결과를 도출하였다.

Bae et al.<sup>(15)</sup>은 심층신경망 기반 태양광열-공기열원 히트펌프 융복합 시스템의 성능예측모델 개발을 수행하고, 개발된 성능예측모델과 기존 동적에너지 시뮬레이션 결과와의 비교 분석을 실시하였다. 심층신경망 모델의 예측결과와 기존 시뮬레이션 결과와의 CV(RMSE)는 5%로 산출되어 그 신뢰성을 확인되었다.

Choi and Hong<sup>(16)</sup>은 강제순환 태양열온수기를 TRANSYS 18을 활용하여 30°, 45°, 90° 경사의 집열기에 대한 열성능 비교, 평가를 수행하였다.

Kim and Um<sup>(17)</sup>은 국내 초본계 바이오매스 연료의 실증규모 발전사업을 가정하여 사업의 경제적 타당성과 초본계 바이오매스 발전사업의 경제성 확보를 위한 방안을 제시하였다.

Park et al.<sup>(18)</sup>은 TRANSYS를 이용하여 신재생에너지 복합열원과 BTES시스템, TES를 통한 열거래와 지역난방열원을 동시에 고려하는 시스템 동적해석으로 용량에 따른 변화를 관찰하고 열거래의 실행여부와 제어조건에 따른 에너지 소비효율에 대해 분석하였다.

Kim et al.<sup>(19)</sup>은 시설원예온실에 적용된 신재생융복합시스템의 운영비용 및 온실가스절감효과를 기존 열원설비와의 비교를 통해 분석하였으며, 실증운영 결과를 반영한 비교 분석 결과, 현재 실증단지에 구축된 설비의 운영비용과 온실가스 배출량이 비교 설비에 비해 모두 낮게 운전됨을 확인하였다.

## 3. 건축환경

### 3.1 개요

2022년 건축환경 분야의 논문은 총 19편이며, 크게 실내환경 및 건물에너지 등으로 분류할 수 있다. 실내 환경분야는 실내 표면결로, 설정온도 최적화, TRNSYS 시뮬레이션, 에어컨 기류 영향, 공기열원 히트펌프, 공냉식 프리쿨링 냉동기 연구 등에 관한 논문이 있었으며, 건물에너지 분야는 냉·난방부하, 건물 에너지 소요량, 건물에너지시스템, 백업 가상센서, 태양광 시스템, 수열 히트펌프, 헬스케어 건물, 탄소배출 연구 등이 있었다.

### 3.2 실내환경

Kim et al.<sup>(20)</sup>은 고층아파트에서 실내 표면 결로의 발생 여부는 실내와 실외 공기 온도 차이와 노점온도를

사용하여 예측하였다. 그러나 표면 결로의 경우, 실질적으로 주변 공기가 표면과 접촉하여 냉각에 의하여 발생되기 때문에 이를 고려한 수식을 제안하였다. 연구에서 제안한 수식에서 실내 표면 결로 발생 여부를 저층부, 중층부 및 고층부로 나누어 일사량이 많은 주간보다는 일사량이 적은 야간에 표면 결로의 발생 확률이 높음을 확인하였다. 아울러, 풍속이 약한 저층부보다는 풍속이 강한 중층부나 고층부에서 표면 결로의 발생 가능성이 높다고 결론지었다.

Kum et al.<sup>(21)</sup>은 한국에서 발생한 사례를 바탕으로 CFD 해석을 통해 에어컨 가동 유무에 따른 바이러스 확산 메커니즘을 분석한 결과, 에어컨은 바이러스의 확산을 촉진하여 감염 위험 지역을 넓히는 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었고, 구조물에 부딪혀 오염물질이 정체되는 경우 감염 위험성이 높아진다는 것을 밝혀냈다. 에어컨을 가동하여 감염위험 범위가 넓어지는 경우 환기를 통해 오염물질을 감소시키는 것이 감염 예방에 더 효과적일 것으로 판단하였다.

### 3.3 건물에너지

Bang et al.<sup>(22)</sup>은 소형 주택의 건축 입면 디자인(창 면적)의 변화에 따른 공조 에너지 및 시공 비용 절감 효과를 분석하기 위하여 실제 소형 주택을 대상으로 연구 수행하였다. 동측 면의 창 높이를 고정하고 폭에 변화를 주어 3가지 조건에 대한 에너지소요량, 에너지 및 시공비용이 분석되었다. 입면의 창 면적을 33%씩 감소시킬 경우, 냉·난방 에너지소요량 절감을 변화는 거의 없었다. 입면 창면적비 25%에서 시공비용이 최대 절감되었다. 이러한 연구 결과를 기반으로 입면 창호 면적 변화(감소)는 연간 에너지 비용보다는 초기 시공 비용의 절감이 크다는 결론을 도출하였다.

Ku and Jeong<sup>(23)</sup>은 예측모델을 작성하여 일일최대전력이 최소화되는 예냉설정온도를 탐색하였고, 실험결과, 전력소비량은 증가했지만 일일최대전력 소비량은 감소했다. 또한, 최적예냉운전을 실시한 모든 날에 대해 전기료가 기존냉방운전보다 절감되었으며, 전력소비량을 감소시키는 다른 전략과 연동할 수 있다는 것이 확인하였다.

Ha et al.<sup>(24)</sup>은 TRNSYS를 사용하여 일반 아파트 대상 시스템 에어컨의 냉방 제어를 조합비와 부분 부하에 따라 정상 on/off 상황으로 모델링하고, 제조사의 성능 데이터를 활용하여 모델링하는 방법을 제시했다. 제안된 모델링 방법을 적용한 시뮬레이션 결과를 통해 온·습도 환경에 따른 냉방 능력 및 소비 전력의 변화를 상세하게 반영할 수 있으며, 용량 설계 목적으로 활용할 수 있다는 것을 확인하였다.

Park et al.<sup>(25)</sup>은 피복재의 태양광 시뮬레이터 장비를 활용하여 태양열 취득률을 비교분석, 입력데이터를 도출하였으며 열적 입력데이터를 기반으로 스마트팜 냉방부하 시뮬레이션을 진행하여 피복재 선정을 위한 기초자료를 제안하였다.

Choi and Yoon<sup>(26)</sup>은 빌딩 시스템 데이터 융합의 한계를 극복하기 위해 새로운 관계형 변수 기반의 데이터 축소 방법을 제안하였다. 특정 기간의 누적값이 기록된 시간 단위 데이터를 분 단위 데이터로 다운스케일링을 제시하고, 통합된 데이터셋을 가상센서 구축에 활용할 때의 효과를 분석하였다. 제시된 데이터 다운스케일링 방법을 실제 지역난방시스템이 설치된 공동주택을 대상으로 다양한 Case를 설계하여 평가하였다. Case 3 모델에서 가장 우수한 성능이 나타났으며, 이는 30.2%의 가상센서 오차가 감소되었다. 본 연구에서 제안된 다운스케일링 방법이 가상센서 모델링과 성능에 긍정적인 효과를 보일 것이라고 보고하였다.

Park et al.<sup>(27)</sup>은 건물에너지 해석에서 M&V 수행 시 에너지 소비량 등 계측 데이터에서 발생하는 누락, 오류 등을 효율적으로 보간하기 위한 방법을 제시하였다. Case study를 통해 오차로 판단된 값은 적절한 보간 방법을 적용하여, 실제값과 예측값의 비교를 통해 타당성을 검증하였다. 기간에 따른 데이터를 보간한 결과, 단기 데이터는 평균, 선형보간법을 적용하여 신뢰성 있는 데이터를 도출하였으며, 장기간의 누락 데이터의 경우 변동성에 따른 신뢰성 확보가 어려웠다. 본 연구는 전기에너지를 사용하는 건축물에 국한된 한계가 있으나, 건물에너지 소비량에 영향을 주는 많은 시스템에 보간법을 제안하여 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것이라고 보고하였다.

Kim et al.<sup>(28)</sup>은 국내 겨울철 배관 단열성능 개선을 위해 국내·외 기준 비교, 지하주차장의 현장측정, 배관 주변 온도 및 단열두께별 열에너지 손실량을 비교하였다. 국내 기준은 열전도율 시험온도 기준 적용 및

기준변경이 필요하며, 지하주차장에서 배관의 열손실은 크다는 것을 확인하였다. 또한, IECC 기준에 따른 단열두께 강화는 열에너지 손실량을 줄일 수 있는 방안이 될 것으로 예상하였다.

Oh et al.<sup>(29)</sup>은 시뮬레이션을 통해 소규모 데이터센터 전산실을 모의하여 수열, 지열 히트펌프 시스템 성능을 비교분석하며 수열원과 취수거리에 따른 경제성분석을 진행하였다.

Yang et al.<sup>(30)</sup>은 병원건물에서 과도하게 소비되는 전기에너지의 절감을 위하여 건물 에너지 최적화 및 공조 시스템 제어를 위한 기법을 개발하고자 하였다. 이를 위해 인공지능 모델들의 예측 정확도를 비교하고 최적화된 모델을 활용하여 건물 에너지 효율 향상을 위한 인공지능 모델이 연구되었다. 연구방법으로 MLR, SVM, ANN의 대표적인 예측 모델을 MATLAB과 R 프로그래밍을 통해 ASHRAE의 Great Building Energy PredictorIII 오픈 데이터 중 헬스케어 건물을 대상으로 에너지 소비 영향도 분석을 진행하였다. 상관분석과 모델 성능을 검증하는 과정을 통해 그 결과 ANN모델의 경우 RMSE값이 평균 153.2로 가장 성능이 우수하였다. 그러나 하이퍼파라미터 최적화가 요구되며 기준이 충족되었을 경우 MLR 분석의 결과인 197.0보다 매우 높은 예측 정확도를 가지는 것으로 분석되었다.

Kim et al.<sup>(31)</sup>은 노후 건축물의 녹색 리모델링 계획 수립 시 에너지 전문가와 건축물 사용자의 관심사 차이에 따른 에너지 절약 효과를 분석하고자 한다. 건물 리모델링에 대한 건물 사용자들의 의견을 조사하기 위해 수행하였다. 전문가들은 대안을 만들 때 에너지 절약에 초점을 맞추고 있는 반면, 건물 사용자들은 주로 건물 외관을 개선하기를 원합니다. 전문가들의 관점의 대안인 경우 31.8%의 건물 에너지가 절감된 것에 비해, 건물 사용자의 관점의 안을 적용한 경우는 건물 에너지의 12.6%만 절감된 것으로 나타났다.

Lee et al.<sup>(32)</sup>은 공동주택을 대상으로 공급형식(임대주택, 분양주택)과 난방방식에 따라 기계설비 요소의 민감도 분석을 통해 우선순위를 도출하여 ZEB등급별 최적 설정안을 제시하며 ZEB등급별 모델을 활용하여 에너지비용 절감 및 탄소배출량 저감 효과를 분석하였다.

### 3.4 기타 분야

Kim et al.<sup>(33)</sup>은 높은 화재 위험성을 지닌 지하도상가를 대상으로 화재·피난 시뮬레이션을 수행함으로써 연기의 영향을 고려하지 않은 상황에서의 피난안전성 평가 결과와 연기의 영향에 대한 연구를 수행하였다. 해당 내용을 대피자 이동 경로 선택에 반영하였을 때, 나타나는 사망자 수 및 사망자 발생 구역에 대해 비교분석이 이루어졌다. 이를 통해 연기의 영향을 고려한 평가 방법은 피난자가 연기확산 방향에서 벗어나는 경향이 있으므로 이러한 평가 방법이 더 타당하다는 결론을 도출하였다.

Cho et al.<sup>(34)</sup>은 공기청정기의 공기청정화 능력평가시험방법을 이용하여 식물 중 비교적 공기정화효과가 있다고 언급되는 식물을 시중에서 판매되는 식물거치형 소형 공기청정기와 결합하여 공기청정화 능력을 검토하였다. 챔버를 제작하여 기밀도 평가, 청정화능력 평가를 진행하였고, 3가지의 식물을 시험대상으로 선정하여 챔버 내 입자제거효율을 측정하였다. 정화식물을 통한 입자제거효율의 상승을 기대했지만, 일반적인 공기청정장치와 비교하였을 때 약 6배정도의 성능 차이가 나는 것으로 확인되었으며, 매우 미약한 실내 공기질 개선 효과만이 발생하는 것으로 확인되었다.

Jo et al.<sup>(35)</sup>은 데이터센터의 냉방 에너지 소비량과 데이터센터 폐열잠재량에 대한 정의를 내리고, 직접 조사를 통해 국내 10개의 데이터센터에서 잠재량을 산출한 결과를 제시하였다. 또한, 데이터센터의 측정값에 의존하지 않고 설비 정보와 랙 발열량을 통해 잠재량을 산출할 수 있는 방법론도 제시하였다.

Jung et al.<sup>(36)</sup>은 본 연구에서는 바닥복사 난방시스템에 PCM을 적용하기 위해 챔버를 이용한 PCM 용융온도 비교실험을 수행하였다. 챔버 내 바닥복사난방시스템은 공동주택의 표준바닥구조를 적용하였으며, 난방배관 하부에 none-PCM, 44°C, 35°C, 28°C PCM을 적용하였을 때 실내온도와 바닥 표면온도의 변화를 비교하였습니다. 해당 실험 결과, 보일러를 실내 공기 온도에서 작동한 후 최대 온도에 도달하는 데 필요한 시간은 PCM을 적용하지 않았을 때가 가장 빠르게 나타났고 바닥 표면온도의 경우 최대 온도에 도달하는 시간이 28°C PCM으로 가장 빨랐습니다. 보일러 정지 후 최저 온도에 도달하는 시간은 35°C PCM을 적용했을 때 실내는 물론 바닥 표면온도에서도 가장 길게 나타났다.

Jeon and Kim<sup>(37)</sup>은 기존 직산분리 모델의 단점을 개선한 모델을 구현하여, 지역특성을 요구하는 계수를

적용하지 않음으로써 어느 지역 및 건물에서도 활용할 수 있는 범용의 강화학습(RL-Reinforcement learning) 기반 직산분리 모델을 개발하였다. 제안된 모델은 기존의 직산분리 모델인 Watanabe 모델과 Reindl 모델의 오차를 강화학습 Agent가 학습하는 형태로 개발되어, Watanabe 모델을 기준으로 학습을 진행한 경우 기존 CVMSE 59%의 오차 대비 18.2%로 성능이 개선되었으며 Rindl 모델을 기준으로 학습을 진행한 경우 CVMSE 8.8%에서 6.4%로 소폭 오차가 감소하는 결론을 도출하였다.

Kim and Um<sup>(38)</sup>은 서울 지역의 기후 데이터와 냉동기 운전 데이터를 이용하여 공냉식 냉동기와 공냉식 프리쿨링 시스템의 효율을 분석하였다. 이를 통해 공냉식 프리쿨링 냉동기를 적용하면 49%의 에너지 절감이 가능하며, 제한된 코일 면적을 갖는 프리쿨링 냉동기에서는 외기 온도에 따라 냉각용량과 LMTD가 증가한다는 결론을 제시하였다.

## 4. 냉동

### 4.1 개요

2022년 냉동분야 분야의 논문은 총 7편이며, 크게 냉동사이클 및 냉동시스템으로 분류할 수 있다. 분자동역학 해석을 이용한 다양한 응축온도에서의 R448A와 R449A의 상변화 및 열물성 평가, R32냉매를 사용하는 히트펌프의 전자식 팽창밸브 질량유량 상관식 평가, 가변속 전동 스크롤 압축기의 스윙 부시 설계, 흡착열교환기의 성능예측 및 Silica gel-water 시스템 응용, 압축식 냉동기의 냉각용량, 시스템 성능계수 및 특성 변화에 대한 연구가 수행되었다.

### 4.2 냉동사이클

Lee et al.<sup>(39)</sup>은 흡수식 냉동기용 유학액막식 증발기에서 4종의 전열관(평활관, end-cross, end-dimple, end-dimple floral)의 성능을 측정하여 운전조건과 전열관 표면 형상이 열전달 성능에 미치는 영향을 분석한 결과, 표면 형상이 복잡할수록 열전달 성능이 최대가 되는 임계레이놀즈수는 작고 Nu 수가 크다고 보고하였다.

Alam et al.<sup>(40)</sup>은 새로운 혼합냉매인 R448A와 R449A의 열물성 및 상변화 과정에 대한 연구방법으로 분자동역학(MD)시뮬레이션을 수행하여 실험데이터를 보완하는 방법으로 두 냉매의 상변화 현상, 액상밀도, 점도 및 등압 열용량을 평가하였다.

Kim and Jeong<sup>(41)</sup>은 고압냉매인 R32냉매를 사용한 히트펌프에 사용되는 전자팽창밸브에 있어서 밸브의 복잡한 구조와 냉매의 증발에 의하여 발생하는 2상 유동으로 야기된 비선형 냉매토출에 대한 현재까지 개발된 유량 예측 상관식을 전자팽창밸브의 개도변화에 따른 유량측정실험을 수행하여 평가하였다.

### 4.3 냉동시스템

Lee et al.<sup>(42)</sup>은 UAM(도심 항공 운송 수단)을 위한 경량 열관리 시스템의 개발을 위해 자연냉매, HFO 및 HCFO를 포함한 다수의 냉매에 대해 냉동사이클의 성능, 열교환기의 UA값, 압축기의 비속도에 따른 크기 등을 비교하여 10만 rpm급 터보 압축기를 적용한 R1233zd 시스템을 적용하는 방안을 제안하였다.

Jeun et al.<sup>(43)</sup>은 스크롤압축기의 반경방향 간극을 최소화 해주는 순응기술로써 편심부시를 이용하는 방식에 있어 가변속운전시 선회스크롤에 작용하는 원심력이 랩 측면에 접촉력이 과중해지는 것을 해결하기 위하여 부착되는 균형추의 역학적 해석을 제시하고 이를 통해 스윙부시 최적설계 방안을 제시하였다.

Kim<sup>(44)</sup>은 일정 주기에 따라 작동하는 흡착식 냉동기의 흡착 열교환기의 성능을 예측하기 위해 흡착 열교환기의 유체, 금속 및 흡착제 제어 볼륨으로 구성된 1차원 과도 해석모델을 개발하여 흡착식 냉동기의 성능 예측 방법을 제시하였으며, 이를 적용한 결과를 보고하였다. 개발된 모델을 기반으로 흡착식 냉각식 냉동기의 성능을 예측하였으며, 작동압력의 경우 이슬점 온도로 환산하여 0.8~1.2 K, 순환수 출구온도는 2 K, 증발열량은 0.1 kW, COP는 0.04로 해석모델의 평균 오차를 확인하였으며, 오차가 발생하는 스위칭 구간의

경계조건을 개선하면 해석모델의 정확성을 향상시킬 수 있음을 보고하였다.

Kim et al.<sup>(45)</sup>은 흡착식 및 압축식 냉동기가 결합된 하이브리드 흡착식 냉동기에 있어 저온 응축열원의 유량 변화에 따른 모델별 성능 특성을 확인하여 요소 기기에 따른 응축 열량 특성, 증발 열량 특성 및 성능계수를 포함한 시스템 특성 변화를 확인하였다. 저온응축기의 부하율에 따라 응축포화온도와의 직접적인 상관관계와 특정설비의 변경에 따른 압축냉동시스템의 성능특성 고찰을 통해 냉각열량 20 RT급(70 kW), 성능계수 5.0의 냉동기 시스템 개발을 위한 요소기기의 검증에 대한 결과를 제시하였다.

## 5. 열전달/열유체

### 5.1 개요

2022년 열전달/열유체 분야의 논문은 총 15편이며, 크게 열전달/열유체 일반, 상변화 및 응축 등으로 분류할 수 있다. 일반적인 연료전지에 관한 연구를 비롯하여 열전달 촉진을 위한 비등 및 응축에 관한 열전달 해석, 산업용 열교환기 효율 향상, 응축열전달 및 막비등 열전달 특성, 이산화탄소 혼합물의 열전도율 및 점성 측정 연구, 증기발생기 세관파단사고 모의 시험설비 내 에어로졸 손실량 예측 연구, 리튬이온 배터리의 열폭주 현상 및 충전충 축열시스템의 성능 특성 연구, 그리고 시추공식 계간축열 시스템 기반 지역난방 공급 시스템의 효율 향상 타당성에 관한 연구가 수행되었다.

### 5.2 열전달/열유체 일반

Kim<sup>(46)</sup>은 작은 직경의 원통형 풀에 수평으로 설치된 전열면을 포화상태 액체질소를 이용하여 냉각시키는 비정상 실험을 수행하여, 전열면의 냉각속도를 측정함과 동시에 막비등 영역에서의 열유속을 열전도 역산법을 이용하여 산출하였다. 이를 통하여 풀의 깊이가 증가할수록 막비등 열유속에 대한 과열도 의존성이 변화함을 관찰하였으며, 이를 비정상 실험에서 발생하는 전열면 후면과 벽면 등에서의 열이동에 의한 것으로 설명하였다.

Son et al.<sup>(47)</sup>은 고체산화물 연료전지의 BoP 부분을 제외하고 SOFC Cell 부분만을 AspenPlus로 설계해 온도와 압력 등 작동 조건 및 전극의 다공도 변화에 따른 SOFC의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하고, 변수에 따라 전압이 변화하는 이유에 대해 분석하였다.

Ji et al.<sup>(48)</sup>은 AE센서와 가속도센서를 이용하여 80°C의 온수가 12 bar의 압력으로 일정하게 흐르는 이중보온관의 누수와 감육의 신호를 탐지하였다. 결과에서는 음향 방출 및 가속도 신호를 1초단위로 구분하여 특징을 적용한 결과 누수와 감육이 육안으로 확인될 만큼 분명하게 구분이 되었다고 보고하였다.

Kim and Kim<sup>(49)</sup>은 가돌리늄의 역자기 열량효과에 의해 구동되는 TM변환시스템을 제작하였으며 최종적으로 서로 다른 두 가지 타입의 발전시스템을 연계한 역자기 열량효과 발전시스템을 개발하였다. 본 연구의 결과를 통하여 TM변환발전시스템은 해수온도차발전이 이용되는 온도로 구동 및 발전 가능성을 확인할 수 있었다고 보고하였다.

Kim et al.<sup>(50)</sup>은 역설계를 기반으로 터빈 블레이드와 같은 비교적 소형 제품에 대한 역설계와 구조해석만 수행하는 것이 아닌 2.5 m에 달하는 풍력발전기 블레이드의 역설계와 그 결과물을 활용하여 공력해석을 수행하여 역설계 프로세스의 효율성을 검증하였다. 연구에서는 3D 스캐너를 활용한 풍력터빈 블레이드에 대해 오픈소스 코드를 활용하여 해석을 수행하였다.

### 5.3 상변화 및 응축

Kim et al.<sup>(51)</sup>은 하이브리드 유하액막 증발기 성능 예측을 위한 정상상태 모델링을 수행하였고, 이를 바탕으로 증발기 압력조건, 풀 비등 영역의 전열관 열수, 트레이에서의 배관 축 방향 냉매 유량 배분 비율, 유하액막 영역에서의 열전달 계수 최댓값을 변경하며 해석을 수행하였다. 유하액막 영역에서의 냉매 축 열전달 계수 최댓값이 5,000에서 11,000 W/m<sup>2</sup>K으로 증가함에 따라, 전열관 길이는 약 27% 감소하는 결과를 확인하였다.

Hong and Yun<sup>(52)</sup>은 R-1234ze(E)의 높은 환산압력 조건에서의 응축특성을 실험적으로 측정 및 분석함으로써 산업용 열교환기 설계에 대한 기초자료를 제공하였다. 동일한 환산압력조건에서 질량유속의 증가에 따라 응축열전달계수는 증가하는 결과를 얻었고, 높은 환산압력조건에서는 기존 상관식을 활용하여 응축열전달계수를 예측하고 환산압력의 증가에 따라 평균 19%씩 감소하는 경향을 반영하여 예측하였다.

Hong et al.<sup>(53)</sup>은 CCS 공정에 대한 해상 수송 조건에서 순수 이산화탄소와 CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> 혼합물의 관내 응축 열전달 특성을 실험적으로 고찰하였다. 관내 수송 중 CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> 혼합물의 열전달계수는 불순물 함량의 증가에 따라 약 10%, 응축압력의 증가에 따라 약 30.8% 감소하는 경향을 관찰하였으며, CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> 혼합물의 응축 열전달계수를 혼합물의 열적 특성과 액막응축에 대한 비응축성 가스의 영향으로 설명하고자 하였다.

## 5.4 기타 분야

Yoo and Yun<sup>(54)</sup>은 CCS의 수송과정에서 파이프라인과 외부 조건과의 단열 과정에서 필요한 초임계 상태에서 질소를 포함한 이산화탄소의 열전도율을 실험적으로 측정 및 분석하여 CCS 수송과정 설계에 기초자료를 제공하고자 하였다.

Lee et al.<sup>(55)</sup>은 증기발생기 세관과단사고 시 시험 용기에서 에어로졸 제거량을 평가하기 위한 한국원자력 연구원 내 모의 시험설비의 배관 내 에어로졸의 제거량을 해석적으로 평가하였다. 이를 통하여 입자의 직경이 1.0 μm 이하일 때 이송손실은 유량 변화에 따라 큰 변화가 없는 반면, 직경 1.0 μm 이상에서는 유량 변화에 의한 이송손실 효과가 급격히 변화하는 것을 관찰하였다.

Kim<sup>(56)</sup>은 주기적 입구조건과 주변으로의 열손실을 고려한 충전층의 1차원 과도 에너지 보존 방정식의 일반해를 기초로 충전층 축열조의 해석모델을 개발하고, 이를 사용한 해석 결과와 공개된 자갈 충전층 실험 결과를 비교함으로써 제안 모델의 타당성을 검증하고자 하였다.

Ok et al.<sup>(57)</sup>은 지역난방을 사용하는 2,000세대 규모의 서울시 재건축단지를 대상으로 신·재생에너지 의무생산량을 단순히 기존방식의 지열 히트펌프로 공급하는 기존방식과, 하절기에 저가의 신·재생/미활용 에너지나 지역난방 열을 지중에 저장하였다가 동절기에 히트펌프의 열원으로 사용하여 열을 공급하는 제안방식에 대하여 비교 검토하였다. 이를 통하여 제안방식을 채택할 경우 30년 누적 비용소요를 약 24% 가량 감축할 수 있음을 주장하였다.

Hong and Yun<sup>(58)</sup>은 배관을 통한 CCS 수송과정 중 온도 및 압력 조건에 따른 점성 및 불순물이 수송 시 이산화탄소에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 이를 통하여 기존 점성 상관식은 실험값을 크게 과대 혹은 과소 예측함을 관찰하였으며, 이를 기존 상관식의 개발에서 순수 및 불순물의 물성과 초임계 조건임을 고려하지 않음에 의한 것으로 설명하였다.

Gang and Kim<sup>(59)</sup>은 NCM811 리튬이온 배터리의 에너지 밀도 및 열폭주 현상을 21700/46800 두 가지 크기에 대해 수치해석적으로 분석하였다. 그 결과, 외부온도 150℃ 기준 21700 배터리 셀 대비 46800 배터리 셀이 약 853초 늦게 열폭주 현상을 나타냄을 관찰하였고, 이를 통해 만약 리튬 이차전지를 활용한 제품에서 화재가 발생할 경우 배터리 셀 간 최고 온도는 크게 차이 나지 않으나 화재 구역으로부터의 탈출 시간을 확보하는 안정성 측면에서는 46,800 배터리 셀이 상대적으로 우수하다는 결론을 얻었다.

Kang et al.<sup>(60)</sup>은 냉장고용 증발기 튜브의 형상이 열교환기 성능개선에 미치는 영향을 수치해석과 실험을 통해 조사하였다. 수치해석과 실험 모두 열교환기의 성능이 개선되었으며, 냉장고 증발기의 튜브를 사각타원 튜브로 변경할 경우 냉각성능 향상을 통한 에너지 효율 개선이 기대된다고 보고하였다.

## 6. 결 론

2022년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열전달 및 열유체 4개의 분야로 분류하여 연구동향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 건축기계설비분야는 총 19편의 연구논문이 보고되었으며, 그 주제로는 그 주제로는 냉·난방과 환기시스템 및 신재생에너지 설비에 관한 연구 등이 보고되었다.



- (2) 건축환경분야는 총 19편이 연구논문이 보고되었으며, 주요 주제는 실내온도, 기류 영향, 건물 에너지 소비량, 건물에너지시스템, 가상센서, 탄소배출 등에 관한 연구이었다.
- (3) 냉동분야는 총 7편의 논문이 보고되었으며, 주요 내용은 R448A와 R449A 열물성 평가, 히트펌프 팽창밸브 질량유량 상관식 평가, 가변속 전동 스크롤 압축기 설계, 흡착열교환기의 성능예측, 압축식 냉동기 특성에 대한 연구가 수행되었다.
- (4) 열전달/열유체 분야는 총 15편의 논문이 보고되었으며, 그 주제로는 연료전지, 열전달 해석, 산업용 열교환기 효율, 이산화탄소 혼합물의 열전도율 및 점성, 리튬이온 배터리의 열폭주 현상, 그리고 계간축열 지역난방 시스템의 효율에 관한 연구가 수행되었다.

## References

1. Yang, J. K., Lee, C. J., and Park S. H., 2022, A Study on the Improvement and Application of BIM Program for Shop Drawing in Construction, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 53-58.
2. Lee, S. J. and Jeong, J. W., 2022, Dehumidification Performance of a Solution Atomization based Liquid Desiccant Dehumidifier under Various Operating Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 83-90.
3. Oh, J., Bae, S., and Nam, Y., 2022, Development of a Thermal and Electrical Performance Prediction Model for a Photovoltaic-thermal System Using an Artificial Neural Network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 4, pp. 155-162.
4. Lee, J. H. and Kim, Y. I., 2022, Economic Analysis and Efficient Operation Measures of LoTOx System Applied Waste Incinerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 6, pp. 253-269.
5. Lee, Y. W. and Kim, S. H., 2022, Configuration of Modeling Template to Produce Building MEP Shop Drawings based on BIM, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 9, pp. 426-436.
6. Cho, J., Jang, S., and Park, B., 2022, An Experimental Study on the Possibility of Virus Transmission via Sanitary Plumbing Systems in a Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 12, pp. 559-568.
7. Cho, J., Lee, Y., and Lee, W., 2022, A Study on the Rack-based Cooling Approach Applicability for Stable IT Environment of High-density and Hyper-scale Data Centers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 4, pp. 183-197.
8. Cho, K. J. and Cho, D. W., 2022, Appropriate Cooling System Capacity Considering the Ventilation Rates of Small Commercial Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 7, pp. 327-338.
9. Jang, S., Park, B., Lee, T., Choi, Y., and Cho, J., 2022, Analysis of the Renewable Energy Application and Energy Consumption Structure in the Educational Facilities through a Complete Enumeration Survey, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No.11, pp. 512-522.
10. Chae, S., Bae, S., and Nam, Y., 2022, Performance Analysis for Optimal Control of Integrated System based Air Source Heat Pump: System Performance According to Flow Rate of Pump and Part-Load Ratio, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 11, pp. 523-532.
11. Park, B., Cho, J., and Oh, B., 2022, A Study on Performance Status and Test Standard of Heat Recovery Ventilator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 145-153.
12. Kwon, Y. I., 2022, A Study on the Ventilation Performance Affected by the Location of the Supply Louver and Induction Fan Installed in the Underground Parking Lot, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 5, pp. 218-227.
13. Kwon, Y. and Nam, Y., 2022, Annual Performance Analysis of River Water Source Heat Pump System According

- to Building Type and Local Condition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 4, pp. 163-171.
14. Bae, S. and Nam, Y., 2022, Performance Analysis of Tri-generation System Using Photovoltaic-thermal and Ground Source Heat Pump for Commercial Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 5, pp. 209-217.
  15. Bae, S., Chae, H., Oh, J., Chae, S., Moon, J. W., and Nam, Y., 2022, Development of Performance Prediction Model for Integrated System Combining Photovoltaic-thermal and Air Source Heat Pump based on Deep Neural Network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 390-398.
  16. Choi, T. G. and Hong, H. K., 2022, Thermal Performance Evaluation of Building Integrated Forced Circulation Solar Water Heater (Part 2: Simulation), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 9, pp. 410-419.
  17. Kim, J. H. and Um, B. H., 2022, A Study on Business Feasibility for a Herbaceous Biomass Power Plant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 9, pp. 437-445.
  18. Park, H. J., Heo, J. H., Yoon, S. M., Yun, R., 2022, Optimum Thermal Trade Control for Multiple Heat Source Facility, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 34, No. 10, pp. 472-481.
  19. Kim, D., Lee, D., Heo, J., and Kim, M. H., 2022, Analysis of Greenhouse Gas and Operation Cost Reduction Effect of a Solar Thermal-based Renewable Energy Convergence System Greenhouse, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 10, pp. 447-455.
  20. Kim, T. Y. and Cho, S. W., 2022, Theoretical Study of the Effect on Convection Heat Transfer Coefficient on Indoor Surface Condensation by Height of the High Rise Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 20-28.
  21. Kum, H. Y., Song, D. S., and Yang, J. H., 2022, An Analysis of the Effect of Air-Conditioning Air Flow on the Spread of COVID-19 Virus, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 11, pp. 503-511.
  22. Bang, J. W. and Kim, Y. I., 2022, Study of Cooling and Heating Energy Consumption and Construction Cost of a Small House with Respect to Window Wall Ratio, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 29-41.
  23. Ku, K. B. and Jeong, S. K., 2022, A Study on Daily Precooling Set-point Temperature Optimization for Reducing Peak Electric Power of an Office Building Using Genetic Algorithm, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 42-52.
  24. Ha, S. W., Jang, Y. S., and Kim, E.-J., 2022, TRNSYS Simulation Methodology of a VRF Heat Pump for Detailed Energy Analyses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 75-82.
  25. Park, D. Y., Lee, H. J., Park, D. J., and Choi, S. G., 2022, Performance Evaluation and Cooling Load Analysis Through Testing of Smart Farm Applied Covering Material, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 91-99.
  26. Choi, Y. and Yoon, S., 2022, Time Series Data Downscaling Method for Backup Virtual Sensor Performance Improvement in a Building Energy Sensor Network, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 111-122.
  27. Park Y. M., Kim S. E., Chung M. H., and Park J. C., 2022, Data Interpolation Methods for Energy Measurement and Verification (M&V) in Building Energy Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 123-129.
  28. Kim, S. E., Yoo M. S., Song, Y. W., and Park, J., C., 2022, Comparison of Standards and Thermal Energy Loss for the Insulation Thickness of Heating Pipes Exposed to Outdoor Air, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 130-137.
  29. Oh, J. H., Bae, S. M., Kwon, Y. S., and Nam, Y. J., 2022, Performance and Economic Analysis of Water Source

- Heat Pump System According to Water Intake Distance and Capacity, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 5, pp. 244-251.
30. Yang, Y. K. and Park, J. C., 2022, A Study Energy Efficiency Prediction Model with AI-Based in Healthcare Building, *Vol. 34, No. 7*, pp. 336-344.
  31. Kim, D. H., Kim, E. S., and Song, D. S., 2022, Analysis of the Energy Saving Effects According to Differences in Interests Between Experts and Building Users When Establishing a Green Remodeling Plan for Old Buildings, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 9, pp. 399-409
  32. Lee, D. H., Won, J. Y., Yang, D. H., and Choi, Y. C., 2022, An Analysis of Energy Cost and Carbon Emissions Reduction Effects by an Energy Roadmap for Mechanical Facilities in Multi-Unit Dwelling, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34 No. 10, pp. 491-502.
  33. Kim, J. H., Lee, K. H., and Lee, J. G., 2022, A Effect of Smoke Spread on the Evacuation Route Selection of Evacuees in the Evacuation Safety Evaluation, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 68-74.
  34. Cho, J., Jang, S., Shin, C., and Park, B., 2022, An Experimental Study on the Removal Efficiency and Air Purification Performance of Air Purifiers with Air Purifying Plants, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 6, pp. 270-280.
  35. Jo, H. R., Yun, R., and Oh, S. S., 2022, A Study on Prediction of Waste Heat Potential for Domestic Data Center, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 7, pp. 345-351.
  36. Jung, Y. K., Kim, S. E., Yoo, M. S., Song, Y. W., and Park, J. C., 2022, Chamber Experiment by PCM Melting Temperature of Underfloor Radiant Heating System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 8, pp. 353-358.
  37. Jeon, B. K. and Kim, E. J., 2022, Development of a Solar diffuse Irradiance Prediction Model using Existing Solar Decomposition Models and Reinforcement Learning, *Vol. 34, No. 11*, pp. 533-542.
  38. Kim, J. H. and Um, B. H., 2022, Energy Efficiency Analysis of Air Cooled Free-Cooling Chillers in Data Center, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 12, pp. 595-599.
  39. Lee, W. J., Bae, K. J., and Kwon, O. K., 2022, Effect on Heat Transfer Performance in Heat Transfer Tube Shape of Falling-film Evaporator for Absorption Chillers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 5, pp. 228-235.
  40. Alam, M. S., Kim, T., and Jeong, J. H., 2022, Evaluation of Phase Transition and Thermal Properties of R448A and R449A Using Molecular Dynamics Simulation at Various Temperatures, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 5, pp. 236-243.
  41. Kim, M. K. and Jeong, J. H., 2022, R32 Evaluation of Mass Flow Rate Correlation of Electronic Expansion Valve Using R32 Heat Pump, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 7, pp. 307-315.
  42. Lee, T. J., Jung, D., and Kim, J. H., 2022, A Design of the 20 kW Refrigerant Cycle used in the Urban Air Mobility, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-9.
  43. Jeun, S. H, Kim, J. Y., Jeun, B. I., Jeong, D. W., Lim, J. T., and Kim, H. J., 2022, A Study of Swing Bush Design for a Variable Speed Electric Scroll Compressor, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34. No. 11, pp. 543-552.
  44. Kim, D. S., 2022, One-Dimensional Transient Solution for Adsorption Heat Exchangers and Its Application *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 12, pp. 569-585.
  45. Kim, D. H., Chung, Y., Yoo, J. W., and Lee, K. H., 2022, A Study on the Performance Enhancement of the Multi Condensing Source for R-1234ze(E) Refrigeration Cycle, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 34, No. 12, pp. 586-594.
  46. Kim, Y. C., 2022, Experimental Study on Film Boiling Heat Transfer of Liquid Nitrogen in Small Cylindrical

- Pool, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 138-144.
47. Son N., Won Y., Park K., Park W., and Shin J., Numerical Analysis of the Impact of Operating Parameters on the Polarization Characteristics of Solid-oxide Fuel Cells, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 359-370.
  48. Ji H. W., Jang H., Hwang I., and Lee H., 2022, Experimental Study on Leak and Wall-thinning Detection by Acoustic Emission and Vibration Features of District Heating Pipe, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 380-389.
  49. Kim M. G. and Kim N. J., 2022, CAD Data Generation and Aerodynamic Analysis of 3 kW Small Wind Turbine Blades Designed Through the Reverse Design Process Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 10, pp. 456-471.
  50. Kim, Y., Ko, Y., Kim, J. W., and Oh, S. J., 2022, A Study on the Power Generation System with Reverse Magnetocaloric Effect for Ocean Thermal Energy Conversion, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No.12, pp. 553-558.
  51. Kim H. S., Kim W., Lee K., and Kim D., 2022, Numerical Study on the Performance of Hybrid Falling Film Evaporator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No.8, pp. 371-379.
  52. Hong K. and Yun L., 2022, In-tube Condensation Heat Transfer Characteristics of R1234ze(E) at High Reduced Pressure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No.9, pp. 420-425.
  53. Hong, K. H., Baik, W. G., and Yun, R., 2022, In-tube Condensation Heat Transfer Characteristics of CO<sub>2</sub> with CH<sub>4</sub> at Near Critical Pressure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 1, pp. 10-19.
  54. Yoo, G. and Yun, R., 2022, Measurement of Thermal Conductivity for Supercritical CO<sub>2</sub> with Nitrogen, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 59-67.
  55. Lee, M-S., Lee, H-J., Ha, K-S., and Kim, S-I., 2022, Aerosol Loss Prediction by PLC in the Steam Generator Tube Rupture Experimental Set-up, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 100-109.
  56. Kim, D. S., 2022, Performance Characteristics of Packed-bed Thermal Storage Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 4, pp. 172-182.
  57. Ok, J. S., Ahn, I. R., and Karng, S. W., 2022, A Study on the Application and Efficiency Improvement of Fourth Generation District Heating by the Borehole Thermal Energy Storage System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 4, pp. 198-207.
  58. Hong, K. H. and Yun, R., 2022, Measurement of Viscosity for CO<sub>2</sub> Mixture Under Supercritical Condition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 6, pp. 281-291.
  59. Gang, M. B. and Kim, N. J., 2022, Numerical Study on Energy Density and Thermal Runaway According to the Size of Lithium-ion Batteries, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 7, pp. 316-326.
  60. Kang J. W., Kim J., Lee H., and Jeong J. H., 2022, Performance Comparison of Fin-Tube Heat Exchanger for Household Refrigerator Evaporator Composed of Round Tube and Round Rectangle Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No.10, pp. 482-490.