

## 설비공학 분야별 최근 연구 동향:

## 2023년 설비공학논문집 발표논문에 대한 종합적 고찰

### A Review of the Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2023

안 준(Joon Ahn)<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>, 이광호(Kwang Ho Lee)<sup>8</sup>, 정재원(Jae-Weon Jeong)<sup>9</sup>, 조진균(Jinkyun Cho)<sup>10</sup>, 조흥현(Honghyun Cho)<sup>11</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 기계공학부 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 열에너지시스템연구실 책임연구원,

<sup>8</sup>고려대학교 건축학과 교수, <sup>9</sup>한양대학교 건축공학부 교수, <sup>10</sup>국립한밭대학교 설비공학과 교수,

<sup>11</sup>조선대학교 기계공학과 교수

<sup>1</sup>Professor, School Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

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

<sup>3</sup>Professor, Department 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, Busan National University, Busan 46241, Korea

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

<sup>7</sup>Principal Researcher, Thermal Energy Systems Lab., Korea Institute of Energy Research, Daejeon 34129, Korea

<sup>8</sup>Professor, Department of Architecture, Korea University, Seoul 02841, Korea

<sup>9</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>10</sup>Professor, Department of Building and Plant Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

<sup>11</sup>Professor, Department of Mechanical Eng., Chosun University, Gwangju 61452, Korea

(Received May 03, 2024; revision received May 07, 2024; Accepted: May 08, 2024)

**Abstract** This article offers a comprehensive overview of the latest research findings in the realms of heating, cooling, ventilation, sanitation, and building and plant indoor environments. It does so through a thorough examination of articles published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering over the course of 2023. Below is a summarised outline of the papers that were reviewed.

- (1) The range of topics scrutinised in the domain of building mechanical systems extends to general building energy facilities, the energy efficiency within HVAC systems, and pertinent health and safety considerations.
- (2) The sphere of indoor environment research encompasses a wide array of subjects, including IAQ (Indoor Air Quality), ventilation strategies, air purification techniques, calculations of cooling and heating loads, adoption of renewable energy sources, considerations for medical facilities, and fire safety measures.
- (3) In the realm of refrigeration, studies have delved into evaluative analyses of thermal comfort inside vehicles via numerical methods as well as the design of absorber heat exchangers for absorption refrigeration systems.
- (4) The research interests within heat transfer and thermo-fluid engineering spanned methodologies for bolstering heat transfer through boiling and condensation, examination of fouling characteristics in HVAC heat exchangers, optimisation of geothermal heat pump controls, analysis of flow distribution within printed circuit heat exchangers, and the consequences of fouling on the performance of fin-tube heat exchangers.

**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: jahn@kookmin.ac.kr

## 1. 서 론

본 논문은 2023년도에 대한설비공학회 ‘설비공학논문집’에 발표된 60편의 논문을 분석하여 설비공학 분야의 최근 기술 및 연구동향을 파악하고자 하는 목적으로 작성되었다. 발표된 논문들을 분류하면 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열유체 및 열전달로 분류할 수 있다. 본 논문이 설비공학 분야의 최신 연구동향을 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 건축기계설비

### 2.1 개요

2023년 건축기계설비 분야의 논문은 총 18편이므로 19편이 발표된 2022년과 비슷한 수준을 유지하였다. 2022년에 건축기계설비 분야에서 발표된 논문들은 기계설비 분야 전반, 냉·난방, 환기시스템 및 신재생에너지로 분류하여 분석을 수행하였다. 2023년에는 신재생에너지 분야의 논문 발표가 감소하고 COVID-19를 거치면서 보건 및 안전 분야의 논문이 일부 발표되어 신재생에너지 분야 대신 보건 및 안전 분야를 추가하여 분석을 수행하였다. 기계설비 분야 전반으로는 기계설비법의 효과, STS U 밴드의 기밀성, 동시냉난방 시스템의 효과 등의 연구가 이루어졌다. 냉난방 및 환기시스템 분야에서는 액체 제습 시스템, 다기능 히트펌프 시스템, 이동형 에어컨 실외기, 지열 히트펌프에 대한 성능 분석 및 학교 건물, 공동 주택의 에너지 관련 연구 등이 수행되었다. 보건 및 안전 분야에서는 감염병 격리 시설의 환기 문제나 연소 설비의 전기화에 따른 설비의 변화 등이 다루어졌다.

### 2.2 건축기계설비 전반

Yang et al.<sup>(1)</sup>은 기계설비법의 제정 및 시행에 따른 기계설비 성능점검을 통한 효과성에 대하여 사례를 기반으로 분석하고 시뮬레이션을 통한 에너지소비량 개선 효과를 분석하였다. 그 결과, 기계설비 효율 개선 이후 에너지 절감량이 공동주택의 경우 기계설비 효율을 20% 향상 개선할 경우 전체 에너지소비량은 각각 약 4.2%, 4.5% 절감되었고 효율을 약 30% 향상 개선할 경우 약 16.6%의 에너지소비량 절감이 있었으며 특히 간절기에 19.1%로 그 효과가 크게 나타났다. 업무시설의 경우 효율을 약 30% 향상 개선할 경우 11.2%의 에너지소비량 절감이 있었으며 전력 에너지소비량의 경우 하절기에 12.9%, 가스 에너지소비량의 경우 동절기에 약 32.6%로 그 절감효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Jang and Kim<sup>(2)</sup>은 배기가스 배출 연도의 연결 부위를 대상으로 기밀성 시험을 수행하여 기존 V-band 대비 U-band의 기밀 성능을 검토하였다. 압력강하 실험 결과, V-band는 압력강하가 큰 반면, U-band는 압력변화가 소폭으로 강하하였고, 40분 경과 후 U-band 압력강하는 V-band 대비 약 1/4.8배로 U-band가 기밀성이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 누설량과 누설률 계산 결과에서도 U-band 누설률이 상대적으로 85%로 낮아 높은 기밀성을 나타냈다.

Jin et al.<sup>(3)</sup>은 냉수 대온도차 냉동기 시스템을 소개하고 표준 온도조건의 냉동기와 대온도차 냉동기의 성능 및 경제성을 비교분석하였다. 그 결과, 냉수 출구 온도를 낮추고 입구 온도를 높인 대온도차 구성의 경우, 펌프 소비전력과 배관 사이클을 획기적으로 줄일 수 있는 것으로 나타나 대규모 건물 현장에 적용하는 것을 권장하였다.

Kim et al.<sup>(4)</sup>은 지역냉난방시스템을 기반으로 하여, SHCHP의 파일럿 시스템의 설치 및 시운전까지 진행하였다. 그 결과를 바탕으로 여름철 운영 시 에너지절감효과를 분석하였다. 분석결과, SHCHP의 파일럿 시스템은 냉열 및 온열 네트워크에 동시에 열공급이 가능하다는 것을 확인하였으며, COP가 5.5 수준으로 운영될 수 있음을 확인하였다. 여름철 한 달간 냉열 및 온열네트워크 운전 결과를 바탕으로 월간 에너지 절감효과를 분석한 결과 기존 지열원히트펌프를 활용하는 방식 대비 13.5%의 운영에너지 저감효과를 얻을 수 있을 것으로 나타났다.

Lee et al.<sup>(5)</sup>은 수용액 원심분사 기술이 적용된 액체식 제습 시스템 제습부를 제작하고 실험을 통해 각 변수별

제습 성능을 분석하였다. 그 결과, 수용액 온도가 높을수록 제습량 자체는 감소하였지만, 효율은 증가하는 경향을 보였다. 또한, 원심분사 기술이 적용된 LD 시스템 제습부는 적은 수용액 유량을 필요로 하기 때문에 약 72%의 냉각부하 절감이 가능할 것으로 나타났다.

## 2.3 냉·난방 및 환기시스템

앞선 절에서 분석한 Jin et al.<sup>(3)</sup>, Kim et al.<sup>(4)</sup> 및 Lee et al.<sup>(5)</sup>은 건축설비 일반으로 분류하였으나 냉난방 시스템 또는 적용이 가능한 기술로서 냉난방 시스템관련 연구에 포함될 수 있다. 이외에 냉난방 및 환기 시스템 관련하여 2023년에 발표된 논문들은 다음과 같다.

Lee and Kim<sup>(6)</sup>은 급탕사용량 패턴을 분석하여 외기온도 변화에 따른 급탕 사용량과 손실량의 상관성을 분석하였다. 그 결과, 동절기 기간(11월~3월)의 피크 시간대별 급탕사용량은 일반적으로 오전 6~9시, 오후 7~10시 사이에 가장 많은 것을 알 수 있었고, 동절기 기간 중 급탕사용량이 가장 많은 달은 2월이고 급탕사용량이 가장 적은 달은 11월로 나타났다. 동절기 기간의 급탕사용량과 열손실률을 분석한 결과 외기온도와 열손실률은 반비례하였고, 실험기간 동안의 열손실률은 평균 5.4~7.2%로 나타났다.

Kim et al.<sup>(7)</sup>은 히트펌프 시스템을 다양하게 조합하여 연간 에너지 절감 성능을 비교 분석하기 위해 100 m<sup>2</sup> 단위면적의 사무실을 대상으로 시뮬레이션을 진행하였다. 냉난방 및 급탕 기능을 4가지로 조합하여 시뮬레이션을 한 결과, 두 대의 히트펌프를 cascade 형태로 통합한 조합이 타 시스템에 대비하여 최대 54.0%의 에너지 절감 가능성이 있는 것으로 나타났다.

Jang et al.<sup>(8)</sup>은 이동형 에어컨의 공기순환로를 개선하는 이중덕트 방식을 제안하였고, 챔버 실험을 통해 배기덕트만 존재하는 기존의 이동형 에어컨과 실외 공기 흡기덕트를 장착한 이중덕트 에어컨 비교하여 실내온도와 소비전력량을 비교하였다. 그 결과, 기존형은 목표온도 도달시간인 40분 간 총 소비전력량이 약 3,803 W였고 이중덕트형은 30분간 총 소비전력량은 약 3,129 W로 분석되어 이중덕트형이 냉방운전시간 약 10분 및 전력소비량 18% 감소시킬 수 있다는 결론을 얻었다.

Lim et al.<sup>(9)</sup>은 태양열 집열기와 지열 히트펌프를 연계한 하이브리드 태양열 보조 지열 히트펌프 난방 시스템을 제안했다. 실제 규모 온실을 대상으로 제안한 시스템의 태양광 집열기, 지열 히트펌프, 계간 축열조를 설계하고 TRNSYS 18을 활용하여 설계한 시스템의 연간 난방 성능 및 에너지 소비효율을 분석하였다.

Kim et al.<sup>(10)</sup>은 반도체 공장에서 냉수의 안정적인 공급유지를 위해 냉수 환수 헤더에 온도가 상이한 유동들이 유입될 시 온도 균일성을 개선하는 혼합 유량비와 환수 헤더 필요길이의 상관관계식을 제안하였다. 상관관계식 도출을 위해 STAR-CCM 수치해석 프로그램을 이용하여 냉수 환수 헤더의 다양한 혼합 유량 비와 배관 직경에 대하여 혼합 열유동 해석을 수행하여 배관 길이에 따른 단면 온도 분포를 분석하였다.

Kim et al.<sup>(11)</sup>은 고등학교 건물을 대상으로 열에너지 공급 시스템의 전기화를 위해 기존에 설치된 화석연료 기반 흡수식 냉온수기 시스템을 축열식 히트펌프 시스템으로 대체할 시의 온실가스 절감 효과 및 경제적 분석을 수행하였다. 고등학교 건물의 실증 운전 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 수행하여 축열식 히트펌프 시스템의 평균 축열률에 따른 에너지 소비, 온실가스 발생, 운영비용을 분석하였다.

Jang et al.<sup>(12)</sup>은 제로에너지건물에 대해 최근 10년간 설비 분야에서 수행된 주요 연구를 분석하여 HVAC&R 및 DHW(급탕) 시스템에서 제로에너지건물 달성 및 고도화를 위한 기술 방향성과 로드맵을 제시하였다. HVAC&R 시스템은 냉난방, 환기, 신재생에너지 적용, 최적화 설계를 중심으로, 급탕 시스템은 급탕 프로파일, 급탕량 예측 및 제어, 최적화 설계를 중심으로 분석하였다.

## 2.4 보건 및 안전 문제

Jang et al.<sup>(13)</sup>은 감염병 치료시설의 실간 교차감염 및 감염위험률 방지를 위해 추적가스 방법을 사용하여 교차감염 및 감염위험률을 평가하였다. 현장 측정 프로토콜을 따라 음압실 현장실험을 수행하고 측정 결과를 기반으로 환기시스템 제어 방법의 효과, 실간 교차오염 정도, 측정 위치별 누적 시간에 따른 감염위험률을 분석하였다.

Cho et al.<sup>(14)</sup>은 pandemic 기간에 안전한 의료 환경 유지를 위해 교차 감염 위험성을 최소화하는 설계의 급배기와 통합한 국부적 환기 및 정화 장치를 개발했다. 이동형 국부 환기의 개념을 적용하고 급배기를 통해 환자 주변에 공기막으로 환자와 의료진의 호흡 영역을 분리하고 환자의 오염물을 안전하게 제거하도록 설계하였다.

Yeon et al.<sup>(15)</sup>은 소방설비 설계 엔지니어링 솔루션 개발을 위해 딥러닝 기반 이미지 인식을 활용하여 건축개요 표 자동인식 및 소방설비 요소 추출 알고리즘을 개발했다. 표 자동인식을 위해 TableNet과 OpenCV를 활용하여 건축개요 표를 인식하고 소방설비 요소 추출을 위해 EasyOCR과 Levenshtein Edit distance 알고리즘을 활용하였다. Precision, Recall, F1 Score를 통해 개발한 알고리즘의 성능 평가를 수행하였다.

Kwon<sup>(16)</sup>은 공동주택 주방 배기후드의 급기 팬이 없어 전열교환기의 열교환 성능에 미치는 영향을 최소화하기 위해 보충공기를 별도 공급하는 시스템을 제안하였다. CFD를 통해 소형 공동주택을 대상으로 주방후드와 전열교환기가 동시 운전할 때 제안한 시스템의 실내 공기 유동을 분석하고 전열교환기에 미치는 영향을 평가하였다.

Yu et al.<sup>(17)</sup>은 기존 화석연료를 사용하는 연소시스템을 전기화하는 연구의 일환으로, 중소형 연속식 강판 소둔로의 전기화 시 발생하는 패러다임 변화와 사전 시뮬레이션 결과를 통한 설계인자 평가에 대해 논의하였다. 해석 결과, 전기식 연속 소둔로는 기존 연소식 연속 소둔로 운영 시 필요했던 화석연료의 공급과 사용, 후처리 설비들이 불필요해지면서 사라질 수 있고, 배가스의 현열 손실이 없는 특성으로 인해 에너지 효율이 향상되어 에너지 소비와 운영비용을 절감할 수 있으며, 이는 산업 공정의 경제성에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 제안하였다.

Kwon<sup>(18)</sup>은 층고가 높은 공장에 적용된 멀티급기유닛을 설치하여 운전되는 치환환기시스템의 성능을 평가하기 위하여, 비교 대상인 혼합환기시스템을 구성하여 냉방 및 난방 운전조건에 대해 온도장 및 농도장을 해석하여 환기성능을 비교하는 연구를 수행하였다. 비교 결과, 바닥면에 멀티급기유닛을 설치하여 냉기류와 온기류를 토출하는 치환환기방식에 의해 형성된 평균공기 연령은 명목시간보다 낮은 값을 유지하였으나, 난방 조건의 경우 치환환기방식의 평균공기연령이 혼합환기방식보다 미소하게 낮게 유지됨을 확인하였다.

### 3. 건축환경

#### 3.1 개요

2023년 건축환경 분야의 논문은 총 24편으로 2022년보다 5편 증가하였다. 건축환경 분야의 논문은 2022년과 동일하게 실내환경, 건물에너지, 의료설비 및 화재 안전을 포함하는 기타 분야로 나누어 분석을 수행하였다. 실내환경 분야에서는 미세먼지 저감 성능 향상을 위한 전산유체역학 분석 연구, 환기 시스템에 대한 인식조사 및 건물 외피에 따른 열관류율, 환기 알고리즘 및 지하주차장의 미세먼지 관련 연구가 수행되었다. 건물에너지 분야로는 태양열 집열시스템의 에너지 성능 평가, 태양광열-지열 융복합 시스템의 전 과정평가 분석, 냉난방 공간 분류 모델 제시 및 선형 관계 분석, 수열원을 적용한 건축물의 배관 설계 변수에 따른 동력소비량 분석, 소형 공동주택의 에너지 사용량 및 반도체 설비의 에너지 절감 방안에 관한 연구가 수행되었다. 의료설비 및 화재 안전을 포함한 건축환경 관련 기타 분야로는 이동형 음압격리병실, UV-C 광원의 필터여재 살균효과, 분석건축자재의 난연성능, 스마트 팜 에너지 모델링, 에너지 효율 등급 등의 연구가 수행되었다.

#### 3.2 실내환경

Woo et al.<sup>(19)</sup>은 교실의 입자상 물질인 미세먼지 저감에 있어 공기청정기의 운전 위치와 풍량과 함께, 기류제어용으로 사용되는 실내 순환 FAN의 운전조건을 고려한 실내 유동 변화에 대한 공기질 변화에 대해 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션을 수행하여 최적 운전조건을 분석하였다. 공기청정기의 CADR(Clean Air Delivery Rate)은 2.4 m<sup>3</sup>/min(161.4 CMH)과 4.8 m<sup>3</sup>/min(322.8 CMH)으로 나타났고, 공기청정기의 운전조건이 동일한 경우 FAN의 가동 유무에 따라 전체 공간의 미세먼지 농도는 최대 31.2%, 16지점 평균 미세먼지 농도에

대해서는 최대 24%의 저감효과가 나타났으며, 공기청정기의 CADR이 낮을 경우, FAN을 통해 미세먼지 저감 성능을 향상시킬 수 있는 것을 확인하였다.

Son and Yang<sup>(20)</sup>은 전국의 공동주택에 설치되어 있는 환기 시스템인 주방 레인지 후드, 욕실 배기팬, 열회수형 환기장치에 대한 사용 형태와 인식 및 만족도를 파악하기 위해 설문조사를 진행하였다. 설문조사를 통해 실제 사용자의 만족도와 상관관계가 있는 인자들을 분석하였다. 분석 결과, 주방 후드의 환기 성능 만족도와 가장 상관관계가 높은 인자는 ‘주방 후드의 제어 패턴’으로 나타났고, 욕실 배기팬의 환기 성능 만족도와 가장 상관관계가 높은 인자는 ‘아파트 준공연도’로 나타났다.

Byun et al.<sup>(21)</sup>은 열류계법(HFM, Heat Flow meter Method)을 이용한 건물 외피의 열관류율 현장측정에서 일사의 영향이 열류, 실내외 공기온도차이, 결과적인 열관류율의 수렴성에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 남측 벽의 일사의 영향으로 인한 열류량의 불안정성이 남측 벽의 열관류율 산정을 위한 수렴조건을 만족시키는데 북측 벽에 비해 약 2배의 시간이 소요되는 사실을 확인하였다.

Son et al.<sup>(22)</sup>은 공동주택의 실내환경 개선을 위해 통합환기시스템 알고리즘을 개발하고, 주방과 욕실의 환기 실험을 통해 시스템의 효과를 조사하였다. 결론적으로, 환기장치의 가동은 미세먼지 농도를 감소시키지만 CO<sub>2</sub> 농도에는 영향을 주지 않았다. 또한, 배기팬과 자연환기의 조합이 욕실 습도 개선에 효과적임이 확인되었다. 이에 따라 오염물질 농도가 높을 때 자동으로 시스템이 가동되는 기계환기 및 향상된 배기팬 시스템이 필요하며, 욕실 환기 시스템은 공기순환기와 조합하여 효율적으로 운영되어야 함을 제안하였다.

Jeong<sup>(23)</sup>은 이 연구는 지하주차장에서 미세먼지 농도를 실측하여 외부와 내부 공간 간의 미세먼지 유입 가능성을 평가하였다. 주로 지하주차장과 건물 내부를 연결하는 엘리베이터 홀의 미세먼지를 분석했고, 외부 미세먼지 농도가 내부 공간에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 차량이 진입로에 있을 때 미세먼지 농도가 상승하고, 이후 차량의 이동으로 내부로 미세먼지가 유입되어 농도가 감소하는 것을 발견하였다. 이 결과는 지하주차장 내부 환경과 외부 환경 간의 상호작용을 이해하는 데 중요한 인사이트를 제공한다.

### 3.3 건물에너지

Bang et al.<sup>(24)</sup>은 난방 기간 동안 이중외피형 태양열 집열시스템이 하이브리드 시스템으로서 예열 효과를 통해 제공하는 난방에너지 절감 효과를 분석하였다. 태양열 집열시스템의 구상과 모델링 및 시뮬레이션을 이용하여 에너지 성능을 평가하였으며, 다양한 파라미터 중 너비율이 에너지 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였다. 겨울철의 집열시스템의 너비율 증가에 따라 특정 대상 건물의 단위 면적당 최소 0.20 kWh/(m<sup>2</sup>·year)에서 최대 9.33 kWh/(m<sup>2</sup>·year)의 난방에너지를 절감하였고, 이 결과는 최소 0.80%에서 최대 37.27%의 효과를 얻는 것을 확인하여 외피 너비에 따른 절감 효과가 있는 것을 확인하였다.

Kang et al.<sup>(25)</sup>은 태양광열-지열 융복합 시스템의 전생애주기 동안 발생하는 환경부하와 관련하여, 기존의 연구들이 시스템 성능 분석에 초점을 맞추고, 건축에서 탄소 저감이 필수적인 것을 기반으로 융복합 시스템의 환경성 평가 방안을 도출하고자 하였다. 태양광열-지열 융복합 시스템의 모델을 구축하고, 가동 중 산출된 탄소배출량을 토대로 단계별 비교 및 분석하여 전 과정평가(LCA)까지 수행하였다. 제조, 시공, 운전, 폐기 단계에서 각 기기의 탄소배출량을 나타냈으며, 단일 시스템(지열)과 융복합 시스템(태양광열-지열) 비교 결과 제조, 시공 단계에서의 증가, 운전 단계에서는 10% 정도의 에너지절감 효과가 있는 것을 확인하였다.

Kwon et al.<sup>(26)</sup>은 데이터 기반의 냉난방 공간 분류 모델을 제시하고, 기계적 학습에서 활용되는 특성 중요도를 이용하여 유효성을 검토하였으며, 평가 지표에 대하여 결정계수와 특성선택, 상관계수를 이용하여 각 공간에 대한 선형관계에 대하여 파악하였다. 공간마다 실내외 온도로 구해지는 결정계수는 건물에너지에 대한 특성 중요도와 강한 선형 관계( $R = 0.793$ )를 보였으며, 일부 간헐적 냉난방 공간에서는 기간마다 분류 결과가 다르게 나타났다. 이를 통해 얻은 데이터를 기반으로 각 방법에 따른 유효 매개변수와 및 냉난방 공간을 적절하게 분류 및 실제 운영 현황을 유사하게 표현하는 분류 모델을 도출하였다.

Moon et al.<sup>(27)</sup>은 수열 히트펌프를 적용한 건축물에 TRNSYS 18을 이용하여 각 냉난방시스템 구성 요소의 동력소비량을 계산하였고, 수열원과 건축물 사이 관로 이격 거리와 수직 높이차, 배관의 직경 등 배관의 설계 변수 변화가 시스템의 펌프 소비동력에 미치는 영향과 각 설계 변수 간의 상호관계를 분석하였다. 서울 지역 오피스 건물에 적용하였을 때, 난방을 위한 펌프의 연간 동력소비량은 냉방 기간에 비해 약 43% 더 크게

산출되었으며, 시스템 전체의 동력 소비량도 난방 기간이 약 28% 크게 나타났다. 수열원과 이격거리가 증가함에 따라 전체 시스템의 동력 소비량의 증가는 약 5.85%로 나타났으며, 수열원과 수요처의 거리가 시스템 전체 운전 비용에 미치는 영향이 크지 않는 결과를 확인하였다.

An et al.<sup>(28)</sup>은 단독주거 커뮤니티 내 전체 시설을 대상으로 BIPV시스템 적용에 따른 연간발전량을 분석하여 커뮤니티의 에너지자립률과 제로에너지건축물인증 등급을 평가하였다. 분석 결과, 주택의 지붕에만 설치할 경우 에너지자립률 75.8%로 제로에너지건축물인증 3등급인데 반해, 유희부지에 설치면적을 증대시킬수록 에너지자립률은 높아지는 것으로 나타났다.

Jin et al.<sup>(29)</sup>은 재실 패턴에 따라 간헐적으로 운용되는 난방시스템 용량(Heating system capacity) 및 난방시스템 재가동 시간(Heating system restart time)에 따른 실내 열환경과 에너지 사용량을 평가하였다. 이를 위해 사무용 건물 시뮬레이션 모델을 이용하여 에너지 시뮬레이션을 수행하고 Case별 시뮬레이션 결과 분석을 수행하였다.

Lee et al.<sup>(30)</sup>은 소형 공동주택의 에너지 사용실태 분석을 위해 공동주택에서 측정된 난방, 급탕 그리고 전기에너지 사용량을 분석하였다. 에너지 사용량(난방, 급탕, 전기)은 건물의 면적 타입, 거주자의 연령 그리고 구성원 수에 따라 분석하였는데, 분석 결과 면적별 에너지사용량은 각 세대별 비슷한 에너지 사용량 분포를 보였으나 면적별 단위면적당 에너지사용량은 면적이 증가할수록 에너지 사용량이 감소하는 패턴을 확인하였다.

Jung and Song<sup>(31)</sup>은 대형 반도체 생산 공장의 공조에너지 중에서 많은 에너지 소비를 유발하는 외조기에 대해 가열 코일, 냉각/제습 코일, 가습장치의 구성 및 가열 코일에 공급되는 열원에 변화를 주었을 때 연간 에너지 절감 가능성을 평가하였다. 이를 위해 기존 외조기 구성 대비 에너지 절감 방안으로 2개의 방안을 제시, 그에 대한 에너지 절감 가능성을 검토하였다.

Park et al.<sup>(32)</sup>은 국내 건물성능 강화를 위해 커미셔닝의 중요성을 강조하며, 국내 녹색건축인증에서 커미셔닝의 부족한 평가 점수를 해외 기준과 비교 분석하여 제도 개선을 제안하였다. G-SEED 인증에서 커미셔닝이 선택항목으로만 지정되어 있어 실질적인 영향력이 제한되고 있는 문제를 지적하고, LEED와 BREEAM 등의 해외 인증제도에서의 커미셔닝 평가를 참고하여 국내 제도를 개선하는 방안을 제시하였다. 이를 통해 국내 건축물의 에너지 효율과 비용 절감을 위한 효과적인 커미셔닝 제도를 구축하는 데 기여할 것으로 판단된다.

Oh et al.<sup>(33)</sup>은 부하모델의 파라미터를 도출하기 위해 grey-box 모델링을 제안하고, TRNSYS 플랫폼에서 모델링 된 실내온도를 분석하였다. 모델링 결과는 계측데이터와 비교하여 ASHRAE guideline 14를 만족하며, 외피정보와 공조데이터만을 활용하여 모델을 구축한 점에서 기존 연구와 차별성을 보였다. 또한, 모델링 된 환경에서의 최적 파라미터는 실제 운전 환경에서의 값과 차이가 있을 수 있으며, 이러한 결과는 데이터 부족한 건물의 에너지 관리에 활용될 수 있다.

Lee and Kim<sup>(34)</sup>은 VRF 시스템에 대한 플러그 앤 플레이 포인트 매핑 자동화 기반의 최적 시작 모델을 개발하고 냉방 조건에서 그 성능을 검증하였다. 해당 모델은 환경에 빠르게 대응하면서도 에너지를 절약할 수 있는 최적 시작 시간을 예측하여 제어하는 데 기여한다. 또한, 실증 결과는 이 모델이 에너지 절감에 효과적임을 입증하며, 향후 연구에는 다양한 상황에 유연하게 대응할 수 있는 모델 배포 방식이 필요함을 시사하였다. 이 모델의 플러그 앤 플레이 자동 매핑 분류는 센서 관리 문제를 해결하는 데 기여하며, 에너지 절약 성능은 냉방에서 35.5%의 향상을 보였다.

Cho et al.<sup>(35)</sup>은 공동주택의 단위 냉난방부하를 현행 에너지절약설계기준과 제로에너지 건축물 인증 가이드라인에 따라 분석하였다. 지역별로는 냉방부하의 차이가 크지 않지만, 난방부하는 지역에 따라 차이가 있었다. 또한, 단위세대 전용면적이 커질수록 냉난방부하가 줄어들었으며, 건물 배치와 구조는 부하값에 큰 영향을 미친다. 에너지절약설계기준에 따르면 냉방부하는 기존 기준 대비 55.1~62.0% 저감 가능하며, 난방부하도 31.7~37.0% 저감 가능하였다. 제로에너지 건축물 가이드라인 적용으로 냉난방부하가 8.6~12.3%, 난방부하가 14.0~15.2% 감소하였다.

### 3.4 의료설비, 화재 안전 및 기타 분야

Cho and Kim<sup>(36)</sup>은 신속한 공급뿐 아니라 의료진의 안정성 확보를 위한 이동형 음압격리병실을 개발하였으며 수치해석을 통한 치료공간 내부의 병원균에 의한 교차감염을 최소화할 수 있는 환기시스템을 검토하였다.

이동형 음압격리병실은 기류방향을 의료진에서 환자 방향으로 한 방향으로 형성시켜 청정-오염 공간의 분리가 가능한 전실-음압병실 차압제어 환기시스템을 적용하였으며, 수치해석 결과, 음압을 유지해야 하는 격리병실은 환기량 6 ACH와 화장실 배기 가동 여부와 상관없이 전실/복도와 -2.5 Pa 이상의 차압을 유지하여 교차감염 방지효과가 있는 것으로 분석되었다. 독립모듈로 구성될 경우, 화장실을 사용하지 않을 경우, 배기팬 미가동에 따른 음압유지 상태 및 환기성능에 큰 차이를 보이지 않는 것을 확인하였다.

Park et al.<sup>(37)</sup>은 조사시간과 설치거리에 따른 UV-C 광원의 필터여재 살균효과를 분석하고자 하였으며, 이를 정량적 평가를 위하여 필터에서 미생물을 제거하기 위한 장치와 UV-C 실험 형태를 구축하였다. 미생물이 부착된 필터와 UV-C 광원 사이의 거리(15 cm, 30 cm)가 가까울수록 제균효율이 높은 것으로 나타났다. 조사시간을 2분간 지속했을 때, 52% ~ 78%의 살균효과를 나타냈으며, 15 cm 거리에서는 5분 경과 시 99.8% 살균되어 육안 확인으로도 세균 군집을 보이지 않는 것으로 확인하였다. 실용적인 제균을 위하여 UV-C 광원의 설치 형태 등에 따른 제균효율을 검토하고 공기조화 방역기술로서 적용이 필요한 것으로 확인하였다.

Yoo et al.<sup>(38)</sup>은 TiO<sub>2</sub> 광촉매의 광량별 실내 폼알데하이드 저감 효율을 평가하였는데, 이를 위해 ISO 22197-4를 바탕으로 실험 장치 제작 및 조건을 적용하여 TiO<sub>2</sub> 광촉매에 조사되는 UV-A의 광량, 10 W/m<sup>2</sup>, 15 W/m<sup>2</sup>, 20W/m<sup>2</sup>에 따른 폼알데하이드 농도 저감 성능을 비교 및 분석을 진행하였다. 분석 결과 TiO<sub>2</sub>에 조사되는 UV-A 램프의 광량에 따라 폼알데하이드 저감 성능 및 제거량이 증가하는 것을 확인하였으며, 이를 바탕으로 효율적인 적용 광량 조건을 도출하였다.

Yang et al.<sup>(39)</sup>은 건축자재의 난연성능을 향상시키기 위하여 황토에 바이오차(Biochar)를 활용하여 건축마감재를 개발 및 평가하고자 하였다. 바이오차 함량이 증가함에 따라, 열전도율이 감소하는 것으로 나타났으며, 대나무와 코코넛 바이오차를 적용한 시편은 순수한 콘크리트에 비하여 높은 열용량을 나타내었다. 난연성능은 세 가지 바이오차를 첨가한 시편 모두 준불연재료의 총열방출량 기준을 달성하였으며, 착화와 형태학적 변형이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

Kang et al.<sup>(40)</sup>은 지열 및 공기열원 시스템의 성능을 분석하고, 전 과정평가법을 통해 탄소배출량을 평가하였다. GSHP 시스템은 높은 COP를 보여 약 17%에서 28% 더 효율적임을 확인하였다. 연간 탄소배출량은 ASHP 시스템에 비해 약 14%에서 39% 낮았으나, GSHP 시스템은 운전 및 시공 단계에서 ASHP 시스템보다 탄소배출량을 크게 절감할 수 있음을 밝혔다. 따라서 GSHP 시스템이 환경적으로 더 우수하며 장기적으로 탄소배출량을 줄일 수 있는 것으로 결론을 도출하였다.

Yoon and Im<sup>(41)</sup>은 온실 난방에 재생 열원을 활용하는 모델에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 기술적 타당성을 검토하였다. Model I은 잉여 태양열을 직접 축적하여 활용하고, Model II는 지열 히트펌프와 연계하여 지열을 활용한다. Model I의 태양열 패널 설치 규모가 증가할수록 에너지 절감 효과가 감소하는 경향을 보였다. Model II는 지열 재생이 더 우수한 성능을 보여주며, 축열조의 열 손실이 전체 성능에 큰 영향을 미친다. 또한, Model II는 히트펌프의 운영 성능을 향상시켜 스마트팜 시장에서 경쟁 우위를 확보할 수 있는 잠재력을 갖고 있는 것으로 판단하였다.

Park et al.<sup>(42)</sup>은 에너지소비효율등급표시제도의 등급 점유율을 분석하고, 향상이 필요한 품목에 대한 등급부여기준 상향을 제안하였다. 의류건조기, 가스온수기, TV, 창 세트, 컨버터 내장형 LED 램프, 컨버터 외장형 LED 램프 등 6개 품목의 등급 조정이 필요함을 제안하였다. 한국에너지공단의 등록된 모델을 분석하여 향상률을 도출하고, 이를 기반으로 등급부여기준 상향안과 에너지절감량을 제시하였다. 특히, 가스온수기의 편중 현상과 최저소비효율제도 전환 가능성을 확인하였다. 이러한 결과는 정부의 정책 개정과 제조업자에게 기준 상향의 필요성을 전달하는데 활용될 수 있으며, 국가 에너지수요관리 정책에도 영향을 줄 것으로 예상된다.

## 4. 냉 동

### 4.1 개 요

2023년 냉동분야의 논문은 총 6편이므로 2022년 7편이었던 것과 비교하면 거의 유사한 편수의 논문이 발표되었다. 2022년에는 사이클과 시스템으로 나누어 분석하였는데 2023년에 발표된 논문은 시스템과 요소

부품인 열교환기에 관련된 논문으로 분류할 수 있었다. 냉동시스템 관련 논문은 환경 조건에 따른 버스 내부 수치 해석을 통한 온열감 평가, 흡수식 냉동기용 흡수기 전열관의 형상에 따른 열 및 물질전달 특성에 대한 연구이며 열교환기 관련 논문은 핀-튜브 열교환기에서 불균형적 착상의 영향, 열교환기 최적 설계를 통한 친환경 냉동탑차용 냉동시스템의 성능 향상, 흡수식 냉동기용 응축기에서 전열관 형상과 운전조건에 따른 응축 열전달 특성, R-1234ze(E) 냉매 적용 유하액막식 증발기의 성능 특성에 관한 실험적 연구가 수행되었다.

## 4.2 냉동시스템

Kim et al.<sup>(43)</sup>은 친환경 냉동탑차용 냉동시스템에서 열교환기 최적화를 통해 시스템 성능 향상에 관한 연구를 수행하였다. 시스템에 사용되는 증발기에서 핀 형상, 핀 피치, 관 직경에 대한 최적화를 진행하였으며, 최적화된 냉동시스템의 COP는 기존 대비 12.5% 향상됨을 제시하였다. 또한, R404R의 대체냉매인 R433A를 적용하였을 때, 동일 증발열량 조건에서 COP가 8.7% 증가함을 보고하여, 열교환기 최적화를 통해 냉동탑차용 냉동시스템 성능 향상 및 탄소배출 감축의 영향성을 제시하였다.

Park et al.<sup>(44)</sup>은 시내버스를 대상으로 설정 온도, 풍속, 탑승객 수에 따른 평균복사온도와 예상온열감 분포를 평가하였으며, 실내 환경 조건과 온열감의 상관관계에 따른 유용한 냉방 시스템 설정 지표를 제공하였다. 실험 결과, 냉방시스템 운전조건 및 변동 요인에 따른 쾌적성을 평가함으로써 인간의 쾌적성 향상과 불필요한 냉방부하 감소시킬 수 있음을 보고하였다.

## 4.3 열교환기

Chung et al.<sup>(45)</sup>은 서리 패턴과 서리가 증발기 열교환기에 미치는 영향을 조사하였으며, 서리가 열교환기의 성능에 악영향을 미침을 확인하였다. 서리 패턴이 In-plane, Through-plane일 때 각각의 열교환기 설계에 필요한 개선점을 제안하였으며, 이는 추후 공기 흐름을 균일화하고 냉매의 단상 영역을 최소화할 수 있는 열교환기 제작에 서리 패턴을 고려할 필요성을 제시하였다.

Lee et al.<sup>(46)</sup>은 흡수식 냉동기용 응축기의 열전달 현상을 열전달 튜브 유형과 직경 변화에 따라 실험적으로 조사하였다. 열전달 튜브 유형이 주름관일 때 평활관에 비해 Nu 수가 62.1% 증가되었으며, 외경이 큰 튜브에 비해 작은 튜브의 Nu 수가 44.3% 감소됨을 확인함으로써 응축기 열전달 튜브 형상에 따른 열전달에 미치는 영향을 설명하였다.

Kim et al.<sup>(47)</sup>은 70 kW(20 RT)급 압축식 냉동기의 압축기 회전수, 냉수 유량, 냉수 온도 및 냉매 봉입량 등 다양한 변수에 따른 유하액막식 증발기의 성능시험을 통해 증발기의 특성 변화를 확인하였다. 각 변수 중 냉수 유량, 온도 증가는 냉각 능력에 긍정적인 영향을 미치지만, 냉매 충전량 감소는 냉각 능력을 급격히 감소시킴을 보고하였다.

Ko et al.<sup>(48)</sup>은 LiBr 수용액의 액막 레이놀즈수, 농도, 냉각수의 입구온도 및 유속에 따른 흡수기 전열관의 열 및 물질전달 특성을 시험적으로 조사하였으며, 각각의 조건에서 얻어진 결과를 활용하여 흡수기 설계에 유용하게 활용될 수 있는 상관식을 개발하였다.

## 5. 열유체

### 5.1 개요

2023년 열전달/열유체 분야의 논문은 총 12편이며 2022년 15편이었던 것과 비교하면 논문 편수가 소폭 감소하였다. 열전달/열유체 분야의 논문은 열전달/열유체 일반, 상변화 및 응축 등으로 분류할 수 있다. 일반적인 열전달에 관한 연구를 비롯하여 열전달 축진을 위한 비등 및 응축에 관한 열전달 해석, 공조용 열교환기에 대한 파울링 특성, 태양열 집열설비에 대한 분석 및 성능해석, 지열 히트펌프 제어, 인쇄기관형 열교환기의 유량 분배, 핀튜브 열교환기에서 파울링의 영향, 에 관한 연구가 수행되었다. 상변화 응축 분야에서는 친환경

냉매의 상변화를 포함한 물성에 대한 오픈 소스 기반 모델이 발표되었다. 기타 연구로는 연소 시스템의 잠열 에너지 저장, 수막층 외피를 사용한 온실의 열전달, 버스 내부의 유동 및 건조 드럼 내부의 유동 등이 연구되었다

## 5.2 열전달/열유체 일반

Kim et al.<sup>(49)</sup>은 현장 설치된 태양열 집열설비의 열출력과 집열효율 등의 열성능을 평가하기 위한 실증적 분석 연구를 수행하였다. 연구에서는 국제표준 ISO 24194:2022에서 제시하는 현장에 적합한 단순화 모델식을 적용한 방법을 이용하여 국내 현장 설치된 태양열 집열설비에 적용하였다. 분석결과로써 측정된 열출력은 안전계수를 고려한 추정 열출력과 비교하였을 때 측정시스템 불확도 수준에 따른 안전계수값을 0.95와 0.9로 달리 적용한 경우에 대하여 각각 100.8%와 106.4% 수준으로 나타났으며, ISO 24194:2022에서 제시한 적절한 성능범위에 있음을 확인하였다.

Kim et al.<sup>(50)</sup>은 시뮬레이션 기반 태양열집열기 성능해석 알고리즘을 탑재한 원격 모니터링시스템을 제안하고 실증을 통하여 그 타당성을 분석하였다. 포항지역 온실에 설치된 집열면적 108 m<sup>2</sup>의 태양열 난방시스템을 통해 분석된 주요 결과를 통해 평판형집열기의 동적거동과 열성능을 정확히 파악할 수 있는 것으로 확인하였으며, 향후 태양열시스템의 설치 초기성능을 규명하고 실시간 고장감지 및 진단시스템 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다고 보고하였다.

Kim and Kim<sup>(51)</sup>은 160℃의 수증기를 생산하기 위한 히트펌프 사이클 분석에 대한 연구를 수행하였다. R123, R245fa, R1233zd(E) 및 R1336mzz(Z) 총 4가지 냉매에 대해 설계 조건에 따른 COP와  $T_{in,gc}$ 를 비교하였고, 냉매의 GWP, ODP, 독성, 가연성 및 COP 등을 종합적으로 고려하면 R1336mzz(Z)가 본 연구에서 제시한 사이클에 가장 적합한 냉매로 판단하였다. 또한 R1336mzz(Z)에 대해 최적의 히트펌프 사이클 조건을 제시하였고, 이때의 COP는 2.76이라고 보고하였다.

Park et al.<sup>(52)</sup>은 지열히트펌프에 있어서 용량제어를 위하여 가변형 히트펌프로 냉매의 유량을 제어하고 있으나 응축 혹은 증발 열원의 운송펌프는 정유량운전을 하여 반송동력의 손실을 피할 수 없어 다양한 제어 방식을 적용하고 있다. 본 연구에서는 열원측 지중 수환루프에 버퍼탱크를 설치하여 운전정지 기간에도 순환펌프를 조건에 따라 가동하고 버퍼탱크의 온도를 일정하게 유지하여 가동직후 피크부하를 줄일 수 있는 연구를 수행하여 기존 시스템 대비 순환펌프의 소비전력이 약 56%의 저감 되는 것을 도출하였다.

Seol et al.<sup>(53)</sup>은 아크릴로 제작한 인쇄기관형 열교환기의 유동 가시화 장치에서 입구 및 출구 헤더와 전열관의 채널 내부 유동을 측정하여 헤더에 연결된 입출구 배관의 각도와 유량이 분배성능에 미치는 영향을 분석한 결과 채널 간 유량 불균등도는 유량에 비례하여 증가하며 입출구관의 각도는 수직에서 작은 정도만 기울어져도 유량 불균등도를 증가시킬 뿐 아니라 역방향 유동을 발생시킬 정도로 그 영향이 크다고 보고하였다.

Yang et al.<sup>(54)</sup>은 핀튜브형 열교환기에서 분진에 의한 표면 파울링이 공기 측 압력강하에 미치는 영향을 연구하기 위해 파울링 모사 실험 장치를 제작하고 유속, 분진농도와 열교환기 형상에 따른 압력강하를 측정하고 그 결과를 경험식으로 제시하였다. 저자들은 Louver fin에 비해 Wavy fin에서 압력강하 증가율이 큰 것을 확인하였는데 Louver fin에서는 분진이 Louver에만 부착하여 Louver 사이의 공간에는 기류가 확보되는 반면, Wavy fin에서는 분진이 전체적으로 부착하여 유동 통로가 급격하게 막히는 현상이 발생하기 때문이라고 하였다.

## 5.3 상변화 및 응축

Kim et al.<sup>(55)</sup>은 중소기업 등에서의 열교환기 설계 업무에 도움이 되고자 0.1에서 0.97의 비교적 넓은 환산압력(reduced pressure) 범위에서 적용 가능한 Python 기반의 이상유동 열전달계수 및 압력강하 예측 툴을 오픈소스 형태로 개발 하였다. 이를 위하여 최근 친환경 냉매로 널리 사용되는 HFO 계열과 HFC 계열, 그리고 자연냉매인 CO<sub>2</sub>의 응축열전달계수와 압력강하 데이터 각각 966개 및 678개를 총 9편의 논문으로부터 수집하였으며, 이를 기반으로 관내 측 응축열전달계수와 압력강하 모델을 개발하였다.

## 5.4 연소, 유동 및 기타 분야

Lee and Yu<sup>(56)</sup>는 연소 시스템의 화석연료 사용량 저감을 위한 잠열에너지저장 기술동향 조사를 통해 국내외 열회수 및 열에너지저장 시장규모, 현 기술수준을 파악하였다. 또한, 연소 시스템과의 연계를 위한 100-300℃ 사이의 열원에 적용 가능한 상변화 후보 물질은 용융염과 그들의 공융 혼합물임을 확인하였다.

Lee and Seo<sup>(57)</sup>는 연소 시스템의 화석연료 사용량 저감을 위한 잠열에너지저장 기술동향에 대한 두 번째 조사를 통해 상변화물질의 열전달 특성으로서 용융(축열) 과정 초기에는 열전도에 의한 영향이 지배적으로 작용하다가 이후 용융된 상변화물질의 대류에 의한 효과가 증가하는 반면, 고형화(방열) 과정에서는 대류 열전달은 무시할 수 있는 수준이고 전도에 의한 영향이 지배적이라는 점을 확인하였다.

Jeong et al.<sup>(58)</sup>은 단층 수막층 외피를 적용한 모형 온실의 열전달 특성을 조사하기 위해 국내 기후환경조건에서 수막층의 유무, 유량, 온도를 변수로 하는 실험적 연구를 수행하였으며, 수막층이 있는 경우 외피의 내외부 표면온도가 수막층이 없는 경우 대비 5-8℃ 낮아짐을 관찰하였다.

Park et al.<sup>(59)</sup>은 보편적으로 운행되는 시내버스들 중 상당수가 전기차로 대체되고 있고, 많은 탑승객으로 인하여 공조시스템에 소비되는 에너지가 많다는 점에 착안하여 여러 시간대와 장소에 따라 유동적으로 변화하는 탑승인원의 변동에 따른 버스 내부 열환경 평가를 수행하였다. 저상버스를 연구대상으로 하여 설정온도 및 풍속에 따른 차량내부의 중앙과 탑승객을 포함하는 단면에서의 온도, 속도분포를 수치적으로 평가하여 과도한 냉난방을 예방할 수 있는 시스템 설정방법을 제시하였다.

Kang et al.<sup>(60)</sup>은 회전하는 수평 실린더형 건조 드럼 내부에서 직물의 거동을 규명하기 위해 아크릴로 원통형 평판 드럼 가시화 실험 장치를 제작하고 드럼의 회전속도, 직물의 무게, 부피 및 함수율을 달리해가며 직물의 거동을 관찰하여 직물의 대표적 거동으로 미끄러짐, 구름, 낙하, 원심 회전 거동을 확인하고 각 거동 사이의 천이영역을 보고하였다.

## 6. 결 론

2023년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열전달 및 열유체 5개의 분야로 분류하여 연구동향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건축기계설비분야는 총 18편의 연구논문이 보고되었으며, 주요 주제로는 히트펌프를 중심으로 한 냉난방 시스템, 환기시스템, 건축기계 설비의 전기화, 감염병 격리시설에 관한 연구 등이 보고되었다.
- (2) 건축환경분야는 총 24편이 연구논문이 보고되었으며, 주요 주제는 미세먼지 저감, 태양열 및 태양광에너지 시스템, 환기 시스템, 그리고 의료설비와 화재 안전 등이었다.
- (3) 냉동분야는 총 6편의 논문이 보고되었으며, 주요 내용은 차량 내부 수치 해석을 통한 온열감 평가 및 흡수식 냉동기용 흡수기 전열관 형상에 따른 연구, 그리고 열교환기 관련 연구로는 핀-튜브 열교환기의 불균형 착상 영향과 친환경 냉동매용 냉동시스템의 최적 설계 등이 발표되었다.
- (4) 열전달/열유체 분야는 총 12편의 논문이 보고되었으며, 그 주제로는 공조용 열교환기의 파울링 특성, 태양열 집열설비의 분석, 지열 히트펌프 제어, 인쇄기관형 열교환기의 유량 분배 등이 연구되었으며, 상변화 응축 분야에서는 친환경 냉매의 상변화를 다룬 오픈 소스 기반 모델이 소개되었다.

## References

1. Yang, J. K., Chae, Y. T., Chae, S. I., and Jin, S. K., 2023, Effectiveness of Mechanical Equipment Performance Inspection in the Enforcement of the Mechanical Equipment Act, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 44-52.
2. Jang, J. Y. and Kim, Y. I., 2023, Pressure Drop Test and Leakage Prediction for a STS U-band Applied Chimney, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 11-19.
3. Jin, J. T., Seok, Y. J., Cho, H. J., Choi, S. G., and Hwang, D. K., 2023, Design of Chilled Water Temperature

- Condition of Large Temperature Differential Chiller for Saving Building Energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 90-98.
4. Kim, H. N., Kim, J. K., Lee, D. W., Kim, D. W., An, Y. S., Han, G. W., and Kim, M. H., 2023, Energy Performance Investigation of a Bi-directional Thermal Energy Prosumer with a Simultaneous Cooling and Heating System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 53-60.
5. Lee, S. J., Lee, J. H., and Jeong, J. W., 2023, Experimental Analysis of Dehumidification and Energy Performance of a Centrifugal Atomization-Based Liquid Desiccant Dehumidification System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 81-89.
6. Lee, S. W. and Kim, Y. I., 2023, Analysis of Consumption Pattern and Heat Loss of Hot Water of District Heating Applied Apartment in Winter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 70-80.
7. Kim, B. J., Cho, S. Y., Kang, Y. G., and Jeong, J. W., 2023, Energy Performance Evaluation of Air-source Heat Pump Systems in Multi-functional Configurations for an Office Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 136-146.
8. Jang, S. M., Park, B., and Cho, J., 2023, An Experimental Study on Improving the Cooling Performance of a Mobile Air Conditioner's Outdoor Unit by Enhancing Airflow Pathways, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 6, pp. 299-305.
9. Lim, H. W., Lee, W. J. L., and Shin, U. C., 2023, Thermal Performance Analysis of a Hybrid Solar-Assisted GSHP Heating System in a Greenhouse Using TRNSYS, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 6, pp. 286-298.
10. Kim, D. W., Lee, D. W., Kim, M. H., and Heo, J. H., 2023, Analysis of Operating Cost and Greenhouse Gas Reduction Effect of Electrification of a Thermal Energy System Applied to High School Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 381-393.
11. Kim, D. W., Lee, D. W., Kim, M. H., and Heo, J. H., 2023, Analysis of Operating Cost and Greenhouse Gas Reduction Effect of Electrification of a Thermal Energy System Applied to High School Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 381-393.
12. Jang, S. M., Jang, A. M., Do, S. L., Cho, J. K., and Kim, C., 2023, Analysis of Prior Research to Establish a Technology Roadmap of Active Systems for Zero Energy Building/House (ZEB/H): The Last Decade of International Research, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 9, pp. 451-467.
13. Jang, S. M., Lim, B. G., and Cho, J. K., 2023, A Case Study of On-site Infection Risk Assessment in a Healthcare Facility Using Tracer Gas Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 10, pp. 479-486.
14. Cho, J. K., Oh, W. S., and Park, B. Y., 2023, Development of a Local Ventilation and Purification System with Integrated Supply and Exhaust Air for Healthcare Workers' Protection in Infectious Disease Isolation Rooms, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 12, pp. 598-609.
15. Yeon, S. H., Kim, C. H., Park, K. W., Choi, D. C., Jo, Y. G., Choi, J. M., and Lee, K. H., 2023, Automated Extraction of Fire Protection System Design Information from Architectural Drawings Using Artificial Intelligence, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 7, pp. 331-342.
16. Kwon, Y. I., 2023, A Study on Flow Interference between Total Heat Recovery System and Kitchen Range Hood in Apartment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 9, pp. 434-442.
17. Yu, J., Seong, Y. H., and Lee, H., 2023, The Paradigmatic Shift in Facility Structures by Electrification of Combustion-based Continuous Steel-strip Annealing Furnace in Continuous Galvanizing Lines, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 12, pp. 610-624.
18. Kwon, Y. I., 2023, Comparison of Ventilation Performance between Displacement Ventilation and Mixing Ventilation Installed in Factories with High Floor Heights, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering,

Vol. 35, No. 12, pp. 625-632.

19. Woo, S. M., Song, H. E., Kang, Y. H., and Ahn, Y. C., 2023, An Analytical Study on Indoor Air Quality Changes in a Classroom According to Operating Conditions of an Air Purifier and FANs, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 224-234.
20. Son, Y. R. and Yang, J. H., 2023, A Study on the Types of Ventilation System used in Apartment Houses and the Perceptions of Residents, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 99-112.
21. Byun, J. Y., Park, S. M., Shim, J. S., and Song, D. S., 2023, Analysis of Heat Flow Characteristics Through a South-facing Wall Directly Exposed to Solar Radiation and Convergence Condition for Thermal Transmittance Calculation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 126-135.
22. Son, Y. R., Kim, S. B., and Yang, J. H., 2023, A Study on Indoor Air Quality Monitoring According to the Type of Ventilation System Using ESP-NOW Communication, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 9, pp. 421-433.
23. Jeong, C. H., 2023, The Effect of Vehicle Entry on the Behavior of Fine Dust in the Entrance Area of Underground Parking Lots, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 11, pp. 539-548.
24. Bang, S., Yoon, N., and Heo, Y., 2023, The Design and Analysis of a Double-skin Solar Heating System to Reduce Heating Energy in Winter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 244-252.
25. Kang, Y., Bae, S., Chae, H., and Nam, Y., 2023, Life Cycle Analysis of Photovoltaic-Geothermal Hybrid System for a Small Office, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 215-223.
26. Kwon, O. I. and Kim, Y. I., 2023, Classification Model of Cooling or Heating Zone Based on Coefficient of Determination for Building Energy Diagnosis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 402-411.
27. Moon, G. H., Choi, M., Kang, B. H., Lee, S. C., Kim, S., Jung, H. J., Yun, R., and Park, C. Y., 2023, 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. 35, No. 6, pp. 265-274.
28. An, Y. S., Kim, H., Kim, J., and Kim, M. H., 2023, Renewable Energy Penetration Rate Investigation of Low Carbon Energy Sharing Residential Community with Building Integrated Photovoltaic Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 20-27.
29. Jin, S., Lee, C., and Do, S. L., 2023, Evaluation of the Indoor Thermal Environment and Energy Usage by Adjusting the Heating System Capacity and the Restart Time, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 113-125.
30. Lee, C., Jin, S., and Do, S. L., 2023, An Analysis on the Energy Usage of Apartment Households: Against Household unit for Small-area Apartments, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 176-186.
31. Jung, W. H. and Song, D. S., 2023, The Proposal of an Outdoor Air-Conditioning System for a Semiconductor Manufacturing Cleanroom and Analysis of Its Energy Savings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 163-175.
32. Park, B., Lim, J., Kim, J., Kim, S., and Yun, Y. S., 2023, Improvement of Green Standard for Energy and Environment Design Criteria With Commissioning, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 9, pp. 468-478.
33. Oh, J. H., Son, Y. I., and Kim, E.-J., 2023, Development of a Grey-box Based Building Load Model Using TRNSYS Components, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 10, pp. 487- 496.
34. Lee, Y. S. and Kim, W. H., 2023, Development of Plug-and-play Point Mapping Automation Technology for Efficient Deployment of Optimal Start Models for VRF Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration

- Engineering, Vol. 35, No. 11, pp. 566-576.
35. Cho, H. J., Choi, S. G., and Hwang, D. K., 2023, A Study on Unit Heating and Cooling Load Standard for Apartment Houses according to the Mandatory of Zero Energy Building Certification, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 12, pp. 633-645.
36. Cho, J. and Kim, J., 2023, Evaluation of Ventilation Performance of a Mobile Negative Pressure Isolation Room for Infectious Disease Response to Prevent Infection, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 253-264.
37. Park, B., Lee, S., and Ryu, S., 2023, Experimental Study on Sterilization Efficiency According to Irradiation Time at Installation Distance of UV-C, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 394-401.
38. Yoo, M. S., Kim, S. E., Song, Y. W., Bang, J. Y., and Park, J. C., 2023, Experiments on Formaldehyde Reduction Performance of a TiO<sub>2</sub> Photocatalyst through UV-A Irradiance Change, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 194-201.
39. Yang, S., Kim, Y. U., and Kim, S., 2023, Evaluation of The Flame Retardant Performance of Biochar-Hwangtoh Composite Building Materials for Preventing Fire Spread, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 235-243.
40. Kang, Y., Chae, H., Bae, S., Kim, K., and Nam, Y., 2023, Analysis of Carbon Emissions of Ground and Air Source Cooling and Heating Systems Based on Dynamic Energy Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 10, pp. 497-504.
41. Yoon, S. and Im, Y., 2023, A Comparative Analysis of Heat Supplying Models with Seasonal Heat Storage for a Greenhouse, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 10, pp. 505-518.
42. Park, S. W., Yeom, J. H., and Lee, K. W., 2023, A Study on Energy Efficiency Rating Standard Improvement Through Analysis of the Effect of Rating Index Increase, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 10, pp. 519-527.
43. Kim, J., Kwon, S., Han, C., Kim, J., Kim, Y., and Kim, Y., 2023, Performance Improvement of a Refrigeration System for an Eco-friendly Refrigerator Truck by Optimizing Heat Exchanger Designs, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 06, pp. 275-285.
44. Park, J., Gholamalizadeh, P., Koushaeian, M., Khan, A., Duong, X., and Chung, J., 2023, Numerical Analysis of Bus Interior Parameters According to Environmental Conditions: (2) Evaluation of Thermal Comfort, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 12, pp. 588-597.
45. Chung, Y., Sohn, S., and Song, C., 2023, The Effect of Non-uniform Frost Deposition on Fin-Tube Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 2, pp. 61-69.
46. Lee, W., Bae, K., and Kwon, O., 2023, Condensation Heat Transfer Characteristics According to Heat Transfer Tubes and Operating Conditions in Condensers for Absorption Chillers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 7, pp. 354-362.
47. Kim, D., Kim, H., Kim, J., and Kim, W., 2023, An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Falling Film Evaporator for R-1234ze(E) Refrigerant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 7, pp. 363-370.
48. Ko, J., Bae, K., and Kwon, O., 2023, Heat and Mass Transfer Characteristics According to the Shape of the Absorber Heat Transfer Tube for Absorption Chiller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 12, pp. 577-587.
49. Kim, I. K., Lim, H. W., Lee, W. J., Lee, K. H., and Shin, U. C., 2023, Simulation-Based Real-time Performance Analysis of Flat Plate Solar Collector, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 7, pp. 343-353.
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, J. M. and Kim, S. C., 2023, Optimization of High-Temperature Heat Pump Cycle for Producing Steam of 160°C, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 371-380.
  52. Park, J. G., Kim, S. H., and Shin, J. S., 2023, Geothermal Heat Pump System that Controls Ground Loop Flow Rate and EWT Using Ground Loop Buffer Tank and Inverter Pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 412-420.
  53. Seol, H., Sohn, S., Lee, K. H., and Kim, J., 2023, Experimental Study on Flow Distribution in PCHE Using Flow Visualization, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 1-10.6.
  54. Yang, S. K., Kang, Y. H., Kim, J. H., Lee, E. Y., Kim, J. Y., and Ahn, Y. C., 2023, Experimental Study of Fouling Characteristics According to The Fin Shape of Finned Tube Type Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 11, pp. 549-556.
  55. Kim, Y., Samuel, A. A., and Yun, R., 2023, Development of Condensation Heat Transfer Coefficient and Pressure Drop Model Applicable to a Full Range of Reduced Pressures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 11, pp. 557-565.
  56. Lee, H. and Yu, J., 2023, A Study on Latent Heat Energy Storage Technology for Reduction of Fossil Fuel Consumption in Combustion Systems: Part I Market Size of Thermal Storage, Development Level, and Evaluation of Phase Change Materials, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 28-43.
  57. Lee, H. and Seo, D. M., 2023, A Study on Latent Heat Energy Storage Technology for the Reduction of Fossil Fuel Consumption in Combustion Systems: Part II Heat Transfer Characteristics of Phase Change Materials, Heat Exchanger Design, and Demonstration Cases, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 147-162.
  58. Jeong, J., Han, S., and Shin, W., 2023, An Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of Model Greenhouse with Water Flow Glazing, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 11, pp. 529-538.
  59. Park, J. H., Gholamalizadeh, P., Koushaeian, M., Khan, A., Duong, X. Q., and Chung, J. D., 2023, Numerical Analysis of Bus Interior Parameters According to Environmental Conditions: (1) Evaluation of Thermal and Fluid Characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 9, pp. 443-450.
  60. Kang, K. M., Jeong, D. H., and Jeong, J. H., 2023, Classification of the Behavior of Textiles Inside a Rotating Cylindrical Flat Drum, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 187-193.