



설비공학 분야별 최근 연구 동향 : 2020년 설비공학논문집 발표논문에 대한 종합적 고찰

A Review of the Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2020

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, 이광호(Kwang Ho Lee)⁸, 정재원(Jae-Weon Jeong)⁹

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

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

⁷한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실 책임연구원, ⁸고려대학교 건축학과 부교수, ⁹한양대학교 건축공학부 교수

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

²Professor, Dept. of Mechanical Eng., Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

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

⁴Professor, Dept. of Mechanical Eng., Ajou University, Suwon, 16499, Korea

⁵Associate Professor, Dept. of Architectural Eng., Pusan National University, Pusan, 46241, Korea

⁶Professor, Dept. of Mechanical Eng., Jeju National University, Jeju, 63243, Korea

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

⁸Associate Professor, Dept. of Architecture, Korea University, Seoul, 02841, Korea

⁹Professor, Dept. of Architectural Eng., Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

Abstract This article reviews the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2020. 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, data center, 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, particulate matter, machine learning, UV, COVID-19, building energy performance etc.
- (3) In the field of the refrigeration system, the topics were refrigeration, dehumidification, heat pump cycle, refrigerant, electric scroll compressor and absorption refrigerator etc.
- (4) The topics of the papers published in the field of heat and mass transfer were the heat exchanger, heat storage and heat dissipation characteristics, heat exchanger, the heat transfer of the liquid evaporator, the thermal conductivity of the vapor chamber, hot air dryer and the thermoelectric element etc.
- (5) Ventilation was the most cited keyword in the papers published in 2020, and the next was the data center, energy recovery ventilator, geothermal system, absorption chiller, building energy, heat transfer, PV, heat pump, heat exchange, dehumidification, simulation, mass transfer, negative pressure isolation room etc. Also, COVID-19, UV were suggested.

Key words Air-conditioning(냉방), Heating(난방), Ventilation(환기), Refrigeration(냉동), Heat transfer(열전달), Indoor air quality(실내공기질), Energy saving(에너지 절감), Heat pump(히트펌프), Dehumidification(제습), Absorption chiller(흡수식 냉동기), Compressor(압축기), PV(태양광), Refrigerant(냉매), Simulation(시뮬레이션), Data center(데이터센터), Mass transfer(물질전달), Negative pressure isolation room (음압격리병실), COVID-19(코로나19)

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

1. 서 론

이 논문은 2020년도에 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(Fig. 1 참조).

또한 이들 논문들에서 제시하였던 키워드를 정리하면 다음 Fig. 2와 같다. 2020년도에 발표된 논문들에서 가장 많이 제시된 키워드는 환기, 데이터센터, 열회수 환기장치, 지열, 흡수식, 건물에너지, 에너지절감, 열전달, 태양광, 대체냉매, 냉방부하, 히트펌프 등이 높게 나타났으며, 코로나 상황에 따라 COVID-19, 음압병동, UV 살균 등의 새로운 키워드가 제시되기도 하였다.

본 논문이 설비공학 분야의 최신 연구동향을 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

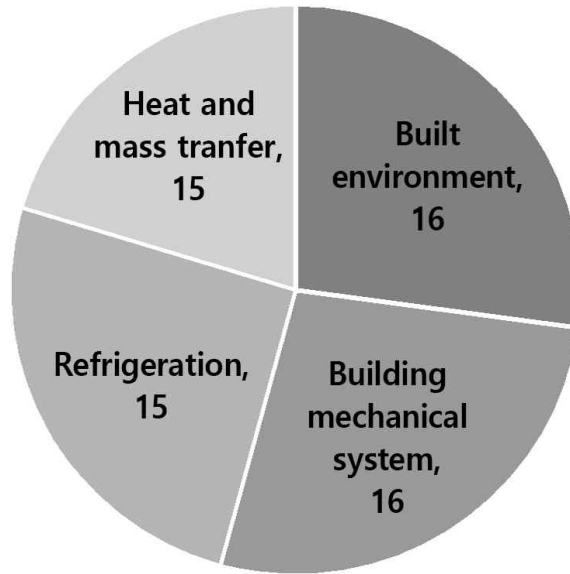


Fig. 1 Number of papers by subject published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2019.

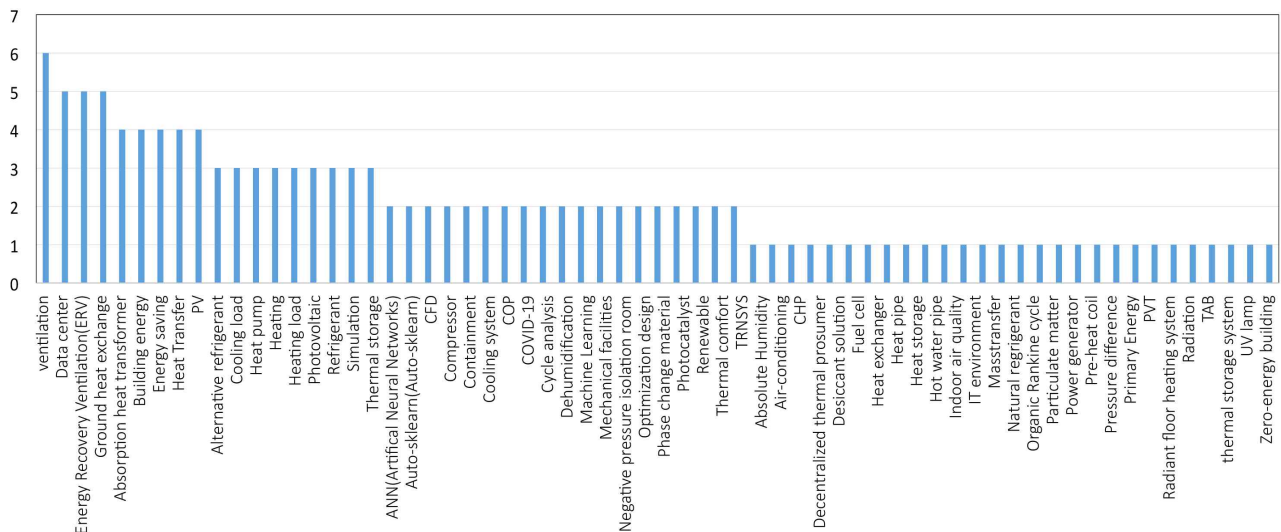


Fig. 2 Number of keyword suggested in the paper of Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2020.

2. 건축기계설비

2.1 개요

2020년 건축기계설비분야에서 발표된 논문들은 기계설비 분야 전반, 냉난방 및 환기시스템 관련 기술, 급탕 시스템, 데이터센터 및 클린룸 관련 기술, 신재생에너지 관련 기술, 기타 기계설비기술로 분류할 수 있으며 각 논문의 내용을 정리하면 다음과 같다.

2.2 건축기계설비 전반

Kim⁽¹⁾은 PROMETHEE II-GAIA 방법론을 이용하여 설비 정비시기 산정 시 상충하는 신뢰도와 정비 비용을 모델화하고, 통상 고장 문제 시 책임 소재 때문에 신뢰도를 더 크게 반영하는 것에서 탈피하여 최적의 정비시기를 산정할 수 있는 모델을 제시하였다.

Lee and Chung⁽²⁾은 액체식 제습시스템을 소형화하기 위해 적용된 이중 수조에서 수용액을 직접 교환하는 형태와 멤브레인 기술을 활용하여 물만 이동시키는 형태의 수용액 냉각 및 가열 부하를 비교하였다.

Cho et al.⁽³⁾은 데이터센터의 대표적인 에너지효율 개선 솔루션인 HAC 및 CAC의 IT공조환경을 비교분석을 위하여 실제 데이터센터를 대상으로 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. HAC와 CAC에 적용된 냉각시스템의 가동성능과 서버룸 내부의 IT공조환경의 차이를 비교하는 목적으로 수행되었다.

Yang et al.⁽⁴⁾은 기계설비법 제정에 따른 설비의 정의 및 정보체계 구축에 관하여 데이터 분류를 실시하고, 분류된 데이터를 기반으로 기계설비법 제7조(기계설비산업 정보체계의 구축)에 따른 기계설비산업 정보체계 구축에 관한 연구를 진행하였다. 기계설비 정보체계 구축은 기계설비법과 녹색건축법 등 현재 시행 중인 법을 근거로 하는 기계설비의 정의와 기계설비법에서 제시하는 업무 프로세스를 기반으로 분석하여 그 구축 방법을 제시하였다.

2.3 난방 및 환기시스템

Ahn et al.⁽⁵⁾은 공조기의 실측데이터를 활용해, 기계학습을 통한 공조기 급기온도 예측모델의 정확도 개선을 위한 매개변수 선정 방안을 분석 및 기존 ANN 모델을 이용한 예측모델과 비교하였다.

Park et al.⁽⁶⁾은 CFD 시뮬레이션을 통해 지하주차장 기계환기시스템의 성능 개선 방안을 분석하였으며, 환기 시스템 재설계를 통해 송풍기의 소비전력을 추가적으로 저감할 수 있음을 확인하였다.

Yeom et al.⁽⁷⁾은 지역난방이 적용된 공동주택에서 에너지 절약적인 난방 공급을 위해 외기보상제어의 공급 온도를 정규화하여 적정 난방공급온도를 도출하였고, 이에 따른 부하만족도를 분석하였다.

Ko et al.⁽⁸⁾은 다른 성능을 가진 열회수형 환기장치의 습도교환효율에 따른 환기장치 내부의 결로 발생율과 에너지 회수율을 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 결로가 발생할 수 있는 외기조건을 제시하였다.

Kim and Hong⁽⁹⁾은 음압격리병실의 실압차, 배기구 위치, 문의 개폐속도 및 의료진의 이동에 따른 병실 외부로의 오염공기 유출량을 CFD 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

Kang et al.⁽¹⁰⁾은 미세먼지 유입 방지를 위한 다양한 필터 적용에 따른 환기장치의 성능을 실험을 통하여 분석 및 비교하였다.

2.4 급탕시스템

Kim et al.⁽¹¹⁾은 건물 온수배관의 열손실을 최소화하기 위한 설계 기준을 제시하기 위해, CFD 시뮬레이션을 통하여 단열두께 기준에 따른 열손실 및 표면온도 차이를 분석하였다.

2.5 데이터센터 및 클린룸

Cho and Hong⁽¹²⁾은 데이터센터의 건물에너지 성능 측정 및 평가(M&V)를 위해 에너지 효율지표인 PUE에 기반을 둔 구역단위 non-IT 시스템 에너지 모델을 도출하는 방법론과 기준을 제시하였다.

Hwang and Lee⁽¹³⁾는 데이터센터의 냉방부하 저감을 위해 상대적인 저온 외기를 도입의 에너지 절감 성능을 분석하였고, 추가적으로 전산장비와 급배기구의 효율적 배치를 통해 보다 효율적인 실내 냉방이 가능함을 확인하였다.

2.6 신재생에너지

Kim et al.⁽¹⁴⁾은 저탄소 에너지공유 커뮤니티 구현을 위한 에너지절감 및 효율개선 방안으로 다양한 신재생 열에너지 시스템을 적용한 지열원 급탕 공급시스템을 제안하고, 제안된 시스템에 대한 에너지 절감효과를 분석하였다.

Kim et al.⁽¹⁵⁾은 소규모 건축물에서의 지열시스템 도입 활성화를 위해 모듈러 지중열교환기를 제안하고 CFD 해석을 통한 설계 인자 영향도 분석을 실시하였다. 그 결과, 저심도 모듈러 지중열교환기는 일반적인 수직 밀폐형 지중열교환기에 비해 낮은 심도에서 채열 및 방열을 하므로 외기온의 변화에 따른 열원 온도 변화가 상대적으로 크며 파이프 단위 길이당 채열량 또한 낮음을 확인하였다.

Cho and Lim⁽¹⁶⁾은 Earth tube와 열전소자를 조합한 습도조절 냉난방 장치의 성능을 파악하기 위하여 실험을 수행하였으며, 하절기 주간 측정기간 동안 유닛 통과 전·후의 공기 온도는 0.4℃로 1.6%의 하강효과를 보이는 반면, 제습은 15.7%에 해당되는 0.0019 kg/kg[DA]로 큰 효과가 있는 것을 확인하였다.

2.7 기타

Lee⁽¹⁷⁾은 우리나라 5개 건설사의 설계지침서를 통해 아파트 급수설비 설계에 대한 적정성 여부를 조사하여 판지를 결정 절차 중 공학적으로 불합리한 부분을 추출하고 이에 대한 대체 설계법을 제시하기 위하여 아파트에서의 계산결과를 비교 평가하였다.

Kim et al.⁽¹⁸⁾은 에이전트를 기반으로 분산에너지 제어를 통한 에너지소비와 피크냉방전력수요 절감에 대하여 건물 냉방시뮬레이션을 통하여 그 효과를 검증하였다.

3. 건축환경

3.1 개요

건축환경 분야의 논문은 크게 건물에너지, 실내환경 및 기타로 분류할 수 있다. 각 논문의 내용을 요약, 정리하면 다음과 같다.

3.2 건물에너지

Jang et al.⁽¹⁹⁾은 다중이용시설의 COVID-19의 악성 전파 메커니즘과 관련하여 감염을 예방하고 더 많은 바이러스 입자를 제거하려면 자주 효과적인 환기 방법은 제안하기 위해 TRNSYS18을 통해 환기시스템 종류별 난방 및 냉방 부하 값을 비교하고 분석하였다.

Jung et al.⁽²⁰⁾은 외부차양 장치의 운용의 따른 창호의 복사 열전달을 포함한 통합적 분석을 위해 외부차양의 전도, 대류, 복사 열전달을 각각 분석하여 통합 열전달 분석을 수행하였다.

Ko et al.⁽²¹⁾은 스마트창호를 적용한 건물의 에너지 저감을 위한 연구의 일환으로 SPD(Suspended Particles Devices)의 창면적비 및 SHGC범위에 따른 건물 냉·난방에너지 소요량을 분석하였다.

Park et al.⁽²²⁾은 동특성 시뮬레이션 TRNSYS 프로그램을 이용하여 커튼월 시스템이 적용된 건축물의 공조 부하 산정 시 커튼월 열관류율 산정방법 및 적용 방법을 제안하고 커튼월 프레임이 부하에 미치는 영향을 분석하고, 커튼월시스템 방식에 따른 냉난방부하를 비교분석하였다.

Ahn et al.⁽²³⁾은 보다 정확한 건물에너지 예측을 위하여 기계 학습 모델인 LSTM 기법을 활용하였다. 스케줄 데이터를 자동으로 분석하여 예측하는 모델을 적용하여 정확도가 보장된 건물 에너지 예측 방안을 제안하였다.

Choi et al.⁽²⁴⁾은 소규모 호텔 건물과 유리온실이 통합된 건물의 냉난방 부하 산정을 위해 에너지 부하 해석을 수행하였다. 이를 위해 소규모 호텔과 유리온실이 통합된 해석 모델과 분리된 해석 모델을 개발하고 이를 상용 BES 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 에너지 부하 해석을 수행하였다.

Ko and Jeong⁽²⁵⁾은 겨울철 외기 조건에 따른 겨울철 전열교환 환기장치의 잠열교환 효율에 따른 겨울철의 결로 발생 온도 분포와 결로 발생 빈도를 계산하였고, 이에 따라 결로 방지를 위해 요구되는 예열코일용량 차이를 분석함으로써 잠열교환 효율 차이가 결로 발생 빈도와 예열코일용량에 미치는 영향을 분석하였다.

Kim et al.⁽²⁶⁾은 열회수형 환기시스템의 에너지 절약적인 운영에 대한 검토를 위하여 다양한 타입별 ERV의 by-pass 외기냉방제어로 인한 에너지 절감 효과를 분석하고, ERV의 월별 by-pass 외기냉방 운전시간 비율과 열교환되는 풍량, 열교환 효율 등을 비교하였다.

Kim et al.⁽²⁷⁾은 60세대의 소규모 건축물을 선정하여 현장 실태조사를 바탕으로 최근 실내공기질 문제를 해결하는 방안 중 하나인 열교환환기장치 TAB를 대상으로 연구를 진행하였다. 이를 위해 TAB 작업 전후의 풍량을 계측하여 밸런스차이에 의한 영향성을 분석하였고, 에너지성능 분석을 통해 TAB가 건축물 에너지성능에 미치는 정도를 파악하였다.

3.3 실내 환경

Song et al.⁽²⁸⁾은 최근 입자상 문제를 해결하기 위해 대표적인 입자상 물질 전구체인 NOx를 저감하기 위해 환기 시스템에 TiO₂ 광촉매를 적용하여 분석을 실시하였다. 실험은 두 가지 조건에서 수행되었으며, 첫 번째 실험은 ISO 22197-1 조건에 맞추어 NOx 저감 성능을 확인하였다.

Lee et al.⁽²⁹⁾은 로이코팅의 위치 변화에 따른 결로방지성능 효과를 검증하고자 실거주조건을 모사한 실규모 거실창을 대상으로 KS F 2295에 따라 온도차이비율(TDR)을 산출하였다. 실험군은 이중창의 로이코팅 위치에 따라 실내·실외측과 간봉 종류에 따라 단열 간봉(TPS)과 알루미늄 간봉(AL)으로 총 6가지 case를 선정하였다.

Kim et al.⁽³⁰⁾은 PCM 바닥난방시스템에서 난방스케줄에 따른 축열성능, 특히 타임랙(Time-lag)을 기존방식과 비교 분석 하였다. 기존 바닥난방시스템은 경량기포콘크리트를 축열재로 이용하며 축열성능을 더욱 향상시키기 위해 PCM을 적용하고 이를 Mock-up으로 구축하여 실험에 사용되었다. 축열성능 향상 실험 결과 4시간 운전모드에서 타임랙은 20분 발생하였고, 5시간 운전모드에서 타임랙은 25분 발생하였다.

Ju et al.⁽³¹⁾은 사물인터넷 기술을 활용하여 실제 공동주택 내 드레스룸에 구축한 테스트베드에서 측정한 데이터를 토대로 결로 판정 예측 모델을 개발하였다. 또한, 제어 알고리즘의 결로 방지 성능을 검토하기 위하여 특정 시점의 결로 위험도를 정량적으로 평가하는 척도인 결로 발생 위험도(CRS)라는 개념을 제시하였다.

Park and Song⁽³²⁾은 건물에너지 시뮬레이션 기법을 활용하여 건물 열적 성능수준별 외주부의 복사환경 및 온열 쾌적감의 차이, 그리고 재실자가 열적 쾌적감을 확보하기 위해 실시하는 적응행동(실내 설정온도조절)을 반영하는 경우의 냉난방에너지 소비량 차이를 분석하였다.

3.4 기타 분야

Lee et al.⁽³³⁾은 건물 성능, 건물 용도와 규모, 신재생에너지 시스템 효율과 같은 물리적 특성에 기반을 둔 에너지소요량과 신재생발전량을 예측하여 제로에너지 타운 내 에너지 소비 밸런스를 평가하고, 타운 내 신재생 에너지의 공유를 통한 소비량 최소화가 가능한 운영 알고리즘과 ESS를 활용한 에너지 생산/공유/저장을 위한 에너지밸런스에 관한 연구를 진행하였다.

Lim and You⁽³⁴⁾은 배관보온재료인 발포폴리에틸렌폼과 고무발포보온재를 설치 환경을 고려한 화재시험을 통해 난연성능을 분석하고, 국내에서 사용중인 난연성능 평가방법과 비교하였다.

Chang et al.⁽³⁵⁾은 국내·외 제로에너지 건축물 인증기준과 성공사례를 분석하여, 기후조건과 건축물 유형에 맞는 국내 제로 에너지 건축물 인증기준에 대한 개선안을 제시하였다. 개선안에서는 현재 주거용과 주거용 이외의 건축물로만 구분되어 있는 건축물 유형을 건축물 용도에 따라 세분화하였으며, 신축 건축물을 대상으로 한 인증기준 이외에 리모델링 건축물을 대상으로 하는 인증기준을 제시하였다.

Kim et al.⁽³⁶⁾은 실제 건물 외부마감재에 광촉매인 TiO_2 를 적용하여 대기오염물질인 NO_x 제거 효과를 분석하였다. 실험 대상 기체는 일산화질소 및 이산화질소를 대상으로 하였다. 현장 시험에 앞서, 예비실험을 통해 NO_x 저감 효과가 일본광촉매협회의 NO_x 제거 성능 기준치 이상으로 드러나, 효과적인 것으로 드러났다.

Lee et al.⁽³⁷⁾은 지하 4층, 지상 30층의 주상복합건축물을 대상으로, 지하 1층에서 화재 발생 시 3가지 배연 설비 case에 따른 가시도와 연기농도를 화재시물레이션을 통해 분석하였다.

Kim et al.⁽³⁸⁾은 화재 상황에서 밀폐형 스크린 도어의 설치 유형에 따른 피난허용시간과 피난소요시간을 분석하고자 하였다.

4. 냉동분야

4.1 개요

2020년 냉동분야에서는 냉동사이클, 폴리머 흡착제를 코팅한 흡착열교환기를 채용한 흡착식 칠러, R449A 플래시탱크 가스인젝션 2단 압축 냉동시스템, 가스엔진 구동 다실제어 제습냉방시스템에 대한 연구가 수행되었다.

4.2 냉동사이클

Kim et al.⁽³⁹⁾은 알루미늄 평판관 열교환기에 폴리머 흡착제를 코팅한 형태의 흡착기를 제작하여 구성한 흡착식 칠러의 성능 실험을 수행하였다. 흡착제의 종류와 두께를 달리한 3개의 흡착기 성능을 분석한 결과 흡착제의 수분흡산 속도가 크고 코팅 두께가 얇을수록 성능이 향상되며 응축기보다는 흡착기에 공급되는 냉각수의 온도를 낮추어 효율을 높일 수 있다고 하였다.

Kang et al.⁽⁴⁰⁾은 냉동 창고용 냉동시스템에 널리 쓰이는 R404A의 대체냉매로 R449A를 사용하여 1단 압축 시스템과 플래시탱크 가스인젝션(FTVI)을 채용한 2단 압축 시스템을 제작, 실험하여 그 성능특성을 분석하였다. 1단 압축 시스템의 경우 R449A는 R404A에 비해 냉동용량이 작고 토출온도가 높아 압축기 손상의 위험이 높았으나 R449A를 2단 FTVI 시스템에 적용한 경우에는 냉동용량이 증가하고 토출온도도 감소하여 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다고 하였다.

Kim and Ahn⁽⁴¹⁾은 100 kWe급 가스엔진 열병합 시스템에 연계한 다실제어 제습냉방기의 모델을 개발하고 운전특성과 예측성능을 분석하였다. 축열조에 저장한 배열로 구동하는 하이브리드 다실제어 제습냉방기와 냉방공간의 시공도면 구조정보를 바탕으로 TRNSYS 환경에 구축한 시뮬레이터로 얻은 시뮬레이션 결과와 실내 환경 실험을 통해 얻은 실험결과를 비교하여 모델의 예측성능을 검증하였다.

Lee⁽⁴²⁾은 동심 원통형 영구자석을 이용한 상온 자기냉동장치를 제작하고, AMR 베드에 단일냉매와 혼합냉매를 넣었을 때의 성능을 실험하였다. 자성재료로써 Gd만을 사용한 단일냉매와 Gd와 GdTb를 혼합해서 넣은 AMR 베드를 이용한 자기냉동시스템의 성능을 비교하였다.

4.3 기타

Yang et al.⁽⁴³⁾은 전기히터식, 공기열원 및 지열원 열펌프식 농산물 열풍건조기의 사이클 해석에 의한 성능 비교를 실험데이터를 기반으로 실시하였다. 전기히터 열풍건조기에 비해 공기열원 열펌프 열풍건조기의 COP는 45.0~84.6%, 지열원 열펌프 열풍건조기는 80.2~102.2% 높게 나타났다.

Kim et al.⁽⁴⁴⁾은 단일 건물에서의 신재생 열에너지 생산시스템의 적용 한계를 극복하기 위해, 소규모 중앙 집중식 열 네트워크에서 직행식 태양열 히트펌프기반 분산형 열 프로슈머 구현 방안을 모색하였다. 직행식 태양열 히트펌프가 열 프로슈머로 운영될 경우, 전체 타운 급탕에너지의 51.6%를 담당할 수 있는 것으로 나타났으며, 건물별 급탕에너지 소비량의 37.7%를 절감할 수 있을 것으로 예측되었다.

Lee and Kwon⁽⁴⁵⁾은 진공 막증류 공정을 활용한 리튬브로마이드 수용액(LiBr-water)의 재농축에 관한 연구에서 기존의 증발식 농축공정을 대체할 수 있는 막 증류공정을 활용하는 농축공정에 대한 성능 및 가능성을 실험 및 수치해석 기법을 통해 분석하고 논의했다.

5. 열전달

5.1 개요

열전달 분야에서는 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 열전달 일반

Jeon and Ko⁽⁴⁶⁾는 20 kW급 발전기 방열에 적용될 수냉식 열교환기의 주요설계인자를 도출하고 최적화된 열교환기 형상 및 조건을 선정하기 위한 연구를 수행하였으며, 열교환기의 채널 높이 및 폭과 냉각수의 질량유량이 열교환기의 주요설계인자임을 확인하였다.

Shin et al.⁽⁴⁷⁾은 대면적 전자장비 냉각을 위한 이상냉각시스템의 운전 조건에 따른 성능 변화를 고찰하였고 수냉식시스템과 비교하였으며, 이를 통해 이상냉각시스템의 열전달계수가 이차유체 충전량과 열유속에 의해 변화함을 관찰하였다. 또한, 펌프회전수가 일정 속도보다 증가하는 경우 유량 증가에 따른 열전달 성능 증가 폭이 감소함을 관찰하였다.

Yoon et al.⁽⁴⁸⁾은 히트파이프 형상 변수에 따른 Li-ion 배터리의 공랭식 냉각성능을 측정하였다. 히트파이프의 길이 비에 따른 열전달 및 냉각특성을 분석하기 위한 냉각시스템 모델을 개발하였고, 냉각성능에 따른 최적유량과 히트파이프 길이 비를 제시하였다.

Kim et al.⁽⁴⁹⁾은 산업용 폐열을 산업공정용 고온 열펌프시스템의 증발기 열원에 적용하기 위해 새롭게 고안된 축열식 판형 열교환기에 대한 열전달 특성을 분석하였다. 열교환기에 공급되는 고온수의 공급온도와 열에너지가 저장된 PCM층의 초기 온도에 따른 열전달 특성을 제시하였다.

Bae et al.⁽⁵⁰⁾은 흡수식 히트트랜스포머용 흡수기에 대한 기초 설계 데이터를 제공하기 위해 기존 흡수식 냉동기에서 흡수기 전열관으로 사용된 Copper floral tube를 흡수기를 제작하여 1단 흡수식 히트트랜스포머의 작동 조건에서 실험과 성능평가를 수행하였다.

Kim⁽⁵¹⁾은 액체질소를 이용하여 분무냉각 시험을 수행하였으며, 막비등영역에서 액적유량밀도가 분무냉각 열전달에 미치는 영향을 관찰하였다. 이를 통해 액체질소의 분무냉각 열전달계수에 대한 상관 식을 제시하였다.

Lee et al.⁽⁵²⁾은 진공에서 전열관 형상에 따른 R718의 막응축 열전달계수에 관한 실험을 수행하였다. 이를 통해 각 전열관에 대한 Nusselt 상관식을 도출하였으며, Nusselt 수는 Reynolds 수가 증가할수록 감소함을 확인하였다.

5.3 기타

Moon et al.⁽⁵³⁾은 심야시간에 히트펌프를 가동시켜 여름에는 열을 저장하고, 겨울에는 고온 브라인을 저장하여 주간시간에 건물의 냉방 및 난방에 이용하는 혼합축열 시스템의 성능 고찰을 위해 히트펌프, 혼합축열조, 펌프, 자동제어시스템 및 모의부하장치로 구성된 혼합 축열 시스템 실증시험 장치를 실제 현장에 구축하였고 축열식 냉난방설비 기술규격을 준용하여 냉방 및 난방 축열 성능 시험을 수행하였다.

Dong and Jeong⁽⁵⁴⁾은 여름철에 미활용되고 있는 지역난방 중온수를 효과적으로 이용하면서 액체식 제습 시스템에 필요한 열도 공급할 수 있는 ORC CHP시스템에 적용 가능성이 높은 친환경 작동유체인 R514A, n-Pentane, R1233zd(E), 그리고 Nove649의 특성을 HFC 계열의 R245fa와 비교하여 검토하였으며, Novec649를 적용한 실제 시스템 성능평가를 통해 50℃ 이상의 수용액을 재생기에 공급, 추가 열원설비 없이 충분한 재생이 가능함을 확인하였다.

Hong et al.⁽⁵⁵⁾은 업무시설을 대상으로 연료전지의 가동 손익을 분석하여, 전기부하 및 열부하 특성에 유리한 운영시나리오를 도출하고, 연료전지의 초기투자비에 대한 가동이익 효과를 근거로 연료전지 용량 및 축열조 용량에 대한 설계기준을 제시하였다.

Lee and Bae⁽⁵⁶⁾는 오리피스 성능 저하 및 구조적 손상을 초래할 수 있는 오리피스 내부의 일반적인 캐비테이션 현상을 이해하기 위해 직각 모서리형 오리피스 내부에서 캐비테이션 유동을 해석하였으며, 2-방정식 모델의 경우, SST $k-\omega$ 모델을 사용하여 예측한 방출계수의 크기는 캐비테이션 영역에서 Nurick의 상관식과 잘 일치한 반면 표준 $k-\epsilon$ 모델은 상당히 다른 값을 제시함을 확인하였다.

Lee et al.⁽⁵⁷⁾은 전면투과체가 있는 형태로 기존 태양열집열기와 동일한 크기와 구조로 개발된 평판형 서펜타인 PV/T 태양열집열기의 열 및 발전성능을 이론 해석하여 알고리즘을 개발하였다. 또한 KS B 8295 기준에 따른 시험을 통해 그 타당성을 분석하였다.

Park et al.⁽⁵⁸⁾은 후면 환기형 BIPV 시스템에 대한 전력 및 열성능 특성에 관한 해석적 연구를 수행하였다. 결과로는 제4종 자연환기 방식과 제3종 강제환기 방식에 대해 무차원수인 레이놀즈수에 따라 BIPV 셀온도, BIPV 발전량, BIPV 발전효율, BIPV 손실에너지, BIPV 유용에너지에 대한 민감도 분석을 제시하였다.

6. 결 론

2020년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 건축기계설비, 건축환경, 냉동, 열전달 및 물전달 등 4개의 분야로 분류하여 연구동향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건축기계설비분야는 총 19편의 연구논문이 보고되었으며, 그 주제는 그 주제는 냉난방 및 환기시스템, 데이터센터, 클린룸, 신재생에너지 설비, 기계설비법에 관한 연구 등이 보고되었다.
- (2) 건축환경분야는 총 20편이 연구논문이 보고되었으며, 주제는 미세먼지, 환기, 공기청정기, 머신러닝, 음압 병동, 광촉매, COVID-19, 건물에너지 성능 평가 등에 관한 연구이었다.
- (3) 냉동분야는 총 7편의 논문이 보고되었으며, 주제는 냉동사이클, R-449A 냉매, 제습 냉방, 열풍건조기, 히트펌프, 진공 막증류 공정 LiBr 재충족, 자기 냉동장치 등에 관한 것이었다.
- (4) 열전달/열유체 분야는 총 13편의 논문이 보고되었으며, 그 주제는 태양광 시스템의 열성능 해석, 랭킨 사이클 특성 분석, 캐비테이션 유동, 액체질소 분무냉각 열전달, 흡수기 열전달, 축열성능, 열교환기 최적화 등에 관한 것이었다.
- (5) 2020년 설비공학 논문집에 발표된 논문들을 주제어(Keyword)로는 환기, 데이터센터, 열회수 환기장치, 지열, 흡수식, 건물에너지, 에너지절감, 열전달, 태양광, 대체냉매, 냉방부하, 히트펌프 등이 높게 나타났으며, 코로나 상황에 따라 COVID-19, 음압병동, UV 살균 등의 새로운 키워드가 제시되기도 하였다.

References

1. Kim, T., 2020, Application of MCDM to Estimate Optimum Overhaul Period of Plant Equipment : Case Study, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 8, pp. 398-404.
2. Lee, S. and Chung, J., 2020, Comparison on the Cooling and Heating Load for Desiccant Solution by Maintaining the Sump Concentration in a Liquid Desiccant System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 12, pp. 558-566.
3. Cho, J., Seo, W., and Woo, J., 2020, CFD-based Comparison Study of Hot Aisle Containment and Cold Aisle Containment Solutions in High-density Data Centers, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 9, pp. 419-434.

4. Yang, J. K., Lee, C. J., Jin, S. K., and Park, S. H., 2020, A Study on the Establishment of Mechanical Facility Information System Based on Mechanical Facilities Act, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 9, pp. 448-455.
5. Ahn, Y., Hong, G., and Kim, B. S., 2020, Predicting Supply Air Temperature in Air Handling Unit Using Machine Learning-Based Automation Algorithm, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 37-45.
6. Park, W.-P., Cho, J., and Jim, J., 2020, A Design Improvement Procedure of Mechanical Ventilation System for A Large Underground Parking Lot by Numerical Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 146-154.
7. Yeom, G., Lee, C., Jung, D. E., and Do, S. L., 2020, Determination of Optimal Set-point Temperature with Load Dissatisfaction and Energy Consumptions for Outdoor Temperature Reset Control of Heating Supply Systems in Apartment Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 179-190.
8. Ko, Y., Jang, S., Song, D., and Hong, H., 2020, A Study on Condensation Occurrence Ratio and Energy Recovery Ratio in Winter/Summer of Energy Recovery Ventilator According to Latent Effectiveness, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 10, pp. 457-464.
9. Kim, J. Y. and Hong, J. K., 2020, A Numerical Analysis on Contaminant Air Leakage According to Pressure Difference and Exhaust Location of Negative Pressure Isolation Room, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 1-12.
10. Kang, Y. M., Kim, J. W., Seo, J. S., Jeon, B. H., and Ahn, Y. C., 2020, A Study on the Performance Variations of an Energy-Recovery Ventilator Using a Pre-filter and HEPA Grade Filters, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 165-172.
11. Kim, S. E., Park, J. C., and Ryu, H.-K., 2020, Simulation of Surface Temperature Change by the Insulation Thickness of Hot Water Pipe in Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 21-26.
12. Cho, J. and Hong, W. P., 2020, Development of Row-based Energy Evaluation Methodology for Legacy Data Centers and M&V Baseline Models based on PUE, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 88-99.
13. Hwang, J. and Lee, T., 2020, A Study on the Instruction of Outdoor Air Cooling System for a Computer Room and Its Energy Saving Effect, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 191-203.
14. Kim, M. H., Lee, D. W., An, Y. S., and Joo, H. J., 2020, Applicability of Renewable Thermal Energy Systems on a Domestic Hot Water System for a Low-carbon Energy Share Community, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 11, pp. 532-541.
15. Kim, K., Kim, J., and Nam, Y., 2020, Study on the Performance Factor of the Modular Ground Heat Exchanger Using CFD Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 7, pp. 334-340.
16. Cho, S. and Lim, B., 2020, Experimental Study on the Performance of the Humidity Control Unit Integration of Heating and Cooling using Thermoelectric Element and Earth tub, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 5, pp. 215-223.
17. Lee, Y., 2020, A Study on the Determination of Water Supply Pipe Diameter in Apartment Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 8, pp. 490-496.
18. Kim, I., Kim, W., and Song, Y., 2020, Development of Multi-Agent-based Distributed Energy Control for Commercial Buildings to Provide Electric Energy Consumption Saving, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 75-87.
19. Jang, S., Ko, Y., Min, J., and Hong, H., 2020, Heating and Cooling Energy Consumption according to Ventilation Method of Multi-Use Establishments, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32,

- No. 8, pp. 405-411.
20. Jung, D., Lee, C., and Do, S., 2020, Analysis of the Window Glazing Heat Transfer of Installation of an External Shading Device, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 6, pp. 278-287.
 21. Ko, Y., Hong, H., and Min, J., 2020, Energy Performance Evaluation of Responsive Smart Windows Applying SPD According to Window Area Ratio and SHGC Range, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 9, pp. 441-447.
 22. Park, J., Kim, E., and Kim, K., 2020, A Study of Overall Heat Transfer Coefficient and HVAC Load according to Installation and Thermal Insulation Methods of Curtain Walls, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 10, pp. 465-472.
 23. Ahn, Y., Lee, Y., Oh, E. J., and Kim, B. S., Building Energy Demand Prediction Model using Fourier Transform based Schedule Analysis Algorithm, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 8, pp. 386-397.
 24. Choi, S. M., Lim, B. J., Lee, Y. W., and Do, K. H., Energy Analysis of the Heating and Cooling Load Estimation of a Small Hotel with an Integrated Rooftop Greenhouse, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 11, pp. 497-509.
 25. Ko, J. and Jeong, J. W., A Comparison on Condensation Occurrence and Required Pre-heat Coil Capacity for Condensation Prevention according to Different Sensible and Latent Effectiveness in Energy Recovery Ventilator, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 115-124.
 26. Kim, C. H., Kang, W. H., Park, M. K., Lee, K. H., and Kim, K. S., Energy Saving Optimal Operation Strategy for By-pass Control by Various Types of Energy Recovery Ventilator, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 7, pp. 309-322.
 27. Kim, D. J., Kim, T., Park, J., and Lee, J. H., Building Energy Performances of Pre/Post TAB Practices for Heat Recovery Ventilation Systems in Residential Buildings and its On-site Surveys, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 7, pp. 323-333.
 28. Song, Y., Kim, S., Jung, Y., Yoo, J., and Park, J., 2020, Reduction of Nitrogen Oxide by a Photocatalyst Ventilation Duct System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 11, pp. 526-531.
 29. Lee, H., Choi, G.-S., and Lee, H., 2020, Evaluation of Condensation Prevention Performance of Double Glazing Window Systems According to the Location of Low-emittance Coating, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 11, pp. 519-525.
 30. Kim, S., Choi, S., and Park, J., 2020, Analysis of Thermal Storage Effects of PCM Floor Radiant Heating System According to Heating Schedule, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 6, pp. 272-277.
 31. Ju, E. J., Lee, J. H., and Yeo, M. S., Simulation of Model Predictive Control to Prevent Condensation in Dressroom According to Restoration of Bathroom Base Humidity, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 13-20.
 32. Park, S. H. and Song, D. S., Building Energy Consumption Prediction Considering the Occupants' Thermal Comfort and Behavioral Adaptation, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 27-36.
 33. Lee, H. H., Kang, J. S., Choi, G. S., Jeon, S., and Lee, Y. J., Analysis of Greenhouse Gas Reduction in a Zero-Energy Town via Energy Sharing, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 12, pp. 543-557.
 34. Lim, O. K. and You, W. J., An Experimental Study on Fire Performance Characteristics of Pipe Insulation Materials, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 125-134.
 35. Chang, S. J., Choi, G. S., and Kim, S., A Study on the Improvement of the Certification Criteria for Zero Energy Buildings in Korea According to Climate Conditions and Building Types, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 32, No. 5, pp. 205-214.

36. Kim, M., Kim, H., and Park, J., 2020, Field Experimental Analysis of NOx Removal Efficiency of Photocatalytic Exterior Materials Reducing PM_{2.5}, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 12, pp. 585-592.
37. Lee, B., Kim, D., and Lee, K., 2020, A Comparison Study on Methods of Smoke Exhaust System of Underground Parking Lots, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 7, pp. 340-347.
38. Kim, J., Lee, J., and Lee, K., 2020, A Study on the Change of ASET and RSET According to Installation of Platform Screen Door(PSD) by Type of Subway Platform, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 8, pp. 377-385.
39. Kim, T. H., Lee, D. Y., and Chang, Y. S., 2020, A Performance Test of an Adsorption Chiller Adopting Heat Exchanger Coated with Polymer Adsorbent, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 47-57.
40. Kang, Y., Lee, S. H., and Kim, Y. C., 2020, Experimental Study on the Performance Characteristics of a Flash Tank Vapor Injection Refrigeration System using R449A, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 155-164.
41. Kim, J. H. and Ahn, J., 2020, Simulation of Multi-room Controlled Dessicant Cooling System Considering the Structure of the Cooling Space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 263-271.
42. Lee, J., 2020, Experimental study on a Room-Temperature Magnetic Refrigeration Apparatus Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 9, pp. 413-418.
43. Yang, W., Kim, Y., and Park, S., 2020, Performance Comparison of Electric Heater, Air Source and Geothermal Source Heat Pump type Agricultural Hot Air Dryer with Cycle Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 135-145.
44. Kim, M., Kim, D., Lee, D., and Heo, J., 2020, Application of Direct-Expansion Solar Heat Pump for Decentralized Heat Prosumer based on Small-Scale Thermal Network : A Feasibility Study 3, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 12, pp. 576-58.
45. Lee, J. and Kwon, O., 2020, A Study on the Reconcentration of Diluted Lithium Bromide Solution(LiBr-water) by the Vacuum Membrane Distillation Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 8, pp. 367-376.
46. Jeon, D. S. and Ko, J. W., 2020, Design Optimization of Heat Exchanger for Cooling of Power Generator using Numerical Analysis, SAREK, Vol. 32, No. 5, pp. 223-234.
47. Shin, H. H., Lee, D. C., Chung, H. J., Kang, H., Kim, Y. C., Lee, K. J., Kang, S. W., Choi, H. Y., and Yang, H. S., 2020, Experimental Study on Two-Phase Cooling System Using R-245fa, SAREK, Vol. 32, No. 2, pp. 66-74.
48. Yoon, J. W., Yun, S. H., Jang, D. S., and Kim, Y. C., 2020, Numerical Study on the Air0cooling Performance of Li-ion Battery Using Heat Pipes with Various Shapes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 101-114.
49. Kim, D. H., Lee, D. G., and Kang, C. D., 2020, Heat Storage/Release Characteristics According to the Temperature of Hot Water in Thermal Storage Type Plate Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 11, pp. 473-482.
50. Bae, K. J., Kim, J. J., and Kwon, O. K., 2020, Heat Transfer Performance of a Falling Film High-Temperature Absorber in an Absorption Heat Transformer : An Experimental Study, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 12, pp. 567-575.
51. Kim, Y. C., 2020, Study on Spray Cooling Film Boiling Heat Transfer of Liquid Nitrogen, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 9, pp. 435-440.
52. Lee, D. G., Kim, J. M., Cha, D. A., and Kim, S. C., 2020, An Experimental Study on Film condensation Heat Transfer Coefficients of R718 under Vacuum Pressure with Various Horizontal Tube Shapes, Korean Journal of

- Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 11, pp. 510-518.
53. Moon, S. A., Lee, T. G., and Kang, H. K., 2020, A Study on the Thermal Storage Performance of Hybrid Thermal Storage Systems by the Field Demonstration Test, SAREK, Vol. 32, No. 10, pp. 483-489.
 54. Dong, H. W. and Jeong, J. W., 2020, Working Fluid Selection and Performance Characteristics in an Organic Rankine Cycle for a Liquid Desiccant System, SAREK, Vol. 32, No. 2, pp. 58-65.
 55. Hong, J. H., Aum, T. Y., and Lee, J. C., 2020, A Study on the Building Energy Efficiency Rating Changes by Enhanced Thermal Insulation Performance of Building Envelope Standards in Apartment Houses, SAREK, Vol. 32, No. 4, pp. 173-178.
 56. Lee, G. H. and Bae, J. H., 2020, Lessons Learned from the Prediction of Cavitating Flow inside a Sharp-edged Orifice using Different RANS Turbulence Models, SAREK, Vol. 32, No. 5, pp. 249-261.
 57. Lee, W. J., Lim, H. W., and Shin, U. C., 2020, Analysis of the Thermal-Electrical Performance of Serpentine PV/T Solar Collector, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 288-296.
 58. Park, J. U., Suh, H. S., Lee, S. J., and Choi, Y. S., 2020, Analytical Study on Electrical and Thermal Performance Characteristic of Back Side Ventilating Type BIPV Systems with Reynolds Number, 2020, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 7, pp. 348-366.