

설비공학회 분야의 최근 연구 동향 : 2015년 학회지 논문에 대한 종합적 고찰

Recent Progress in Air-Conditioning and Refrigeration Research :
A Review of Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and
Refrigeration Engineering in 2015

이대영(Dae-Young Lee)^{1*}, 김사량(Sa Ryang Kim)², 김현정(Hyun-Jung Kim)³,
김동선(Dong-Seon Kim)⁴, 박준석(Jun-Seok Park)⁵, 임병찬(Pyeong Chan Ihm)⁶

¹한국과학기술연구원 도시에너지연구단, ²강릉원주대학교 기계자동차공학부, ³아주대학교 기계공학과

⁴한국교통대학교 기계공학과, ⁵한양대학교 건축공학과, ⁶동아대학교 건축공학과

¹Urban Energy Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 02792, Korea

²School of Mechanical and Automotive Engineering, Gangneung-Wonju National University, Wonju, 25457, Korea

³Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon, 16499, Korea

⁴Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

⁵Department of Architecture Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

⁶Department of Architecture Engineering, Dong-A University, Busan, 49315, Korea

Abstract This article reviews the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering during 2015. It is intended to understand the status of current research in the areas of heating, cooling, ventilation, sanitation, and indoor environments of buildings and plant facilities. Conclusions are as follows.

- (1) The research works on the thermal and fluid engineering were carried out in the areas of flow, heat and mass transfer, cooling and heating, and air-conditioning, the renewable energy system and the flow inside building rooms. Research issues dealing with air-conditioning machines and fire and exhausting smoke were reduced. CFD seems to be spreading to more research areas.
- (2) Research works on heat transfer area were carried out in the categories of heat transfer characteristics, pool boiling and condensing heat transfer and industrial heat exchangers. Researches on heat transfer characteristics included the economic analysis of GHG emission, micro channel heat exchanger, effect of rib angle on thermal performance, the airside performance of fin-and-tube heat exchangers, theoretical analysis of a rotary heat exchanger, heat exchanger in a cryogenic environment, the performance of a cross-flow-type, indirect evaporative cooler made of paper/plastic film. In the area of pool boiling and condensing, the bubble jet loop heat pipe was studied. In the area of industrial heat exchangers, researches were performed on fin-tube heat exchanger, KSTAR PFC and vacuum vessel at baking phase, the performance of small-sized dehumidification rotor, design of gas-injection port of an asymmetric scroll compressor, effect of slot discharge-angle change on exhaust efficiency of range hood system with air curtain.
- (3) In the field of refrigeration, various studies were carried in the categories of refrigeration cycle, alternative refrigeration/energy system, system control. In the refrigeration cycle category, a cold-climate heat pump system, CO₂ cascade systems, ejector cycles and a PCM-based continuous heating system were investigated. In the alternative refrigeration/energy system category, a polymer adsorption heat pump, an alcohol absorption heat pump and a desiccant-based hybrid refrigeration system were investigated. In the system control category, turbo-refrigerator capacity controls and an absorption chiller fault diagnostics were investigated.
- (4) In building mechanical system research fields, eighteen studies were reported for achieving effective design of the mechanical systems, and also for maximizing the energy efficiency of buildings. The topics of the studies included energy performance, HVAC system, ventilation, and renewable energies, piping in the buildings. Proposed designs, performance tests using numerical methods and experiments provide useful information and key data which can improve the energy efficiency of the buildings.

(5) The field of architectural environment was mostly focused on indoor environment and building energy. The main researches of indoor environment were related to the user and location awareness technology applied dimming lighting control system, the lighting performance evaluation for light-shelves, the improvement evaluation of air quality through analysis of ventilation efficiency and the evaluation of airtightness of sliding and LS window systems. The subjects of building energy were worked on the energy saving estimation of existing buildings, the developing model to predict heating energy usage in domestic city area and the performance evaluation of cooling applied with economizer control. The studies were also performed related to the experimental measurement of weight variation and thermal conductivity in polyurethane foam, the development of flame spread prevention system for sandwich panels, the utilization of heat from waste-incineration facility in large-scale horticultural facilities.

Key words Thermal storage(축열), Microchannel(마이크로 채널), Rotary heat mass exchanger(회전형 열물질교환기), Desiccant dehumidification(흡착 제습), Adsorption heat exchanger(흡착 열교환기), District heating(지역난방), Geothermal system(지열시스템), Centrifugal chiller(터보냉동기), Stack effect(연돌효과), Air-conditioning(공조), Building energy(건물 에너지), Low energy house(저에너지주택), Insulation(단열), Lighting(조명)

† Corresponding author, E-mail: ldy@kist.re.kr

1. 서 론

이 논문은 2015년도 한 해 동안 설비공학 국문논문집에 발표된 논문을 분석하여 설비공학 분야의 최근 연구동향을 파악하기 위한 것이다. 주제에 따라 열유체 분야, 열전달 및 열교환기분야, 냉동분야, 건축기계 설비분야, 건축환경분야로 분류하여 고찰하였다. 논문집에 게재된 88편의 논문에 대한 평가와 리뷰를 통하여 설비분야의 전반적인 연구 동향을 파악함으로써 앞으로의 연구 방향을 설정하는데 유의한 정보가 될 것으로 기대한다.

2. 열유체

2.1 개관

열유체 분야에서는 열변환 및 열전달 효율을 높이기 위한 기초적인 열, 유동 및 물질전달 분야, 태양전지 및 지열에너지와 관련된 재생에너지 분야, 그리고 에너지 절감 및 실내 공기질을 높이기 위한 실내 환기 분야에 대한 연구가 주로 수행되었다.

2.2 유동, 열 및 물질전달

Jung and Park⁽²⁾은 제습시스템의 제습과정을 분리막(중공사막)을 이용하겠다는 아이디어를 가지고, 덕트에 설치할 경우 설치 위치 및 간격 등에 대한 CFD 해석을 수행하였다. Park et al.⁽⁴⁾은 탄소나노튜브 나노입자를 혼합한 나노유체의 비등 열전달에 대한 나노입자의 크기 및 혼합비율의 영향을 실험으로 관찰하였으며,

비등 열전달 계수는 나노입자의 길이가 길수록, 그리고 혼합비율이 0.001 vol% 근처에서 가장 높은 증가율을 나타낸다고 하였다. Lee et al.⁽⁵⁾은 마이크로 칩에 사용되는 마이크로 채널 내의 액체와 기체의 혼합부(Mixer)의 형상이 2상 유동양식에 미치는 영향을 살펴보는 기초 연구로, 혼합부의 형상을 변화시키며 몇 가지 입구조건의 변화에 따른 실험을 수행하였다.

Jung et al.⁽⁶⁾은 잠열 축열이나 현열 축열보다 열저장 밀도가 2배 이상 크다고 알려져 있는 화학축열방법을 실제로 적용할 수 있도록, 필라이트와 염화칼슘을 이용한 복합재료를 대상으로 성능실험을 하였다. Lee et al.⁽⁷⁾은 증류 및 증발장치 공정에서 버려지는 낮은 온도의 폐증기를 재가압하는 MVR(Mechanical Vapor Recompression)이나 TVR(Thermal Vapor Recompression)을 사용하기 위하여, 이론적 설계 모델링을 수행하여 설계 변수에 대하여 고찰하였다. Lee et al.⁽⁸⁾은 원자로 유동 해석에 최적인 난류모델을 선정하기 위하여, 몇 가지 난류모델을 사용하여 원자로 내부의 유동을 해석해 보았다.

Yun et al.⁽⁹⁾은 건축설비 및 플랜트 관로망의 설계에 있어서 에너지의 효율적 이용 및 안정성 등의 문제점을 억제할 수 있도록 자료를 정립하고 취합하여 일종의 퍼지 시스템을 개발하고자, 곡덕트에서의 난류진동 유동의 유동특성에 대한 실험을 수행하였다. Lee and Lee⁽¹¹⁾는 마이크로 채널의 혼합부(Mixer)의 설계를 위하여 마이크로 채널에서의 기-액 슬러그 유동의 특성에 대한 실험을 수행하고, 기포 및 액체 슬러그의 길이와 기포 속도 등을 예측할 수 있는 모델의 적용성을 검토하였다. Lim and Yang⁽¹²⁾은 cm 단위의 대면적에 3차원 마이크로 광, 유체 디바이스 제작에 대한 연구를 수행

하여, 피에조 스테이지 스캐닝 방식을 이용한 나노스테레오리소그래피 공정을 이용한 이중 스테이지 시스템을 구성하여 3차원 마이크로 시스템 제작에 유용한 제작 기술임을 확인하였다.

Lee⁽¹³⁾는 열교환기의 성능 향상 및 예측을 위하여 헤더-채널의 위치변화가 2상 유동 분배 및 유동 형태에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하였다. Jang and Ahn⁽⁸⁷⁾은 나선형 구조체를 삽입한 원통형 유분리기의 수치해석을 수행하여 중심튜브에 있는 출구포트의 위치가 유동 형태를 바꾸어 분리효율과 압력강하에 영향을 주는 것을 확인하고 출구포트의 피치와 튜브 길이를 조정하여 최적화할 수 있었다고 보고하였다. Kang et al.⁽¹⁶⁾은 청국장 발효 미생물에 의해 분비 생산되는 물질로서 여러 분야에 사용이 기대되는 바이오소재인 폴리감마글루탐산의 생리활성의 유지 및 구조의 변화를 줄이기 위한 공정개선을 위하여 동결건조방식의 최적 건조조건을 구하기 위한 실험을 수행하였다.

2.3 신재생에너지

Cho and Nam⁽¹⁾은 개방형 지열시스템의 최적설계법을 개발하기 위해, 복수정(Two-well) 개방형 지열시스템을 대상으로 지하수-지중열 이동 동시해석 모델을 이용한 수치시뮬레이션을 수행하여, 평균채열량(HER)과 평균 열원수 온도에 대한 양수량과 이격거리와의 관계에 대하여 연구하였다. Heo et al.⁽¹⁰⁾은 태양전지의 효율을 정확히 예측하기 위한 방안으로, 열전소자를 이용한 온도제어방법을 통하여 결정형 실리콘 태양전지 셀의 성능 특성을 측정하였고, 각 온도 구간에서 태양전지 출력의 온도계수를 도출하였다. Oh et al.⁽¹⁷⁾은 저심도의 유닛형 지중열 교환기 시스템을 개발하고, 지중열 및 지하수 이동 시뮬레이션을 수행하여, 상부 단열조건에 따른 지중 열교환기간의 거리와 채열량의 관계를 구하였다.

2.4 실내기류

Kim and Kim⁽³⁾은 공기의 저층부에서의 급기와 고층부에서의 배기를 하는 순환급배기를 이용하여 고층건물 계단부에서의 연돌효과를 저감시키는 방안에 대한 실험 및 수치해석 연구를 수행하였다. Shin et al.⁽¹⁴⁾는 야간에 외기 댐퍼와 지붕 배기구를 개방하여 자연배기의 구동력에 의해 외기를 실내로 도입하여 야간에 실내의 온도를 낮추어 주간의 부하를 낮추는 나이트 퍼지를 사무용 건물에 적용하는 경우에, RTS법을 이용하여 성능을 평가하였다. Shin et al.⁽¹⁵⁾는 건축물에서 실내 공기오염을 해결하기 위해 온도차 자연환기를 도입하는 경우, 건물의 상하부에 두 개의 개구부를 가지는 건

물에서의 유량계수를 실험적으로 구하여 이론값과 비교하였다. 온도차가 10 K 이하이거나 단면형상이 삼각형인 경우에는 이론적 유량계수보다 약 10% 작은 값을 사용하는 것을 추천하였다.

3. 열전달 및 열교환기

3.1 개관

열전달 및 열교환기 분야에서는 일반적인 열전달 현상에 관한 연구를 비롯하여 열전달 촉진을 위한 비등 및 응축에 관한 열전달 해석, 그리고 각종 산업용 열교환기 효율 향상에 관한 연구가 수행되었다.

3.2 열전달 일반

Kim and Song⁽²⁰⁾은 온실가스 감축설비 도입에 따른 경제성 및 액서지 효율 분석을 국내 자발적 온실가스 배출 감축사업(KVER)의 특정한 사례에 적용하고, 제지 목재업종에 대해 경제성 분석, 액서지 분석을 하였다. Song et al.⁽²³⁾은 인코벨 617을 이용하여 고온고압용 열교환기의 제작기술에 대한 연구를 보고하였다. Lee and Park⁽²¹⁾은 기류 방향으로 연결된 동체의 연결세경관을 이용한 열교환기의 성능향상 가능성을 검토하였고 성능향상이 있음을 확인하였다. 한편 Hwang et al.⁽²²⁾은 열교환기의 파울링 특성에 관한 연구를 하였는데, 원통 코일형 열교환기와 판형 열교환기의 열저항 특성을 비교하고 파울링 열저항 증가 특성 및 세척 이후 파울링 열저항의 변화 특성을 평가하였다.

Park et al.⁽²⁴⁾은 열매체유 유동층 열교환기의 전열성능 실험을 통하여, 관의 전열계수에 대한 실험을 보고하였다. Ahn et al.⁽²⁶⁾은 양측면 수축/확대 사각채널에서 한 면에 설치된 리브의 각도가 열성능에 미치는 효과에 결과를 제시하였다. Kim⁽²⁷⁾은 광폭 루버 핀이 장착된 핀-관 열교환기의 공기측 전열성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 일반 루버핀과 비교를 정략적으로 수행하였다.

열교환기에 대한 이론해석으로는 Son et al.⁽³⁰⁾이 최적 운전조건 근처에서 회전형 열교환기 내부의 열전달을 매우 근사하게 모사할 수 있는 단순 모델과 성능을 지배하는 무차원수를 도출하였다. 또 모델의 해석해를 도출하고 선행연구와의 비교를 통해 타당성을 검증하였다. Kim et al.⁽³¹⁾은 극저온 환경에서 작동하는 인쇄기판형 열교환기의 열적성능에 대해 실험적 연구를 수행하였다. 결과로는 극저온에서의 PCHE 성능을 확인하였고 열전달 상관식을 제시하였다. Kwon et al.⁽¹⁸⁾은 견고한 플라스틱 재질과 물 퍼짐성이 좋은 종이 재질로 각각 건채널과 습채널이 구성된 이중 재질 간접증발소

자에 대해 일련의 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 건채널과 습채널에 대한 열전달계수를 도출하였다.

3.3 비등 및 응축

비등 및 응축에 관련된 연구는 1편이 출간되었다. Kim and Kim⁽³⁵⁾은 동심히터가 적용된 기존의 버블젯 루프 히트파이프(BJLHP)와 편심히터가 적용된 BJLHP와 비교를 위해 열성능 측정 실험을 하였으며, 편심히터가 적용된 BJLHP가 기존대비 4배의 유효열전도도가 크고, dry-out이 발생하지 않으며, 핵비등 전열면적이 증대됨을 확인하였다.

3.4 산업용 열교환기

Bae et al.⁽¹⁹⁾은 대구경 타원관을 적용한 건조기용 핀-관 열교환기의 성능특성에 대한 연구를 수행하였고, 실제 운전조건에서의 성능특성을 파악하고 기초 설계 데이터를 제공하기 위해 열전달 상관식을 제시하였다. Yoo et al.⁽²⁵⁾은 열회로망을 이용하여 PFC와 VV에서의 열평형식을 만들고, 설계자료 및 실험결과를 근거로 해석방법을 검증하였다. Kim⁽²⁸⁾은 가정용 제습기에서 사용되는 소형 제습로터에 대하여 재생부 면적비, 로터 회전속도, 재생 공기온도, 실내 공기온도, 실내 상대습도, 제습부 전방풍속을 변화시키며 제습 성능을 측정 한 결과를 보고하였다.

Kim and Kim⁽²⁹⁾은 히트 펌프용 비대칭 스크롤 압축기에서 가스 인젝션 성능 해석 프로그램을 활용하여, 인젝션 포트 기본 모델 대비 향상된 성능을 얻을 수 있는 인젝션 포트 설계를 수행하였다.

Sung⁽³²⁾은 에어커튼형 주방용 레인지후드의 배기그릴을 통하여 조리대에서 발생하는 오염물질을 제거하고자 할 때 슬롯에서의 에어커튼을 보급공기로 이용하고 토출각도를 변화시켰을 때 오염물질의 포집효율에 대한 연구결과를 보고하였다. Ahn et al.⁽³⁴⁾은 화염 이미지 역변환에서 전 구간을 비화염 및 화염의 여러 구간으로 나누는 다구간 전처리법을 제안하였다. Ahn and Park⁽³³⁾은 에틸렌 반응로에 대하여 복합열전달 해석을 수행하여 반응관에서 최대응력이 작용하는 부위를 찾아보았다.

4. 냉동

4.1 개관

2015년 냉동 분야에서 발표된 논문들은 크게 냉동사이클, 대체 냉동/에너지 시스템 및 시스템 제어의 3개 분야로 나눌 수 있으며 각 논문의 간략한 내용을 아래에

정리하였다.

4.2 냉동사이클

Sohn et al.⁽³⁶⁾은 몽골 울란바토르의 단독주택(420 m²)에 설치한 한랭지형 지열 히트펌프 시스템의 동절기(2013~2014) 난방성능을 측정, 분석하여 보고하였는데 시스템의 1일 평균 난방 공급량은 약 704 kWh, 소비전력은 약 256 kWh이었으며 측정기간 동안 지중 열교환기로부터 약 54 MWh의 에너지를 추출하고 약 84 MWh의 난방열을 공급하여 약 2.8의 난방 SPF를 기록하였다. Kim and Yun⁽³⁹⁾은 CO₂를 냉매로 사용하는 병렬, 캐스케이드 및 2단 압축 저온냉동/냉장 시스템을 모델링하여 성능을 예측, 비교한 결과 CO₂ 캐스케이드 시스템의 효율은 동일 용량의 병렬 및 2단 압축 시스템에 비해 평균 11% 높았으며 특히 고온 기후지역에 적합한 것으로 판단하였다.

Lee et al.⁽⁴³⁾은 R600a를 사용하여 노즐의 위치와 운전조건에 따른 이젝터의 성능특성을 측정, 분석한 결과 냉매유량 일정조건에서는 유입비와 승압효과가 반비례하지만 유입비 일정조건에서는 메인유량과 승압효과가 비례하며 최대 승압효과를 보이는 최적 노즐 위치가 존재함을 보고하였다.

Lee⁽³⁸⁾는 자동차용 R134a 냉방장치의 대체냉매로 R152a를 고려하여 실차 상태에서 냉방성능을 측정 한 결과 R152a를 사용할 경우 냉매 충전량은 20% 감소하고 압축기 토출압은 350~430 kPa 낮아져 압축기의 내구성 과 효율이 향상될 것으로 예측하였다. Cho and Park⁽⁴⁵⁾은 R134a와 R1234yf 이젝터 사이클 모델의 시뮬레이션 결과를 비교, 분석한 결과 동일 운전조건에서는 R134a의 성능이 우수하지만 R1234yf의 경우 이젝터의 성능 개선효과가 크고 그 효과는 응축온도와 증발온도의 차가 클수록 커서 대체냉매로 R1234yf를 고려하는 경우 이젝터 사이클이 유리한 것으로 판단하였다. Ryu and Cho⁽⁴⁶⁾는 이산화탄소-암모니아 캐스케이드 냉동사이클의 모델을 개발하고 해석한 결과 실내온도 -15°C, 실외온도 25°C 조건에서 COP는 1.13~1.17의 수준이며 암모니아 사이클의 성능변화가 전체 성능에 미치는 영향이 더 큰 것으로 예측하였다.

Chang et al.⁽⁴⁷⁾은 공랭식 히트펌프의 연속 난방운전을 위해 제상운전시 PCM 유닛의 축열을 활용하는 시스템을 제작하고 실험한 결과 성능은 기존 시스템과 유사하지만 연속운전이 가능하여 유리하고 PCM 주입량, EEV 개도 등의 최적값이 존재함을 보고하였다.

4.3 대체 냉동/에너지 시스템

Kim and Lee⁽⁴⁰⁾는 폴리머 흡착제를 코팅한 판형 열교

환기의 2차원 과도 열전달 모델을 사용하여 흡착식 냉동기를 시뮬레이션한 결과 온수/냉각수 80/30°C, 증발온도 9°C 조건에서 COP 0.47, SCP 570 W를 예측하였으며 성능개선을 위해서 폴리머의 낮은 물질확산속도를 개선해야 할 것으로 판단하였다. Kim⁽⁴⁴⁾은 2종의 알코올-Li염 흡수식 열펌프를 모델링하고 그 난방성능을 예측한 결과 성능은 물-LiBr 열펌프와 암모니아-물 열펌프의 중간 수준이며 흡수액의 결정화 위험이 낮고 증발온도 -20°C 이하의 혹한조건에서도 운전이 가능함을 예측하였다. Park and Park⁽³⁷⁾은 1:1 타입의 제습휠과 압축식 냉동기로 구성된 하이브리드 제습기의 에너지 효율에 영향을 미치는 인자를 확인하고 그 정도를 정량적으로 분석하였다.

4.4 시스템 제어

Jeong et al.⁽⁴¹⁾은 터보냉동기의 용량제어를 위해 PI 제어를 설계하고 실험을 통해 그 성능을 측정, 분석한 결과 냉수 및 증발온도를 각각 ±0.1, 0.2 K 이내에서 정밀하게 제어할 수 있으며 기존의 증발압력 제어 방식에 비해 효과적임을 보고하였다. Jeong et al.⁽⁴²⁾은 복수의 압축기를 갖는 터보냉동기의 고효율 부분부하 운전을 위한 협조조작 기반 압축기 대수제어법을 제안하였는데 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안한 제어기가 터보냉동기의 실제 거동을 잘 모사하고 냉수온도 설정값의 ±0.2 K 이내로 정밀하게 제어할 수 있음을 보였다.

Han et al.⁽⁴⁸⁾은 흡수식 냉동기의 점차적 고장(soft failure)의 검출과 진단을 위한 기준모델을 개발하고 고장 모사 시뮬레이션을 수행하여 냉(각)수의 유량감소 고장과 입구온도, COP와의 상관관계를 규명하고 고장예측 확률법을 이용하여 고장원인을 진단할 수 있다고 하였다.

5. 건축기계설비

5.1 개괄

건축기계설비 분야에 관련된 논문은, 에너지 성능, 공조설비, 환기설비, 신재생에너지, 급배수, 그리고 기타 설비로 분류할 수 있었으며, 시스템 설계에서 성능평가에 이르는 총 18개의 연구가 보고되었다. 우선 가장 많은 연구가 진행된 에너지 성능 분야에서는 지역난방의 효율적 이용에 관한 연구와 함께 창호의 단열성능 평가에 관한 연구가 진행되었다. 공조설비와 관련해서는 컴팩트형 VAV 공조기의 경제성 평가, 전자기유도초음파를 이용한 복수기 전열관 결함 분석, 사무소건물에서 냉동기의 부분부하율과 에너지 성능 등에 관한 연구가 수행되었다. 환기설비 관련 분야에서는 지하도로 입체교차로와 전산실 관련 환기 최적화방안에 대한 연

구가 발표되었다. 신재생에너지 분야에서는 태양열 이용과 관련하여 축열조 성능향상 방안과 지열융복합 시스템에 관한 연구결과가 보고되었다. 급배수와 관련해서는 공동주택과 산업시설의 급수관의 노후도 평가 및 개선방안에 관한 연구가 보고되었으며, 기타설비 분야에서는 화장실을 이용한 피난공간 확보와 입원치료 격리 병상의 적격성에 대한 실측조사결과가 발표되었다. 각 분야에서 발표된 연구의 구체적 내용을 정리하면 아래와 같다.

5.2 에너지성능

지역난방시스템은 다양한 에너지원으로부터 열을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으며 이렇게 얻어진 열을 1차측과 2차측에서 효율적으로 제어하고 운전하는 것은 향후 건물에서 소비되는 난방 에너지의 절감에 크게 기여할 수 있다. 이에 Lee et al.⁽⁵¹⁾은 1차측의 설정 온도제어, 외기보상제어와 외기온예측제어 등 각각의 제어방법에 따른 공동주택에서의 에너지 사용량 특성을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 같은 연구 그룹의 Cho et al.⁽⁵⁵⁾은 2차측의 에너지 성능과 관련하여 앞선 연구의 제어방안에 따른 결과를 실증단지에서 검증하였으며 2차측 공급수의 온도제어에 따른 인버터시스템과 차압조절밸브의 적정 운전방안을 제시하였다⁽⁵⁷⁾. 또한 Hong and Cho⁽⁶⁰⁾는 2차측 유량이 에너지 사용량에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였으며 에너지를 효율적으로 제어하기 위한 방안의 필요성을 제기하였다. 건물의 에너지 성능과 관련하여 Cho et al.⁽⁵⁴⁾는 건물에서의 효율적 공기조화설비 선정방안을 도출하기 위하여 난방 부하비율에 따른 공기조화설비의 1차 에너지소비량을 분석하였고 이를 바탕으로 건물의 부하 및 난방 시스템을 고려한 상호보완적 공기조화설비의 최적화 방법론의 가능성을 제시하였다. Hwang et al.⁽⁶²⁾은 창호의 유리부분에 설치가 간단한 단열시트의 사용이 늘어남에 따라 단열시트의 설치에 따른 창호단열성능의 변화를 실험을 통하여 검증하였다. Jung⁽⁸⁶⁾은 바닥 콘크리트 슬래브를 축열재로 사용하는 슬래브 축냉 공조시스템을 모델링하여 내부발열이 외란으로 작용한 경우에 대해 실온 및 제거열량의 확률분포를 구한 결과 전력소비량과 인체발열을 함께 고려하여 심야시간대 축냉을 실시해야 함을 확인하였다.

5.3 공조설비

공조설비는 건물의 시공에서 유지관리 단계에 이르기까지 초기투자 비용뿐 아니라 에너지 성능과 밀접한 관계가 있다. Kim et al.⁽⁵⁰⁾은 공간이용 형태의 다양화에 대응하고 효율적 공조관리를 수행하기 위하여 컴팩트

형 VAV 공조기의 성능 및 경제성을 실증을 통하여 평가하였다. Choi and Wang⁽⁵⁶⁾은 발전분야에서 수증기를 물로 전환시키기 위하여 많이 사용되는 복수기의 전열관 손상을 평가하고 결함의 유형을 분석하기 위하여 유도초음파 검사기법을 도입하였으며 유도초음파 신호를 통하여 노치, 드릴 홀, 마도 등의 결함을 구별할 수 있음을 확인하였다. 또한 Kim⁽⁶⁴⁾은 기존 개별난방을 지역난방 또는 소형 열병합발전 방식으로 전환함에 있어 경제성 평가의 중요한 자료가 될 수 있는 공사비, 유지관리비, LCC 등과 함께 소형열병합발전과 지역난방의 개선방안을 제시하였다. 마지막으로 Seo et al.⁽⁶⁵⁾는 사무소 건물에서 냉동기기의 부분부하 특성을 파악하고 부하특성에 따른 최적 분배제어 알고리즘을 제시하였다.

5.4 환기설비

환기는 오염된 공기를 배출하고 신선한 외기를 공급함으로써 오염물질의 농도를 적절한 수준 이하로 낮추며 실내에서 발생한 열부하를 배출하는 역할을 한다. 따라서 적정 환기량의 확보는 환경 뿐 아니라 에너지 측면에서도 유리할 수 있다. Kwon⁽⁵²⁾은 전산실 등에서 발생하는 고발열 부하를 외기냉방으로 제거하는 것에 착목하여 발열부하의 제거 성능을 높이기 위한 환기방식과 환기성능을 시뮬레이션을 통하여 검토하였다. Kim et al.⁽⁶¹⁾은 대규모 네트워크형 지하도로의 환기설계를 위하여 입체교차로 내에서의 다양한 입력변수에 따른 오염정도의 변화를 n.TAQs이라는 시뮬레이션 툴을 이용하여 분석하였고 지하도로 입체교차로내의 적정 환기설계에 필요한 기초자료를 제시하였다. Kim et al.⁽⁸⁸⁾은 고층 건축물 수직통로의 저층부에서 흡입한 공기를 고층부에서 배기하여 수직통로에서 발생하는 연돌효과를 줄이는 방안의 실효성을 검증하기 위해 수치해석과 실험을 수행한 결과 공통적으로 계단실과 복도의 압력차가 감소하는 긍정적 효과를 확인하였다

5.5 신재생에너지

태양열 이용과 관련하여 Lee and Hong⁽⁵⁸⁾은 집열효율 향상과 집열 운전시간의 연장을 위하여 상하부가열 열교환코일 내장형 축열조의 온도 역전 시 대처 방안에 대하여 개선 방안을 제시하고 이를 실증실험을 통하여 효과를 검증하였다. 또한 Baek et al.⁽⁶⁶⁾은 실증주택을 대상으로 지열히트펌프 보조열원방식 태양열 급탕시스템의 적용 타당성을 평가하였으며, 향후 운전 및 설계 개선을 위한 방안을 도출하였다.

5.6 급배수설비 및 기타설비

대규모 산업시설의 배관 관련 노후도 평가와 관련하여

여 Min et al.⁽⁵³⁾은 기존의 국부적 배관 노후도 진단기법의 단점을 보완하고자 계통 단위의 색선화 개념을 적용한 진단기법을 개발하고 이의 경제적 유효성을 소각 시설에 통하여 검증하였다. Lee and Heo⁽⁵⁹⁾는 1994년 이전 부천시에서 건축허가를 받아 건설된 공동주택 공용부분의 노후 급수관의 규모와 유지관리 실태를 설문조사 하였고 이를 통하여 설비와 재정적 측면에서 배관 교체 및 관련 제도의 개선방안을 제시하였다. 그 외 기타설비로 Kim et al.⁽⁴⁹⁾은 고층건물의 화재 시 옥외로 피난하지 못한 피난자의 안전 확보를 위하여 화장실을 피난공간으로 활용하는 방안을 검토하였다. 또한 Hong⁽⁶³⁾은 국가 지정 입원치료 음압병상 시설의 유지관리 실태를 파악하고자 시설의 적격성을 평가하기 위한 체크리스트를 작성하고 이를 17개소의 의료기관에 적용하여 시설의 안전성을 높이기 위한 방안을 도출하였다.

6. 건축환경

6.1 개관

건축환경분야 연구는 크게 실내환경, 건물에너지 및 기타 등으로 분류하여 연구동향을 분석하였다. 실내환경 분야에서는 위치인식기술을 적용한 조명제어시스템 개발, 광선반의 채광성능평가, 환기장치 운전에 따른 실내 열환경 평가, 선박내 공기환경개선, 창호시스템의 기밀성능평가 및 생체전기신호분석을 통한 스마트공조 시스템을 위한인터페이스 알고리즘 개발 등에 관한 연구 연구가 수행되었다. 건물에너지 분야는 효율적인 에너지 사용방안을 위하여 시뮬레이션과 실측을 통한 에너지 사용량 예측과 민감도분석 등에 관한 연구를 수행하였다. 기타 분야는 우레탄폼의 가스변화에 따른 열전도도와 무게의 상관관계 분석, 샌드위치판넬에서 단열재를 직접 소화할 수 있는 소화시스템 개발, 시설원예에 소각로 예열의 활용성, 도일법을 적용한 행정구역별 기후존 구분기준의 제시 등에 관한 연구 등 다양한 연구가 수행되었다.

6.2 실내환경

실내환경 분야에서는 전반조명 제어시스템 제안, 광선반의 채광성능평가, 실내열환경 평가 및 공기환경개선 방안, 창호시스템의 기밀성능평가, 스마트 공조시스템인터페이스 알고리즘 개발 등에 관한 연구 연구가 수행되었다.

Choi et al.⁽⁶⁷⁾은 사용자 정보 및 위치 정보를 기반으로 단계별 조도를 제공하는 조명제어 시스템을 제안하였다. 테스트베드에서 에너지저감 성능의 유효성을 검증하

여 에너지 저감형 조명제어시스템을 제안하였다. Kim et al.⁽⁷¹⁾은 서울지역의 공동주택 설계평면도를 활용하여 혹한기 기후조건에서 열회수형 환기장치 운전에 대한 CFD 해석연구를 진행하였다. 디퓨저만 사용하는 급기 분배방식의 문제점을 파악하여 분기댐퍼 적용시 열회수형 환기장치의 운전에 따른 효과를 검토하였다. Oh et al.⁽⁷³⁾은 곡면 형태 및 곡률에 따라서 주거공간 내에 미치는 광선반의 채광성능평가를 하였다. 또한 광선반과 연동된 디밍 조명시스템의 전력사용량을 산출하여 실거주 기반의 광선반의 성능평가를 진행하였다.

Lee et al.⁽⁷⁶⁾은 평판형 광선반의 채광성능 개선을 위하여 결정면을 적용한 광선반을 제안하였다. 이를 편광형 광선반과 채광성능을 비교 및 분석함으로써 그 유효성을 입증하였다. 제안한 결정면 적용 광선반은 빛의 유입과정에서 난반사의 원리가 적용되어 외부환경에 의한 성능저하를 최소화할 수 있고, 하지에서는 실내 균제도 개선이 가능하다고 보고하였다. Jeong and Song⁽⁷⁹⁾은 선박의 선체 조립과정에서 형성되는 복합 밀폐공간의 환기효율을 개선하기 위하여 기존의 환기성능 평가방법을 사용하였다. CFD 해석을 통해서 선박 조립의 밀폐공간에서 용접 흠의 발생의 예측을 통해 환기효율을 분석하는 방법의 한계점을 인식하고 기존에 건물 환기효율 분석에 적용되던 급기세력범위(SVE4), 공기연령(SVE3)의 개념을 활용하여 선박 용접 작업시 환기효율을 분석하는 방법을 제안하였다.

Park et al.⁽⁸⁰⁾은 창호시스템의 부자재 중 잠금장치의 작동여부에 따른 창호시스템의 기밀성을 확인하고자 미서기 창호와 LS 창호를 비교분석하였다. 창호 잠금장치 작동여부에 기밀성능 실험을 실시하였고 실험결과를 네트워크 환기시뮬레이션에 반영하여 겨울철 침기 유입량을 분석하였다. 시스템 창호 방식인 LS 창호의 경우 미서기 창호보다 기밀성능이 우수함을 확인할 수 있었으나 사용자의 부주의 등으로 인하여 잠금장치 미작동시 기밀성능이 현저히 저하한다고 보고하였다.

Park et al.⁽⁸²⁾은 기존의 단순 재실자의 위치에 의한 조명제어는 조도 불균형 등의 실내 빛환경 관련 쾌적도 저하와 이로 인한 추가적인 에너지 소비를 유도할 수 있어서 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템을 제안하며, 테스트베드 기반 성능평가를 통하여 시스템을 분석하였다.

Choi et al.⁽⁸⁵⁾은 국내 가정에 많이 보급되고 있는 냉각식 제습기 사용에 따른 실내공기의 엔탈피변화, 수증기 제거량 등을 분석하였다. 냉각식 제습기는 실내 수증기를 제거하지만 지속적으로 운전할 경우, 실내 배열에 따른 실내 온도상승으로 냉방효과를 적다고 보고하였다. Im et al.⁽⁸⁴⁾은 불쾌적온도(15°C, 35°C)조건에서 쾌적온도(22.5°C, 25°C) 대역으로 변화하는 동안 피험자의 뇌파와 맥파 신호를 측정하여 생체전기신호 변화

및 분석하였다. 이를 통하여 스마트 실내 공조시스템 또는 사람-장치 간 인터페이스(Human Machine Interface)에 적용될 알고리즘 개발에 필요한 기초자료를 제시하였다.

6.3 건물에너지

건물에너지 분야에서는 시뮬레이션 및 실측을 통하여 에너지 사용량을 예측방안을 제시하였다. 또한 난방부하의 열사용량 및 열사용 패턴 예측을 위하여 Reduced LS-SVM 모델 및 이코노마이저 최적제어 방안을 제시하였다.

Kong et al.⁽⁶⁸⁾은 기존 건축물의 성능개선을 위하여 에너지 사용량 고지 데이터와 진단 데이터를 이용하는 방법을 제안하였다. 개발된 Matlab 기반의 분석툴의 적용성과 검증을 위해서 2개의 건축물에 대해서 사례연구를 수행하였고, 정밀에너지 해석 툴인 EnergyPlus의 결과물과 비교하여 개발된 툴의 정밀도를 검증하였다. Park⁽⁷⁰⁾은 동절기 공동주택 난방부하의 열사용량 및 열사용 패턴 예측을 위하여 Reduced LS-SVM을 사용하여 모델링하고, 제안한 모델의 난방부하 정밀도를 분석하였다. 제안한 난방부하 모델은 측정된 시험 데이터와 비교하여 평균 16%이내의 오차를 나타내었다.

Kong et al.⁽⁷⁴⁾은 민감도 분석을 통해서 건물의 에너지 성능에 영향을 주는 진단항목을 선별하였다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 불확실성 분석을 수행하여 건축물의 에너지 성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 진단항목을 선정할 수 있는 방안을 제시하였다. Baek et al.⁽⁷⁵⁾은 저에너지 주택의 에너지 성능을 평가하기 위해 대전지역 6가구의 실증주택을 대상으로 에너지사용량을 조사하고 자립률을 파악하였다. 실험결과를 바탕으로 실증 저에너지 주택 단지에 대한 저에너지주택의 현 기술수준을 분석하고 차후 제로에너지주택 연구에 대한 기초 자료를 제시하였다.

Son et al.⁽⁷⁸⁾은 냉방에너지 저감을 위한 이코노마이저의 최적제어 방법을 제안하기 위하여 사무소 건물에 이코노마이저 시스템을 적용하여 설치 전후의 에너지 성능 비교분석을 하였다. 외기 온도 변화에 따른 시스템 구동 분석을 위해 외기온도에 따른 이코노마이저의 혼합공기온도와 외기 도입비율을 분석하였다. 냉방기간에 엔탈피 제어방법을 사용할 경우 가장 많은 에너지를 절약할 수 있었다. 중간기의 경우 이코노마이저의 건구온도 제어방법 사용 시 에너지가 절약되지만 여름철의 경우 이코노마이저를 사용하지 않고 최소 외기량만을 도입하는 것이 에너지 측면에서 유리하다고 보고하였다.

Yu et al.⁽⁸¹⁾은 가정용 가스보일러의 에너지 성능과 효율 향상을 위하여 바닥 복사 난방시스템이 적용된 주거 건물의 난방부하를 분석하였다. 분석결과를 토대로 열

원기기의 운전 및 부분부하 특성을 분석하였다. 바닥 복사난방이 적용된 주거 건물의 에너지 성능 향상을 위하여 단순 보일러의 교체만으로도 최대 24.7%의 에너지 절감이 가능하다고 보고하였다. 바닥 복사난방 시스템이 적용된 주거건물의 부분부하 특성은 가정용 가스보일러의 성능 및 효율 향상을 현행 제도의 개선이 필요하다고 보고하였다.

6.4 기타

앞 절에서 언급한 실내환경, 건물에너지 분야의 연구 외에 우레탄폼의 가스변화에 따른 열전도도와 무게의 상관관계 분석, 샌드위치 판넬에서 단열재를 직접 소화할 수 있는 소화시스템 개발, 시설원예에 소각로 예열의 활용성, 도일법을 바탕으로 한 행정구역별 기후준 구분기준의 제시 등에 관한 연구들이 진행되었다.

Lee⁽⁶⁹⁾은 독립셀구조를 갖는 우레탄폼의 가스변화로 야기되는 우레탄폼의 무게변화를 측정하여 변화된 무게가 열전도도의 변화와 어떤 상관관계가 있는지 분석하였다. 측정된 내부 가스의 변화와 비교하여 시간에 따른 무게변화의 원인과 열전도도의 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 무게변화를 이용한 열전도도 변화가 가스분석에 의한 결과와 정성적 정량적 결과가 매우 일치하였으며 무게변화만으로도 열전도도 변화를 개략적으로 판단할 수 있다고 보고하였다. Shin et al.⁽⁷²⁾은 건축물 전소 시까지 진화를 하지 못하는 화재에 큰 취약성을 가지는 샌드위치 패널의 가연성 단열재를 직접 소화할 수 있는 샌드위치 패널 내부에 설치하여 직접 소화할 수 있는 시스템을 제안하였다. 화재모형 실험을 통하여 일반 샌드위치 패널과 난연 샌드위치 패널에 비하여 개발된 시스템은 화재 위험성이 낮다고 보고하였다.

Lee et al.⁽⁷⁷⁾은 대규모 시설원예에 소각로 여열을 도입하여 난방 에너지 절감을 목표로 열원을 소각로 여열을 시설원예에 적용하였다. 시설원예와 폐기물 소각 시설 사이의 거리, 배관재질 및 작물의 생육조건(고온, 중온, 저온)에 따른 출구온도와 열손실량, 에너지 사용량을 파악하여 소각로 여열을 대규모 시설원예의 열원으로 적용하였을 경우, 시설원예의 겨울철 난방에너지 공급 가능성을 제시하였다. Noh et al.⁽⁸³⁾은 기후준 구분의 기준으로 활용하는 도일(degree-days)을 이용하여 국내의 부위별 열관류율 기준을 위한 기후준 구분기준을 평가하여, 법규정에서 활용할 수 있도록 행정구역별 기후준 구분기준을 제시하였다.

7. 결 론

2015년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 열유동, 열

전달, 냉동, 건축설비, 건축환경 등 5개 분야로 분류하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2015년도에 열유체 분야에서는 마이크로채널 유동, 열교환기 성능을 높이기 위한 기초 형상 및 유동, 신재생 에너지, 그리고 건축물의 환기에 대한 연구가 주로 수행되었고, 기존에 많은 편수를 차지하던 공조 및 냉동기기와 화재 및 배연에 관련된 연구가 보이지 않았다. 모든 분야에서 실험보다는 CFD 해석 관련 연구가 많이 늘어나고 있다.
- (2) 열전달 일반 분야에서는 온실가스 감축설비 도입에 따른 경제성 및 액서지 효율 분석, 인코넬 617을 이용한 고온고압용 열교환기의 제작기술, 연결세경관을 이용한 열교환기, 원통 코일형 열교환기와 판형 열교환기의 비교, 열매체유 유동층 열교환기, 사각채널에서 리브의 각도가 열성능에 미치는 효과, 광폭 루버 핀이 장착된 핀-관 열교환기, 최적 운전 조건 근처에서 회전형 열교환기 내부에 대한 모델, 극저온 환경의 인쇄기판형 열교환기, 건채널과 습채널에 대한 연구가 수행되었다. 비등 및 응축분야에서는 편심히터가 적용된 BJLHP에 대한 열성능 측정 실험이 수행되었다. 산업용 열교환기 분야에서는 대구경 타원관을 적용한 건조기용 핀-관 열교환기, 열회로망을 이용한 PFC와 VV에 대한 해석방법, 소형 제습로터에 대한 제습 성능 측정, 인젝션 포트 설계, 에어커튼형 주방용 레인지후드의 오염물질의 포집효율, 화염 이미지 역변환 전처리법, 에틸렌 반응로에 대한 해석 분석이 진행되었다.
- (3) 2015년 냉동사이클 분야에서는 한랭지형 히트펌프, CO₂ 캐스케이드 시스템, 이젝터 사이클 및 PCM 축열 유닛을 활용한 연속난방 시스템에 대한 연구가 발표되었고 대체시스템 분야에서는 폴리머 흡착냉동, 알코올 흡수냉동 및 제습-압축냉동 하이브리드 시스템에 대한 연구가 발표되었으며 시스템 제어 분야에서는 터보냉동기의 용량제어 및 흡수식 냉동기의 고장진단에 대한 연구가 발표되었다.
- (4) 건축기계설비 분야에서는 에너지성능, 공조설비, 환기설비, 신재생에너지와 급배수 시스템에 대한 연구가 보고되었다. 에너지 성능과 관련해서는 지역난방의 효율적 이용에 관한 연구와 함께 창호의 단열성능 향상에 관한 연구가, 그리고 공조설비와 관련해서는 콤팩트형 VAV 공조기의 경제성 평가, 전자기유도초음파를 이용한 복수기 전열관 결함 분석, 사무소건물에서 냉동기의 부분부하율과 에너지성능 등에 관한 연구가 수행되었다. 환기설비 관련 분야에서는 지하도로 입체교차로와 전산실 관련 환기계획 최적화방안에 대한 연구가 그리고 신재생에너지 분야에서는 태양열 이용과 관련하여 축열조 성능향상 방안과 지열융복합 시스템에 관한

연구결과가 보고되었다. 급배수와 관련해서는 공동주택과 산업시설의 급수관의 노후도 평가 및 개선방안에 관한 연구가 보고되었으며, 기타설비 분야에서는 입원치료 격리 병상의 적격성에 대한 실측조사결과가 발표되었다.

- (5) 건축환경의 실내 환경 분야에서는 전반조명제어시스템 제안, 광선반의 채광성능평가, 실내열 환경 평가 및 공기환경개선 방안, 창호시스템의 기밀성능평가, 스마트 공조시스템인터페이스 알고리즘 개발 등에 관한 연구 연구가 수행되었다. 건물에너지 분야에서는 시뮬레이션 및 실측을 통하여 에너지사용량을 예측방안을 제시하였다. 또한 난방부하의 열사용량 및 열사용 패턴 예측을 위하여 Reduced LS-SVM 모델 및 이코노마이저 최적제어 방안을 제시하였다. 추가적으로 우레탄폼의 가스변화에 따른 열전도도와 무게의 상관관계 분석, 샌드위치 판넬에서 단열재를 직접 소화할 수 있는 소화시스템 개발, 시설원예에 소각로 예열의 활용성, 도일법을 바탕으로한 행정구역별 기후존 구분기준의 제시 등에 관한 연구 등 다양한 연구가 수행되었다.

References

1. Cho, J. and Nam, Y., 2015, A Study on the Characteristics of Heat Source Temperature for Two-Well Geothermal System Using Numerical Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 207-212.
2. Jung, Y.-H. and Park, S.-R., 2015, A Study on Air Flow Analysis for the Internal Space of the Dehumidifying Air-Conditioning System with A Membrane, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 12, pp. 620-625.
3. Kim, J.-Y. and Kim, J.-S., 2015, Study on 3D Numerical Analysis of Stack Effect Reduction in Stairwell of Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 152-157.
4. Park, S.-S., Kim, W. J., Kim, J. Y., Jeon, Y.-H., and Kim, N.-J., 2015, A Study on the Influence of Boiling Heat Transfer of Nanofluid with Particle Length and Mixing Ratio of Carbon Nanotube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 1-7.
5. Lee, K. G., Lee, J. K., Park, T., Kim, G. N., and Park, E. J., 2015, Effect of Various Shapes of Mixer Geometry on Two-Phase Flow Patterns in a Micro-Channel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 75-80.
6. Jung, H. S., Kim, H. S., Hwang, K. Y., and Kim, K. H., 2015, Experimental Study on Calcium Chloride Impregnated Perlite for Thermochemical Heat Storage, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 123-127.
7. Lee, C. M., Lim, J. Y., and Yun, R., 2015, Investigation of MVR and TVR in Chemical Processes by Using Waste Steam, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 201-209.
8. Lee, G. H., Bang, Y. S., and Cheong, A. J., 2015, Numerical Analysis of Flow Distribution in the Scaled-down APR+ Using Two-Equation Turbulence Models, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 220-230.
9. Yun, S.-J., Lee, H.-N., and Sohn, H.-C., 2015, Characteristics of Developing Turbulent Oscillatory Flows in a 180° Curved Duct with a Square Sectional by using a LDV, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 344-353.
10. Heo, K., Lee, D., and Lee, J.-H., 2015, Performance of Crystalline Si Solar Cells with Temperature Controlled by a Thermoelectric Module, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 375-379.
11. Lee, J. K. and Lee, K. G., 2015, Study on the Characteristics of Bubble and Liquid Slugs for Gas-Liquid Taylor Flow in a Rectangular Micro-channel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 520-526.
12. Lim, T. W. and Yang, D. Y., 2015, Fabrication of Three-Dimensional Micro Optical and Fluidic System Using Dual Stage Nanostereolithography Process, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 552-557.
13. Lee, J. K., 2015, The Effect of Header and Channel Angle Variation on Two-Phase Flow Distribution at Multiple Junctions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 11, pp. 559-566.
14. Shin, D., Park, S., Park, Y., Park, J., and Lee, J., 2015, Night Purge Evaluation Using the RTS-SAREK in Office Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 12, pp. 633-638.
15. Shin, D., Ko, H., Kim, S., Seon, J., Yoon, S., and

- Lee, J., 2015, A Study of Discharge Coefficient for Thermal Buoyancy Natural Ventilation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 12, pp. 639-644.
16. Kang, J., Sim, Y.-H., Byun, S.-Y., Chang, Y. S., and Kang, B. H., 2015, An Experimental Study on the Freeze Drying Process for Poly γ Glutamic Acid, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 12, pp. 645-651.
 17. Oh, J., Seo, J., and Nam, Y., 2015, Performance Analysis of a Low-Depth Unit-Type Ground Heat Exchanger using Numerical Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 169-173.
 18. Kwon, M.-H., Go, M.-G., and Kim, N.-H., 2015, An Experimental Study on the Performance of a Cross-Flow-Type, Indirect Evaporative Cooler Made of Paper/Plastic Film, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 475-483.
 19. Bae, K.-J., Cha, D.-A., and Kwon, O.-K., 2015, Performance Characteristics of Fin-Tube Heat Exchanger having Large Diameter Oval Tube for Dryer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 8-13.
 20. Kim, Y. M. and Song, M. H., 2015, Economic Analysis of GHG Emission Reduction Methodology in Pulp, Paper and Wood Industry Approved by Korea Voluntary Emission Reduction Program, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 39-43.
 21. Lee, S. M. and Park, B.-D., 2015, A Development of Heat Exchanger by using Small Bore Two-Port Tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 63-68.
 22. Hwang, J. H., Na, B. C., Oh, S. K., Koo, K. M., Lee, J. K., and Ahn, Y. C., 2015, Fouling Characteristics of Washable Shell and Coil Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 69-74.
 23. Song, C. H., Yoon, S. H., and Choi, J. S., 2015, A Study of Diffusion Bonding Process for High Temperature and High Pressure Micro Channel Heat Exchanger Using Inconel 617, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 87-93.
 24. Park, S.-I., Ko, C.-B., and Lee, Y.-S., 2015, An Experimental Study on Heat Transfer Performance of Heating Medium Oil Fluidized Bed Heat Exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 146-151.
 25. Yoo, S.-Y., Kim, Y.-J., Jung, N.-Y., Kim, K.-M., and Lee, J.-M., 2015, A Study on Temperature Characteristics of KSTAR PFC and Vacuum Vessel at Baking Phase, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 158-168.
 26. Ahn, S. W., Lee, M. S., and Bae, S. T., 2015, Effect of Rib Angle on Thermal Performance in a Two Wall Convergent/Divergent Channel with Ribs on One Wall, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 195-203.
 27. Kim, N.-H., 2015, An Experimental Study on the Air-side Performance of Fin-and-Tube Heat Exchangers Having Wide Louver Fin, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 254-262.
 28. Kim, N.-H., 2015, An Experimental Study of the Effect of Regeneration Area Ratio on the Performance of Small-Sized Dehumidification Rotor for Residential Usage, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 277-282.
 29. Kim, Y.-H. and Kim, H.-J., 2015, Design of Gas-Injection Port of an Asymmetric Scroll Compressor for Heat Pump Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 300-306.
 30. Son, S. G., Kim, Y. C., and Lee, D.-Y., 2015, Theoretical Analysis of a Rotary Heat Exchanger Based on a Simplified Model, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 409-417.
 31. Kim, D. H., Na, S. J., Kim, Y., Choi, J. S., and Yoon, S. H., 2015, Experimental Study on the Thermal Performance of a Printed Circuit Heat Exchanger in a Cryogenic Environment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 426-431.
 32. Sung, S.-K., 2015, Effect of Slot Discharge-Angle Change on Exhaust Efficiency of Range Hood System with Air Curtain, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 468-474.
 33. Ahn, J. and Park, J. W., 2015, Conjugate Heat Transfer Analysis of an Ethylene Furnace, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering,

- Vol. 27, No. 10, pp. 515-519.
34. Ahn, K. H., Song, W. J., and Cha, D. J., 2015, Effect of a Preprocessing Method on Inverting Chemiluminescence Images of Flames Burning Substitute Natural Gas, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 12, pp. 609-619.
 35. Kim, J.-S. and Kim, S.-B., 2015, Thermal Performance of the Bubble Jet Loop Heat Pipe Using Eccentric Heater in Evaporating Section, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 12, pp. 652-658.
 36. Sohn, B. H., Choi, J. H., and Min, K. C., 2015, Heating Performance of Geothermal Heat Pump System Applied in Cold Climate Region(Mongolia), *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 31-38.
 37. Park, J. I. and Park, S. T., 2015, Energy Saving Components Analysis in Hybrid Desiccant Dehumidification System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 11, pp. 603-608.
 38. Lee, D. W., 2015, Study of Performance Optimization as an Alternative Refrigerant HFC152a in a Mobile Air Conditioning System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 6, pp. 321-327.
 39. Kim, Y. S. and Yun, R., 2015, Performance of Carbon Dioxide System for Freezing and Refrigeration, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 2, pp. 81-86.
 40. Kim, D.-S. and Lee, D.-Y., 2015, Simulation of a Polymer-Water Adsorption Refrigerator using Plate-Type Adsorption Heat Exchangers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 2, pp. 94-102.
 41. Jeong, S.-K., Han, S.-J., and Jung, Y.-M., 2015, Practical Modeling and PI Controller Design for Centrifugal Water Chillers, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 4, pp. 187-191.
 42. Jeong, S.-K., Lim, S.-K., and Ryu, K.-S., 2015, Operating Number Control of Compressors Based on Cooperative Logic for a High Efficiency Centrifugal Water Chiller, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 5, pp. 233-240.
 43. Lee, J. J., Jeon, Y. S., Kim, S. J., and Kim, Y. C., 2015, Experimental Analysis on the Performance Characteristics of an Ejector according to Inlet Pressure and Nozzle Position, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 5, pp. 263-268.
 44. Kim, D.-S., 2015, Simulation of Alcohol Absorption Heat Pumps for Heating Performance, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 5, pp. 269-276.
 45. Cho, H. H. and Park, C. S., 2015, A Numerical Study on the Performance of a Vapor Compression Cycle Equipped with an Ejector Using Refrigerants R1234yf and R134a, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 7, pp. 362-368.
 46. Ryu, J. H. and Cho, H. H., 2015, Performance Simulation of a R744-R717 Cascade Refrigeration System According to Operating Conditions, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 10, pp. 497-505.
 47. Chang, M., Jung, D. I., Jung, J. H., and Kim, Y. C., 2015, An Experimental Study on the Heat Transfer Performance of an Air-Source Heat Pump Using a PCM Unit for Continuous Heating, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 10, pp. 537-543.
 48. Han, D. W., Chang, Y.-S., and Kim, Y. C., 2015, Fault Symptom Analysis and Diagnosis for a Single-Effect Absorption Chiller, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 11, pp. 587-595.
 49. Kim, J.-S., Shin, H.-J., Kim, J.-Y., and Park, B.-J., 2015, Development of Technology to Secure Refuge Space by Using Existing Restroom, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 24-30.
 50. Kim, D.-C., Chung, K.-S., and Kim, Y.-I., 2015, A Study on Economic Analysis and Performance Appraisal of Compact Type Variable Air Volume, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 44-49.
 51. Lee, S.-W., Hong, H. K., and Cho, S.-H., 2015, Energy Simulation for Conventional and Thermal-Load Controls in District Heating, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 27, No. 1, pp. 50-56.
 52. Kwon, Y.-I., 2015, A Study for Optimization the Ventilation Performance of the Computer Room, Ko-

- rean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 57-62.
53. Min, H.-K., Kim, S.-B., Kim, B.-W., Kim, H.-K., and Park, Y., 2015, A Study of the Sectionalizing for Pipe Deterioration Evaluation in Industrial Facilities, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 103-111.
 54. Cho, J., Kim, J., Lee., S., and Kang, H., 2015, Interaction Analysis between Cooling-to-Heating Load Ratio and Primary Energy Consumption of HVAC&R System for Building Energy Conservation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 113-122.
 55. Cho, S.-H., Hong, S.-K., and Lee, S.-J., 2015, Actual Energy Consumption Analysis on Temperature Control Strategies(Set-point Control, Outdoor Temperature Reset Control and Outdoor Temperature Predictive Control) of Secondary Side Hot Water of District Heating System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 137-145.
 56. Choi, S.-H. and Wang, G.-N., 2015, Characteristic Analysis of Electromagnetic-ultrasonic Guided Waves for Defect Signals in Condenser Tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 174-178.
 57. Cho, S.-H. and Hong, S.-K., 2015, Actual Energy Consumption Analysis of Temperature Control Strategies for Secondary Side Hot Water District Heating System with an Inverter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 179-188.
 58. Lee, U.-J. and Hong, H., 2015, Performance Enhancement of Solar Thermal Storage Tank with Heat Exchange Coils(Part 1 : Verification Experiment), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 213-218.
 59. Lee, Y.-H. and Heo, Y.-C., 2015, The Replacement Plans for Aged Public Water Supply Pipes in Apartment Buildings : Especially Apartment Buildings in Bucheon, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 228-232.
 60. Hong, S.-K. and Cho, S.-H., 2015, The Experimental Study of the Heat Flux and Energy Consumption on Variable Flow Rate for Secondary Side of DHS, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 247-253.
 61. Kim, N.-Y., Jo, J.-B., and Han, H., 2015, Ventilation Characteristics by Traffic Piston Effect in Underground and Network-type Road Junction, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 337-343.
 62. Hwang, J., Jeong, A. H., Jeon, B. H., and Ahn, Y. C., 2015, Thermal Performance Evaluation of the Window Systems with Air-bubble Sheets, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 463-467.
 63. Hong, J. K., 2015, A Study on the Facility Eligibility Inspection of National Inpatient Isolation Units, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 506-514.
 64. Kim, K. S., 2015, Analysis of the Economic Efficiency of the District Heating and Gas Engine Co-Generation System Compared with the Central Heating System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 544-551.
 65. Seo, B.-M., Yu, B.-H., and Lee, K.-H., 2015, A Detailed Analysis of the Part Load Ratio and Cooling Energy Characteristics of Chiller Operation in an Office Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 11, pp. 567-573.
 66. Baek, N., Han, S., Lee, W. J., and Shin, U., 2015, An Evaluation of the Solar Thermal Performance of the Solar/Geo Thermal Hybrid Hot Water System for a Detached House, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 11, pp. 581-586.
 67. Choi, K., Kim, Y., Lee, H., and Seo, J., 2015, A Study on the User and Location Awareness Technology Applied Dimming Lighting Control System to Save Energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 14-23.
 68. Kong, D.-S., Park, J.-M., Jang, Y.-S., Lee, K.-H., and Hu, J.-H., 2015, Development of an End-use Analysis Tool for Existing Buildings Based on Energy Billing Data, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 3, pp. 128-136.
 69. Lee, H.-J., 2015, Experimental Study of the Relationship between Weight Variation and Thermal Conductivity in Polyurethane Foam, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 5, pp. 241-246.
 70. Park, Y. C., 2015, Modeling of Winter Time Apartment Heating Load in District Heating System Using Reduced LS-SVM, Korean Journal of Air-Condition-

- ing and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 282-292.
71. Kim, C.-Y., Park, J.-I., Kim, D.-G., Shin, B.-H., and Kum, J.-S., 2015, A Study of the Indoor Thermal Environment in Apartment Buildings in Freezing Weather Operation of Heat Recovery Ventilator by CFD Simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 293-299.
 72. Shin, H.-J., In, K.-H., and Yoo, Y.-H., 2015, An Experiment Study for Flame Spread Prevention System of Sandwich Panels, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 307-312.
 73. Oh, S., Lee, H., Kim, Y., and Seo, J., 2015, Research on Lighting Performance Evaluation for Different Curvature Reflection Rate in Residential Space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 328-336.
 74. Kong, D.-S., Chang, Y.-S., and Huh, J.-H., 2015, Selecting of the Energy Performance Diagnosis Items through the Sensitivity Analysis of Existing Buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 354-361.
 75. Baek, N., Kim, S., Oh, B., Yoon, J., and Shin, U., 2015, Energy Performance Evaluation of Low Energy Houses using Metering Data, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 7, pp. 369-374.
 76. Lee, H., Rogers, K. E., Seo, J., and Kim, Y., 2015, A Study on Lighting Performance Evaluation of Light-Shelf using Crystal Face, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 395-401.
 77. Lee, J., Hyun, I., and Lee, K. H., 2015, Utilization of Heat from Waste-Incineration Facility for Heating Large-Scale Horticultural Facilities, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 418-425.
 78. Son, J.-E., Hyun, I.-T., Lee, J.-H., and Lee, K. H., 2015, Comparison of Cooling-Energy Performance Depending on the Economizer-Control Methods in an Office Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 432-439.
 79. Jeong, J.-H. and Song, D., 2015, Study on Improvement of Air Quality through Analysis of Ventilation Efficiency in Complex Enclosures of a Ship, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 440-447.
 80. Park, J. J., Yun, Y. R., Kim, Y. I., and Chung, K. S., 2015, Effect of Lock Operations on Airtightness of Sliding and LS Window Systems, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 449-454.
 81. Yu, B. H., Seo, B.-M., Moon, J.-W., and Lee, K. H., 2015, Analysis of the Part Load Ratio Characteristics and Gas Energy Consumption of a Hot Water Boiler in a Residential Building under Korean Climatic Conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 455-462.
 82. Park, J., Lee, H., Seo, J., and Kim, Y., 2015, A Study on the Suggestion of a Lighting Control System Applying General Illumination and Technology of User and Location Awareness, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 527-536.
 83. Noh, B. I., Choi, J., and Seo, D., 2015, A Study on the Classification Criteria of Climatic Zones in Korean Building Code Based on Heating Degree-Days, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 11, pp. 574-580.
 84. Im, G., Kim, J., Park, C., and Cho, H., 2015, An Experimental Study of the Bioelectrical Signals and Subjective Response in Changing from Unpleasant to Pleasant Temperatures in a Learning Environment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 11, pp. 596-602.
 85. Choi, Y., Song, D., Sohn, W.-W., and Lim, Y., 2015, Analysis of Indoor Temperature and Humidity Changes with the Operation of the Condense Drying Dehumidifier, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 12, pp. 626-632.
 86. Jung, J.-H., 2015, A Study on Optimal Control of Slab Cooling Storage Considering Stochastic Properties of Internal Heat Generation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 313-320.
 87. Jang, S. and Ahn, J., 2015, Design of the Outlet-Port Tube of a Cyclone-Type Oil Separator for a Compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 8, pp. 402-408.
 88. Kim, J.-Y., Kim, J.-S., and Lee, S.-G., 2015, Study on Field Experiment of Stack Effect Reduction in Stairwell of Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 484-490.