Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 26, No. 12 (2014), pp.605-619
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.12.605

설비공학 분야의 최근 연구 동향 : 2013년 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 2013

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]
[1]한국과학기술연구원, [2]강릉원주대학교 기계자동차공학부, [3]아주대학교 기계공학과,
[4]한국교통대학교 기계공학과, [5]한양대학교 건축공학과, [6]동아대학교 건축공학과
[1]*Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea*
[2]*School of Mechanical and Automotive Engineering, Gangneung-Wonju National University, Wonju 210-711, Korea*
[3]*Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea*
[4]*Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea*
[5]*Department of Architecture Engineering, Hanyang University, Seoul 133-070, Korea*
[6]*Department of Architecture Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea*

Abstract This article reviews the papers published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering during 2013. 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 have been reviewed as groups of fluid machinery, pipes and relative parts including orifices, dampers and ducts, fuel cells and power plants, cooling and air-conditioning, heat and mass transfer, two phase flow, and the flow around buildings and structures. Research issues dealing with home appliances, flows around buildings, nuclear power plant, and manufacturing processes are newly added in thermal and fluid engineering research area.

(2) Research works on heat transfer area have been reviewed in the categories of heat transfer characteristics, pool boiling and condensing heat transfer and industrial heat exchangers. Researches on heat transfer characteristics included the results for general analytical model for desiccant wheels, the effects of water absorption on the thermal conductivity of insulation materials, thermal properties of Octadecane/xGnP shape-stabilized phase change materials and CO_2 and CO_2-Hydrate mixture, effect of ground source heat pump system, the heat flux meter location for the performance test of a refrigerator vacuum insulation panel, a parallel flow evaporator for a heat pump dryer, the condensation risk assessment of vacuum multi-layer glass and triple glass, optimization of a forced convection type PCM refrigeration module, surface temperature sensor using fluorescent nanoporous thin film. In the area of pool boiling and condensing heat transfer, researches on ammonia inside horizontal smooth small tube, R1234yf on various enhanced surfaces, HFC32/HFC152a on a plain surface, spray cooling up to critical heat flux on a low-fin enhanced surface were actively carried out. In the area of industrial heat exchangers, researches on a fin tube type adsorber, the mass-transfer kinetics of a fin-tube-type adsorption bed, fin-and-tube heat exchangers having sine wave fins and oval tubes, louvered fin heat exchanger were performed.

(3) In the field of refrigeration, studies are categorized into three groups namely refrigeration cycle, refrigerant and modeling and control. In the category of refrigeration cycle, studies were focused on the enhancement or optimization of experimental or commercial systems including a R410a VRF(Various Refrigerant Flow) heat pump, a R134a 2-stage screw heat pump and a R134a double-heat source automotive air-conditioner system. In the category of refrigerant, studies were carried out for the application of alternative refrigerants or refrigeration technologies including CO_2 water heaters, a R1234yf automotive air-conditioner, a R436b water cooler and a thermoelectric refrigerator. In the category of modeling and control,

ⓒ SAREK

theoretical and experimental studies were carried out to predict the performance of various thermal and control systems including the long-term energy analysis of a geo-thermal heat pump system coupled to cast-in-place energy piles, the dynamic simulation of a water heater-coupled hybrid heat pump and the numerical simulation of an integral optimum regulating controller for a system heat pump.

(4) In building mechanical system research fields, twenty one studies were conducted to achieve effective design of the mechanical systems, and also to maximize the energy efficiency of buildings. The topics of the studies included heating and cooling, HVAC system, ventilation, and renewable energies 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 is mostly focused on indoor environment and building energy. The main researches of indoor environment are related to infiltration, ventilation, leak flow and airtightness performance in residential building. The subjects of building energy are worked on energy saving, operation method and optimum operation of building energy systems. The remained studies are related to the special facility such as cleanroom, internet data center and biosafety laboratory. water supply and drain system, defining standard input variables of BIM (Building Information Modeling) for facility management system, estimating capability and providing operation guidelines of subway station as shelter for refuge and evaluation of pollutant emissions from furniture-like products.

Key words Fluid machinery(유체기계), Duct(덕트), Pipe(파이프), Fuel cell(연료전지), Organic Rankine cycle(유기랭킨사이클), Heat transfer(열전달), Cooling and heating(냉난방), Air conditioning(공기조화), Refrigeration (냉동), Fluid flow(유체유동), Building facility(건축설비), Built environment(건축환경), Piping(배관), New and renewable energy(신재생에너지), Heat exchanger(열교환기), Heat pipe(히트파이프), Phase change(상변화), Alternative refrigerants(대체냉매), Heating(난방), Ventilation(환기), Indoor air quality(실내공기질), Thermal comfort(온열쾌적성), Load analysis(부하계산)

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

1. 서 론

논문은 2013년도 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 98편의 논문에 대한 평가와 리뷰를 통하여 설비분야의 전반적인 연구 동향을 파악함으로써 앞으로의 연구 방향을 설정하는데 유익한 정보가 될 것으로 기대한다.

2. 열유체

2.1 개관

열유체 분야에서는 유체기계 분야, 오리피스, 댐퍼, 덕트 같은 배관 관련 부품 분야, 연료전지 및 원자로 관련 유동을 포함한 발전시스템 분야, 냉각 및 공조시스템 분야, 열 및 물질전달과 이상유동 분야, 그리고 건축물 주위의 유동 분야에 관련된 연구가 수행되었다.

2.2 유체기계

Jeon and Cho[7]는 축류팬에서 임펠러의 날개길이와 피치각의 크기가 팬의 성능에 주는 영향에 대하여 실험을 하여, 날개길이가 짧을수록 피치각의 영향이 크게 나타나는 것을 발견하였으며, 피치각의 크기는 30°까지 커질수록 정압, 풍량, 동력은 증가하나 피치각이 35°가 넘으면 정압, 풍량은 오히려 감소하는 현상을 관찰하였다.

2.3 배관 및 배관 부품 관련 분야

Lee and Lee[45]는 디젤기관 후처리 시스템에 사용되는 다공 튜브의 오리피스 면적비 변화가 출구유동에 미치는 영향에 대하여 실험과 Fluent V6.3을 이용한 해석을 수행하였다. 오리피스에서 유동이 발생하는 유효유동면적과 오리피스 면에 수직한 속도성분은 다공튜브 길이방향에 따라 선형적으로 증가함을 관찰하였으며, 오리피스 면적을 입구 쪽은 크고 길이방향에 따라 감소하는 배열을 하면 각 오리피스에서의 유량분포가 균일화 되는 것을 관찰하였다.

ⓒ SAREK

Kim et al.[51]은 원자력 발전소와 화력발전소 등에서 보고되는 오리피스 하류에서의 유동가속부식으로 인한 탄소강 배관계의 사고 메커니즘을 규명하기 위하여 유동실험, 가시화 및 수치해석을 수행하였다. 오리피스에서 유동이 분리되면서 발생한 와류에 의하여 벽면으로 향하거나 벽면을 일정각도로 타격하는 반경방향 속도성분이 배관의 국소 감육과 연관성이 있음을 파악하였고, 반경방향속도성분과 마모율과의 상관관계를 확인하고 도식화하였다.

Kwon[86]은 원형 덕트에서 블레이드 하나로 구동되는 단익형 댐퍼에 스프링을 장착하여 압력변화에 관계없이 일정한 풍량을 공급할 수 있는 정풍량(Constant air volume) 댐퍼를 개발하기 위한 연구를 하였다. 비틀림 스프링을 원형댐퍼의 축에 장착하고 각도를 적절히 설정하면 상당한 압력변화에도 거의 완벽하게 정풍량 조절을 할 수 있다고 하며, 10% 오차 이내로 압력에 관계없이 2배 이상의 풍량제어가 가능하다고 하였다.

Lee and Lee[38]는 대형 디젤기관 배기가스 후처리 시스템에 사용하는 배기관의 오염물질 퇴적방지를 위하여 유동이 배관 벽면에 부딪쳐 퇴적되지 않도록 벽면에 평행한 유동을 형성시켜주는 하우징을 설치하였으며 하우징 경사각의 변화가 유동에 미치는 영향을 검토하여 믹서와 하우징 각도의 최적 조합을 선정하였다.

2.4 연료전지 및 발전시스템

Lee[10]는 고분자 전해질 연료전지(Proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)에서 수소와 공기와 같은 반응가스가 촉매층으로 이동하는 것과 생성된 물이 플로우 채널로 배출되는 것이 고전류밀도 영역에서의 성능향상에 지배적인 역할을 하므로, 가스확산층의 공극네트워크에 대한 연구가 중요하다고 하였고, MSP(Method of Standard Porosimetry)기법을 사용하여 구조적인 특성과, 공극과 액체와의 상호작용특성을 분석하였다.

Eom et al.[31]과 Chang et al.[56]은 저온에서 비등하는 유기물질을 작동유체로 사용하는 ORC(Organic Rankine Cycle, 유기랭킨사이클)을 이용한 발전시스템에 관련된 연구를 수행하였다. Eom et al.[31]은 R-134a를 사용하는 소형 ORC 시스템에 대하여 스크롤 압축기를 개조한 팽창기를 적용하였고, 이러한 팽창기의 회전수, 작동유체 질량유량 등의 변화에 따를 출력, 열효율, 팽창효율 등의 운전특성을 파악하였다. Chang et al.[56]은 작동유체로 R-134a를 사용한 경우와 R-245fa를 사용한 경우에 대한 비교실험을 통하여 R-245fa의 유용성을 검토하였다.

Lee et al.[39]은 원자로의 세부 부품 형상의 변경에 따른 원자로 내부 유동의 변화에 대하여 Ansys CFX V.14를 사용하여 해석하였고, 유량의 정확한 계산을 위해 개선이 필요한 사항들을 제시하였다.

2.5 냉각 및 공조 시스템

Oh et al.[1]은 조명기구의 발열을 배출하기 위한 배기 시스템을 적용하는 실험을 수행하였고, 이로부터 조명기구의 발열은 소비전력의 90% 이상이 열로 변환되어 실내 냉방부하에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Kim et al.[37]은 Chilled Beam 공조시스템의 개발과정에서 실내유니트인 Chilled Beam의 유인구조 도출과 유인성능 해석을 수행하였다. CFD를 사용한 유동해석을 통하여 설계조건을 만족하는 노즐을 결정하였고, 시작품을 제작하여 성능평가실험을 수행하였다.

Yoo et al.[41]은 건조와 열처리 큐어링(Curing) 등에 주로 이용되는 파장 0.8~1.5 μm의 전자기파를 열원으로 이용하는 근적외선(Near Infra-Red, NIR)가열모듈의 냉각에 관하여, 전도, 대류, 복사를 포함한 복합열전달 해석을 통하여 성능을 분석하여, 최적설계를 위한 기반기술을 확보하였다.

2.6 열 및 물질전달과 이상유동

Kye and Kim[36]은 작은 직경의 수직관을 지나는 이산화탄소-물 혼합물의 슬러그 유동에 대하여 실험 및 관찰을 통한 기초연구를 수행하였다.

Hwang and Lee[43]는 창호에서의 열손실을 줄이기 위해 개발된 진공유리의 결로 성능을 비교 분석하기 위하여 열관류율 및 유리표면 온도 변화를 CFD를 이용하여 해석을 실시하였고, 실제 제작하여 성능을 분석하여 내부압력 10^{-3} Torr인 진공유리의 열관류율은 일반유리에 비해 1/20정도로 작아져서 단열 및 결로현상이 획기적으로 개선됨을 보였다.

Lee[46]는 증발기나 응축기 내에 나타나는 2상 유동의 형태 중 흔히 볼 수 있는 환상류를 기준으로 입구부 단면 형상의 변화에 따른 헤더 내에서의 유동에 대한 가시화를 통해 관찰하고 보다 균일한 유동분배를 얻기 위해서, 입구부의 유동저항이 분배에 미치는 영향을 실험적으로 수행하였으며, 입구부에 유동저항이 있는 경우 유동분배의 불균일이 개선됨을 관찰하였다.

Park et al.[62]은 복합전기오븐의 스팀발생기의 위치를 선정하기 위하여 실험 데이터를 수치계산의 경계조건으로 주어 스팀발생기 출구의 위치에 따른 유동 특성을 해석하였다. 그 결과 스팀발생기는 옆면보다 뒷면에 장착하는 것이 유리하다고 주장하였다.

2.7 건축물 주위의 유동

Chung et al.[14]은 수직구조물 내부에 설치되는 벤츄리관 목에서의 공기의 가속효과에 대하여 PHEONICS (ver.2011) 프로그램을 사용하여 수치해석 하였다. 수직구조물의 후방에 발생하는 와류현상에 의해서 구조물 후방에서의 압력이 낮아지고, 벤츄리관의 속도가 더욱 증가하게 되는 역할을 한다고 설명하였다.

Park et al.[28]은 284 m 높이의 초고층 건물에 소형 풍력발전시스템의 설치 가능성을 타진하기 위하여 Star-ccm+ 4.02를 사용하여 유동해석을 하였다. 검토결과 주변 건물의 영향을 받지 않는 옥상의 헬리포트 주변위치 중 주 풍압의 영향을 가장 먼저 받는 부분으로 판단하였으며, 지름 4 m의 3 kW급의 수직형 풍력발전시스템을 3~7기 설치할 수 있는 것으로 파악하였고, 7대의 발전시스템을 설치한 경우에 연간 약 17 MWh의 전력을 생산할 수 있는 것으로 예측하였다.

3. 열전달 및 열교환기

3.1 개관

열전달 및 열교환기 분야에서는 폭넓은 연구가 보고되었다. 단열재 성능, PCM, 표면 온도 센서 등 다양하고 일반적인 열전달 현상에 관한 연구를 비롯하여 열전달 촉진을 위한 비등 및 응축에 관한 열전달 해석, 그리고 각종 산업용 열교환기 효율 향상을 위한 핀에 관한 연구가 수행되었다.

3.2 열전달 일반

Kim et al.[18]은 건축물 축열성능 향상을 위해 Octadecane/xGnP을 이용하여 SSPCM을 제작하고 그 열적 성능 분석에 대한 결과를 보고하였다. 논문에서는 사용된 PCM이 매우 안정을 보여 건축물 자재에 적용될 수 있음을 주장하였다. PCM에 관한 또 다른 연구는 Xu et al.[88]에 의해 제시 되었다. 그들은 CFD를 이용하여 PCM 냉동모듈의 방냉과정을 모델링하고 실험을 통하여 검증하였다. 또한 이를 통해 풍량 및 표면 거칠기가 불균일 방냉 및 냉동성능에 미치는 영향을 분석하여 방냉성능 최적화를 수행하였다.

재료의 열물성 연구에 대한 연구는 Yun[34] 과 Yoo and Kim[17]에 의해 보고되었다. Yun은 CO_2-hydrate 혼합물의 열전달 계수 및 압력강하를 TRAPP모 델을 이용하여 계산하였다. Yoo and Kim은 E-glass와 HYPER-LITE 단열재의 수분 흡수량에 따른 열전도계수 변화를 실험과 모델링을 통해 분석하고 그 변화량을 제시하였다.

단열 연구에 대해서는 Choi and Kang[87]이 국내 건축용 단열재에 대한 열전도율 시험을 장기간에 걸쳐 실시하여 단열재의 장기 경지변화에 따른 열물성 자료를 제시하였다. Ha[65]는 냉장고의 진공 단열재 평가를 위해 열유속계의 위치를 최적화 시키고 진단 향상의 결과를 보고하였다.

고성능 진공복층유리와 양면 low-e 3중 유리의 항결로선을 비교 실험하여 결로 위험성을 평가한 연구가 Won and Nam[80]에 의해 수행되었다.

Nam[58]은 지열시스템의 채열 및 방열에 의한 지중온도의 변화범위를 검토하기 위해, 3차원 지하수 및 지중열이동 해석모델과 지표면 열이동 모델을 활용한 장기 시뮬레이션을 수행하였다,

Kim et al.[94, 95]은 2편에 걸친 논문에서 표면온도 측정을 위한 온도센서를 개발하였다. 논문에서 그들은 유리표면에 온도에 따라 형광강도가 변하는 형광물질을 도포하는 기술을 제시하였고, 최적의 온도 센싱 능력을 보이는 공정 조건 및 화학적 조성에 대해서도 보고하였다.

Kwon et al.[71]은 히트펌프 건조기용 증발기의 핀피치에 대한 성능을 조사하기 위하여 소형 PF 증발기 3종과 실험장치를 제작하고, 증발기의 열교환량과 제습량을 실험하여 그 결과를 보고하였다.

Kim and Lee[16]는 일반적으로 넓게 적용할 수 있는 로터리 제습기의 해석모델을 개발하였고, 기존의 실험결과와의 비교를 통해 개발한 모델이 최적운전 속도의 존재를 잘 예측함을 보고하였다.

Hahm and Park[47]은 전자칩 냉각용 워터블록 내부의 3가지의 다른 확장표면(다공성 금속, 5 mm 핀, 7 mm 핀)을 갖는 전열판을 장착하고 확장표면이 없는 매끈한 표면의 전열판과 열전달 특성을 비교하였다. 열저항은 5 mm 핀, 7 mm 핀, 다공성 금속, 매끈한 표면의 순으로 크게 측정되었는데 다공성 금속의 경우 전열판과 용접되지 않아 접촉저항이 크며 5 mm 핀의 경우에는 핀 상부와 워터블록 사이의 빈 공간(2 mm)이 활발한 유동 섞임을 유도하여 열저항이 작은 것으로 판단하였다.

3.3 비등 및 응축

Kang et al.[67]은 사각 평판 표면에서 비공비 혼합냉매인 HFC32//HFC152a의 여러 조성에서 풀 비등 열전달계수를 측정하였고 데이터를 기존의 혼합냉매 열전달 상관식과 비교, 분석하였다.

또한 Lee et al.[72]은 26 fpi low-fin 표면에 FC-72 유체를 이용하여 분무냉각을 수행하였고 액적유량밀도의 변화에 따른 임계열유속을 측정하였다. Lee et al.[21]은 26 fpi low-fin 표면에 대해서 R134a와 R1234yf 냉

ⓒ SAREK

매를 사용하여 임계열유속을 측정하였고, 열전달계수가 증가함도 보고하였다.

Kim et al.[66] 이종 PCM의 배치에 따른 상변화 특성을 CFD 계산으로 파악하여 PCM의 적절한 배치 및 순환수의 분배를 통해 유효한 열전달을 꾀할 수 있음을 보고하였다.

Choi and Oh[15] 수평미세관 내경 3.0 mm 관길이 2,000 mm인 스테인레스스틸 튜브를 이용하여 암모니아의 비등 열전달 특성을 분석하고 기존의 열전달 상관식과 비교하여 비등열전달상관식을 제시하였다.

3.4 산업용 열교환기

핀튜브형 흡착탑에서 열 및 물질전달 수치해석이 Kwon and Chung[63]의해 연구 되었다. 논문에서는 핀피치 및 냉각수 온도에 따라 흡착률, 탈착률의 변화량을 제시하였다. 또한 Ahn et al.[93]은 핀튜브형 흡착탑에서 실리카젤의 입자 사이 물질전달 모델 2가지에 대한 검증을 수행하였고 수치모델에 대한 타당성을 입증하였다.

Choi et al.[40]은 사인 웨이브 핀-관 열교환기에 대한 실험을 수행하였고, 핀피치, 풍속에 따른 열전달 특성을 보고하였다.

Ryu and Lee[92]는 루버휜의 설계 인자가 성능에 미치는 영향을 조사하고 최적화 기법을 이용하여 최적의 루버휜을 제안하였다.

4. 냉동

4.1 개관

냉동분야의 연구는 크게 냉동사이클, 냉매, 모델링 및 제어의 세 분야로 나누었다. 냉동사이클 분야에는 냉동시스템의 용량제어와 최적화에 관한 실험적 연구를, 냉매 분야에는 CO_2를 비롯해 새롭게 개발된 냉매의 응용과 대체 냉동기술을, 모델링 및 제어 분야에는 이론 또는 실험적 모델을 이용한 시스템 성능 예측과 제어에 관한 연구들의 내용을 간략히 정리하였다.

4.2 냉동사이클

Bae et al.[19]은 R410a 수열원 동시 냉난방 열펌프 시스템의 실외기 용량제어를 위해 실외기의 팽창밸브를 제어하는 방안을 제안하고 이에 대한 성능 변화를 실험적으로 분석하였다. 3가지의 동시 냉난방 운전모드에 대해 냉방과 난방 능력이 증가하고 소비전력이 감소하는 최적의 전자 팽창밸브 개도가 존재하는 것을 확인하고 실외기 용량제어에 팽창밸브 제어가 효과적임을 보였다.

Ahn et al.[20]은 정속형 압축기를 채용한 열펌프에 압축기 토출구의 고온가스와 응축기 출구의 액상 냉매를 압축기 흡입측으로 바이패스하는 두 개의 바이패스 라인을 설치하고 냉방과 난방 운전 모드에서 용량제어 성능을 평가하였다. 바이패스 방법에 따른 COP의 차이(1~2%)는 무시할 만큼 작기 때문에 용량제어 범위를 고려하면 냉방 시에는 액체 바이패스(52~100%), 난방 시에는 고온가스 바이패스(74~100%)가 적합하며 압축기 흡입압력 상승을 위해서는 냉·난방 운전 모두 고온가스 바이패스법이 유리하다고 하였다.

Park et al.[25]은 스크류 압축기를 사용한 30RT급 하천수 열원 2단 압축 열펌프 시스템을 구성하고 혹한기 초기 기동과 압축기 오일 회수에 관한 시스템의 동적 성능 특성을 관찰하였다. 혹한기 난방 운전의 경우에는 초기에 1단 사이클로만 예열운전을 수행하여 2단 사이클의 부하측 열매체 온도를 일정 온도 이상으로 올린 후 2단 사이클을 기동함으로써 원활한 냉시동이 가능하며 두 대의 스크류 압축기 사이에서 발생하는 오일 회수의 불균형 문제는 레벨 스위치와 전자밸브로 오일 회수 제어계를 구성하여 해결할 수 있음을 확인하였다.

Woo et al.[27]은 외기와 전기장치의 폐열을 열원으로 하는 전기자동차용 이중열원 R134a 열펌프 시스템을 구성하고 그 성능특성을 측정하여 난방장치로서의 가능성을 확인하는 동시에 성능 향상을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 외기 열원과 폐열원을 복합적으로 사용하여 난방능력과 COP를 증가시킬 수 있음을 보였으며 유량비(총 냉매 순환량 중 폐열의 회수에 사용되는 냉매유량의 비율)가 표준유량비(0.8)보다 큰 경우 난방능력과 COP가 큰 폭으로 감소하기 때문에 표준유량비 이하에서 운전하는 것이 유리하다고 판단하였다.

4.3 냉매

Park and Yun[4]은 CO_2 급탕기의 수치 모델을 개발하고 4 kW급 소형 CO_2 급탕기의 실험결과와 비교하여 그 정확성을 검증하였다. 시뮬레이션결과와 실험결과는 급탕능력의 경우 ±3.5%, 압축기의 소비동력과 COP는 약 ±8%의 오차범위에서 일치하였는데 소비동력의 오차가 상대적으로 큰 이유로 압축기의 과열 및 오일 충전량의 감소를 지목하였다.

Park et al.[26]은 10마력급 압축기를 채용한 CO_2 급탕기를 구성하여 운전조건 변화에 따른 성능특성을 측정하고 실험적으로 검증된 수치모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 급탕기의 요소부품(가스쿨러, 내부열교환기) 최적설계 및 운전 변수(팽창밸브 개도)의 최적화 연구를 수행하였다.

Cho et al.[30]은 R134a로 성능시험을 마친 자동차용 에어컨 시스템에 R1234yf를 충전하여 측정한 drop-in 평가 결과를 보고하였다. R134a 시스템과 비교하여 R1234yf 시스템의 압축기 토출온도(8.3 K↓), 소비동력(3.9%↓) 및 냉방용량(4~7%↓)이 모두 감소하고 COP는 3.6~4.5% 정도 낮게 측정되었으나 R1234yf 시스템에 내부열교환기를 적용할 경우에는 COP 감소폭이 0.3~2.9%로 줄어들어 성능개선의 효과가 있는 것으로 나타났다.

Nam et al.[60]은 최근 개발된 프로판계열 근공비 냉매인 R436b의 정수기 냉각수 시스템 drop-in 적용을 위해 오일 혼합성, 재료 안정성 및 가속 수명 시험을 수행한 결과 상용 정수기에 사용하는 오일 및 부품과 호환 가능하고 가속 수명 시험에서 확인한 성능의 변화, 오일 및 모세관 직경의 변화 역시 drop-in 적용이 가능한 범위 내에 있다고 보고하였다.

Lim et al.[90]은 싱글과 캐스케이드, 두 가지 형태의 열전소자 냉장고를 실험하여 그 성능 특성을 보고하였다. 싱글 시스템의 냉장실과 냉동실은 각각의 독립적인 열전소자가 열을 외부로 직접 방출하는 병렬적 열흐름을 가지고 캐스케이드 시스템은 냉동실의 열전소자가 냉장실로 열을 방출하고 냉장실의 열전소자가 최종적으로 모든 열을 외부로 방출하는 형태의 직렬적 열흐름을 가진다. 동일한 외기온도차 조건에서 싱글 시스템과 비교하여 캐스케이드 시스템의 열부하는 9.3% 작고 흡열량과 성능계수는 1.7배 크다고 보고하였다.

4.4 모델링 및 제어

Sohn et al.[5]은 상업용 건물의 현장 타설 콘크리트 파일에 U자관을 삽입한 형태의 지중열교환기(에너지 파일)를 적용한 지열 열펌프 시스템의 동적 시뮬레이션 모델을 개발하고 단기(1년) 및 장기(20년) 성능을 분석하였다. 그 결과 대상 건물의 냉난방 부하량의 차이로 인해 최고 및 최저 EWT(파일 순환수의 열펌프 입구온도)는 시간이 지나면서 감소하고 20년 동안 에너지 파일 단위 길이 당 최대 열 추출량은 82.7 W/m, 최대 방출량은 235.8 W/m이며 평균 냉방성능계수는 4.72, 난방성능은 3.45일 것으로 예측하였다.

Jeong and Hong[13]은 외란을 고려한 3가지 평가함수(IAE, ITAE, ISE) 기반의 PI 제어기와 Matlab의 PID 튜너 기반 제어기를 오일쿨러 시스템의 압축기 변속과 팽창밸브 개도 제어에 적용, 측정하여 IAE 평가함수에 기반한 PI 제어기가 설계가 쉬우면서도 우수한 제어성능을 보임을 보였다.

Kim and Choi[54]는 시스템 열펌프의 복수의 실내기를 개별적으로 제어하기 위해 적분형 최적 레귤레이터 법에 기반한 다중입출력 제어기를 제안하고 2실형 시스템 열펌프의 동적 모델에 적용, 시뮬레이션하여 실내기 토출 공기온도(용량 조절 변수)와 과열도(최적화 변수)를 적절히 제어할 수 있음을 보였다.

Shin et al.[55]은 보일러와 열펌프를 결합한 하이브리드 시스템의 고장감지, 진단 및 자동제어 연구를 위한 동적 열펌프 모델을 개발하고 시뮬레이션을 수행하였다. 열펌프 모델은 압축기, 어큐뮬레이터, 실내/외기, 온수 가열용 판형 열교환기 와 두 개의 팽창밸브로 구성하였으며 냉방/급탕 겸용 및 난방 모드 운전을 고려하였다. 냉방/급탕 겸용모드에서는 압축기 속도와 실외 팬을 동시에 제어하여 온수 가열량의 변화와 상관없이 응축압력의 안정적인 제어가 가능하고 난방모드에서 냉매고압 제어는 압축기 속도, 저압제어는 팽창밸브, 과열도는 실외기 팬 인버터를 이용하여 제어할 수 있다고 하였다.

Kim et al.[69]은 탑차용 R744 냉장시스템의 증발기에 서리의 성장을 고려한 수치모델을 개발하여 착상조건에서 운전조건에 따른 성능변화를 예측하였다. 차단비(서리에 의해 막힌 유동면적의 비율)를 0~40% 범위에서 변화시켜가며 성능변화를 살펴본 결과 차단비가 40% 이상인 경우 기본조건 대비 냉동능력은 약 27%, COP는 약 25% 감소하지만 실외기 풍속이 낮고 실외기 풍속이 높을수록 또, 압축기의 회전수가 클수록 차단비의 영향이 작을 것으로 예측하였다.

Oh et al.[76]은 내부열교환기 부착 R404a 냉동기의 저온측 열교환 루프에 R744를 채용한 수치모델을 개발하여 R744의 포화온도, 과냉(열)도 및 케스케이드 온도차와 R404a의 응축온도와 과냉(열)도, 내부열교환기와 압축기 효율이 COP와 질량유량비(m_{R404a}/m_{R744})에 미치는 영향을 고찰하고 회기분석을 통해 그 결과를 경험식으로 표현하였다.

Sung and Ahn[81]은 냉동냉장 식품을 위한 개방형 전시케이스의 3차원 기류 해석모델을 개발하여 냉각공기의 급기량 변화가 에어커튼의 회절현상과 성능에 미치는 영향을 분석한 결과 전시케이스 저장 공간 내에 냉각공기의 공급량을 늘려 배압을 증가시키는 것이 에어커튼의 회절 상태를 완만하게 만들어 에너지 효율을 높이는데 효과적이며 상부 슬롯의 토출 공기 온도를 환기그릴로 회수되는 정도의 높은 온도로 공급하는 것이 에너지 소비량을 줄이는데 유리하다고 하였다.

5. 건축기계설비

5.1 개괄

건축기계설비 분야에 관련된 논문은, 냉난방, 공조설비, 환기설비, 에너지자원화 설비 그리고 기타설비로 분류할 수 있었으며, 시스템 설계에서 성능평가에

ⓒ SAREK

이르는 총 21개의 연구가 보고되었다. 냉난방 분야에서는 단열셔터, 다공성 물질을 이용한 상안정 PCM 제조, 그리고 PCM를 활용한 구체축열시스템에 대한 연구가 발표되었다. 공조설비 분야에서는 태양열온수시스템 설계용량 최적화와 덕트설비의 BIM 기반 자동화 기술 등 설계기술에 관련 된 연구와 함께, 열원기기 및 가정용 열병합시스템의 성능평가에 관한 연구, 그리고 산소클러스터이온 발생장치, 악취제거 필터 등 공조설비 개발에 관한 연구가 발표되었다. 에너지자원화와 관련해서는 열펌프, 지열, 태양광, 그리고 신재생에너지에 이르기까지 9편의 많은 연구가 발표되었다. 환기설비와 관련해서는 전열교환환기시스템에서의 결로 발생에 관한 연구가, 기타설비분야에서는 하수관거 보수공법개발에 대한 연구와 배관 용접부의 잔류응력 개선에 관한 연구가 발표되었다. 각 분야에서 발표된 연구의 구체적 내용은 아래와 같다.

5.2 냉난방

공동주택의 난방에너지 절감과 관련하여 Lee et al.[22]는 단열셔터 구동창호의 단열 성능 평가와 함께 실험주택에서의 측정결과를 이용하여 단열셔터가 기존 창호 대비 41%의 난방에너지소비 절감 효과는 있는 것으로 보고하였다. PCM(Phase change material)를 이용한 구체축열과 관련하여 2편의 논문이 발표되었으며, Jeong et al.[59]은 PCM을 다공성물질에 함침하는 방법을 이용하여 건축재료에서의 상안정화 방안을 모색하였고 실험을 통하여 성능을 검증하였다. Lee et al.[91]는 또한 앞서 발표한 논문에 이어 동적 전열해석을 이용하여 PCM를 이용한 구체에서의 축열 및 방열 특성을 보고하였다.

5.3 공조설비

공조설비와 관련해서는 7편의 연구가 보고 되었으며, 크게 설계, 성능평가, 그리고 시스템 개발로 분류할 수 있었다. 설계와 관련하여 Song et al.[89]은 공조설비의 BIM(Building Information Modeling)기반 자동 설계품질검토 기술개발을 위하여 우선적으로 덕트시스템관련 품질검토항목을 도출하였고, 이를 통하여 품질검토 알고리즘 개발에 필요한 인자를 제시하였다. 또한 Lee[98]는 초기 설계 단계에서 태양열온수시스템의 설계용량산정의 최적화을 위하여 RETScreen 프로그램을 이용한 최적화 방법과 TRNSYS 모델을 비교, 평가함으로써 향후 최적화 기법 개발에 필요한 기초자료를 제시하였다.

성능평가와 관련하여, Lee et al.[53]는 열원기기의 대수분할에 따른 부분부하운전 특성을 RTS법과 동적시뮬레이션을 통하여 분석하였고, 대수분할에 있어 부분부하특성과 반송동력에 대한 고려가 중요함을 제시하였다. Kang et al.[77]은 국산화가 진행되고 있거나 실증이 이루어진 가정용 열병합발전시스템을 대상으로 수치해석을 통하여 온실가스 배출 저감효과를 분석하였고, 엔진과 운전조건에 따른 이산화탄소배출량의 특징을 제시하였다.

공조설비 장치개발에 있어서, Park et al.[2]은 BCR(Bio Clean Room)에 적용할 수 있는 산소클러스터이온 발생장치를 개발하였고, 실험을 통하여 위치에 따른 음이온량의 변화를 제시하였다. Kwon and Hong[29]은 실험동물 사육시설에서 발생하는 악취를 제거하기 위한 배기필터 유닛을 제작하였고, 실험을 통하여 압력손실 특성과 암모니아의 제거효율을 제시하였다.

5.4 환기설비

환기설비분야에서 Jeon et al.[73]은 전열교환 환기시스템에서 동절기에 발생할 수 있는 결로의 원인을 분석하였고, 결로 방지를 위한 운전 및 시스템 개선 방안을 제시하였다.

5.5 에너지자원화 설비

에너지자원화 설비 분야에서 발표된 연구는 크게 열펌프, 지열, 태양광 그리고 신재생에너지로 구분할 수 있었다. 열펌프와 관련하여 Song et al.[33]은 저온의 외기조건에서 공조 및 바닥난방에 사용 가능한 고온수를 얻기 위한 케스케이드 사이클 적용 급탕열펌프를 제안하였고, 시스템 시뮬레이션과 실험을 통하여 성능특성을 제시하였다. 또한 Oh et al.[52]는 정수장 내 원수를 열원으로 하는 열펌프의 동적 특성을 TRNSYS를 이용하여 분석하였고, 공기열원 대비 COP와 소비전력이 우수성함을 제시하였다. Han et al.[75]은 바닥복사난방과 급탕 수요가 많은 유치원건물에 있어 공기열원 열펌프, 지열원 열펌프 그리고 급탕과 복사난방을 담당하는 시스템 보일러로 구성된 다중 열펌프시스템의 특성을 실증건물을 통하여 분석하였고, 기존 유치원 대비 7~29% 정도 에너지 소비량를 절감할 수 있음을 제시하였다.

지열과 관련하여 Kong et al.[23]은 수열원 방식의 가정용 지열원 열펌프가 설치된 기숙사를 대상으로 시뮬레이션을 통하여 시스템의 동적 특성을 이론적으로 파악하였고, 현장실험과의 비교결과를 제시하였다. Nam and Chae[42]는 수평형 지열시스템의 성능을 예측하기 위하여 지중 열전달 모델과 열교환기 순환모델을 연성한 시뮬레이션을 개발하였고, 시뮬레이션을 통하여 열교환기 설치 깊이와 간격에 따른 채열량 특성을 제시하였다. Song[61]은 지열 열펌프시스템의 지열측 입출구

온도차를 이용한 순환펌프의 가변유량 제어방법을 제안하였고, 현장 실험을 통하여 제안된 시스템의 타당성을 제시하였다. 또한 Chae et al.[84]는 지중구조체인 Barrette 파일을 지중열교환기로 이용한 에너지파일의 채열성능을 검토하기 위하여 시뮬레이션을 실시하였고, 생애주기비용을 제시하였다.

태양광과 관련하여 Sung et al.[35]은 집광부에 다수의 파라볼릭 반사거울을 조합한 집광시스템을 개발하였고, 실험실 실험을 통하여 개발된 시스템의 효율과 실내 평균조도 특성을 제시하였다. 신재생에너지와 관련하여 Shin et al.[64]은 신재생에너지설비 설계의 최적화 방안을 경제성 관점에서 분석하였으며, LCC를 고려한 설비투자 관계식을 제시하였다.

5.6 기타 설비

Kim et al.[24]은 하수관거의 비굴착 보수공법에서 시공시간과 에너지 사용량을 절감 시킬 수 있는 보일러 폐열 회수 장치를 이용한 현장경화관(CIPP) 공정을 개발하였고, 현장실험을 통하여 개발된 공정의 성능을 검증하였다. Choi and Wang[79]은 맞대기 용접 시 발생하는 배관 내부에서의 인장잔류응력을 압축응력으로 변환하기 위한 방법으로 기계적 가압에 의한 배관 소성변형 방법에 대한 효용성을 실험과 해석을 통하여 검토하였고, 압축응력이 발생함으로써 배관 내부에 존재하는 미소 결함의 성장을 억제할 수 있음을 제시하였다. 상기 결과는 향후 국내 원전의 노후화와 정비기술의 확보 측면에서 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 건축환경

6.1 개관

건축환경분야 연구는 크게 실내환경, 건물에너지, 특수시설 및 기타 등으로 분류하여 연구동향을 분석하였다. 실내환경 분야에서는 건물의 침기량, 환기량, 누기유동, 기밀성능 등에 연구가 수행되었다. 건물에너지 분야는 효율적인 에너지사용방안을 위한 절감 및 운전방안, 최적운영에 관한 연구를 수행하였다. 특수시설 및 기타 분야는 특수시설의 공조시스템, 급배수시스템, 시설물유지관리를 위한 BIM 데이터 입력기준개발, 지하철역의 임시대피인원 수용능력 산정, 가구의 오염물질방출량 시험 등에 관한 연구가 수행되었다.

6.2 실내환경

실내환경 분야에서는 건물의 환기 및 기밀성능에 관한 연구가 주를 이루었다. 노후 단독주택의 침기량 측정법, 개선된 환기량 측정방법, 네트워크 수치해석 알고리즘을 사용하여 누기유동의 수치해석 모델, 공동주택의 기밀성능의 진단평가 방법에 관한 연구가 진행되었다.

Kim et al.[68]은 신축단독주택의 침기 발생원인과 다른 특징을 보이는 노후단독주택의 침기량을 산출하는 현장측정방법을 제시하였다. 단독주택의 에너지 소비량 진단 시 건축도서와 현장점검으로 노후단독주택의 침기량을 산정하였다.

Kim[70]은 간편하고 사용하기 쉬운 PFT법(PerFluorocarbon Tracergas Technique)을 개발하기 위하여 기존의 방법과 다른 측정법을 개발하였다. 개발한 측정법을 사용하여 각층별로 존닝한 3층 단독주택의 환기량 측정을 실시하였으며 CO_2 추적 가스법을 동시 적용하여 실측 정밀도를 비교 측정하였다.

Kim and Kim[78]은 환기설계 시 건축물의 틈새와 기밀도 등의 요소들이 건축물의 환기량에 미치는 영향에 대해서 분석하기 위하여 네트워크 수치해석 알고리즘을 사용하여 누기유동에 관한 적용가능한 수치해석 모델을 제시하였다. 이를 이용해서 건축물 계단에서의 연돌효과에 대한 3차원 수치해석을 수행하였다.

Lee and Shin[85]은 선진국의 건축물 기밀성능 평가방법 및 관련기준을 고찰하고 신축 공동주택에 대한 현장측정 및 기밀특성 분석하였다. 이들을 통하여 국내 공동주택의 누기특성을 파악하고 다른 나라의 기밀성능 기준을 활용하여 신축 공동주택의 기밀성능 기준의 제정에 필요한 기술자료 제시하였다.

6.3 건물에너지

건물에너지 분야에서는 시뮬레이션 및 실측을 통하여 에너지사용량을 예측 및 절감방안을 제시하였다. 또한 시스템 최적운영 알고리즘 및 운전방안을 제시하여 효율적인 에너지사용방안을 제시하였다.

Yoon et al.[3]은 조명, 기기 등 다양한 실내 부하조건의 차이에 따른 천장급기 및 바닥급기 방식을 TRNSYS 프로그램을 사용하여 냉방 시 에너지성능을 비교하였다. 실내 부하의 조건에 관계없이 에너지절감 측면에서 바닥급기 방식이 유리하며, 특히 상부 부하(조명 밀도)가 상대적으로 높은 조건하에서는 바닥급기 방식의 에너지절감 효과가 증대됨을 확인하였다.

Kim et al.[8]은 창호 및 벽체의 단열 성능 및 주동형태를 변경하였을 때 건물에너지효율등급에 미치는 영향을 분석하고, 표준주택대비 에너지절감율을 분석하였다. 현재 지역별로 각종 세제 우대조치를 받을 수 있는 2등급을 취득하기 위해서는 중부, 남부지방은 건축법 단열기준 대비 30% 이상, 남부지방은 20% 이상 강화가 필요함을 확인하였다.

ⓒ SAREK

Kwak et al.[44]은 효과적인 에너지 수요예측을 위하여 웹에서 실시간으로 예보되는 기상 데이터를 활용한 일사모델식을 통하여 일사를 예측하였다. 기상데이터와 예측일사량을 사용하여 BEMS를 구축한 실제건물에서 실시간 및 시뮬레이션 에너지사용량을 비교하였다.

Kwak et al.[48]은 창호등급제의 각 등급별 창호를 설치한 건물의 연간 에너지 사용량을 분석해 창호등급제와 건물에너지소비량과의 상관관계를 파악하였다. 또한 건물에너지소비의 변화경향도 분석해 창호등급제의 문제점 및 개선 방향을 제시하였다.

Cho et al.[49]는 초기 설계계획단계에서 건물에너지 부하를 기준으로 적용 가능한 모든 공조설비시스템의 에너지를 동시에 예측하는 방법을 도출하고 이와 관련된 소프트웨어를 개발하였다. 이를 사용하여 에너지 효율적인 공조시스템을 선정하는 방법론을 제시하였다.

Byun et al.[82]은 지역난방 공동주택 열공급 시스템에서 외기온도 변화에 따라 각 세대에 필요한 난방부하를 예측하고 배관망 열손실을 최소로 하기 위해 공급수온도와 공급수유량 열공급제어를 통한 지역난방 공동주택 다중 열공급제어 알고리즘을 개발하였다. 외기온도 변화에 따른 공급수온도와 공급수유량을 변화시켜 기존 열공급제어방식보다 열손실률을 감축하였다.

Ahn and Song[97]은 실내 열환경 개선과 에너지 절감을 위하여 외기온도 변화에 따른 실내 공기온도 및 바닥난방시스템의 공급 온수온도의 설정값을 변화시키는 외기온도보상 실내 공기온도 및 공급 온수온도 제어를 제시하였다. 또한 바닥난방시스템의 열적관성 특성을 고려한 실내공기 및 공급온수 설정온도를 외기온도, 공급 온수온도, 공급유량 등의 변화에 따라 재설정하는 현장 구현이 용이한 운전방안을 제시하였다.

6.4 특수시설 및 기타

앞 절에서 언급한 실내환경, 건물에너지 분야의 연구 이외에 특수시설들의 공조시스템, 급배수시스템, 시설물유지관리를 위한 BIM 데이터 입력기준개발, 지하철역의 임시대피인원 수용능력 산정, 가구제품의 오염물질 방출량 시험의 일원화 등에 관한 연구들이 진행되었다.

Kim et al.[9]은 반도체 클린룸용 외기공조시스템의 에너지소비량 산출방법을 확립하기 위하여 전극봉식 증기가습기에 의한 증기가습 방식과 에어와셔에 의한 수분무가습방식의 연간 에너지소비량을 비교분석하는 수치해석적 연구를 수행하였다. 개발된 증기가습 및 수분무가습 외기공조시스템의 소비전력량계산 방법은 기존의 실험 결과와 매우 일치하는 결과를 보였다.

Heo et al.[11]은 국내외 정유 및 가스플랜트산업현장에서 공학적 판단기준으로써 대표적으로 준용되고 있는 RBI(Risk-Based Inspection, 위험도기반평가) 중에서 평가자의 판단에 따라 위험도가 평가하는 정성적 평가에 관하여 연구를 하였다. 이 평가방법은 검사자의 숙련도나 플랜트환경에 따라 불확실한 변수들이 실재할 수 있으며, 또한 평가결과에 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 정성적 RBI 평가 시 불확실한 변수를 고려하고, 이를 확률론적인 방법으로 접근하여 보다 신뢰도 높은 결과를 도출할 수 있는 방법을 제시하였다.

Jung et al.[12]은 데이터센터 서버의 안정성확보와 동시에 에너지를 절감할 수가 있는 냉복도 밀폐시스템(Cold aisle containment system)으로 개보수하기 위하여 현장적용 가능성을 검토한 후 실내 취출온도조건의 완화 가능성과 함께 데이터센터 운영을 위한 적정 온도조건 제시하였다.

Park et al.[50]은 데이터센터에서 외기도입 냉방시스템 적용 시 필터유형별 에너지 소비량을 분석하기 위하여 기존 중앙냉수 냉방시스템과 필터차압을 고려하지 않은 외기도입냉방시스템의 에너지 소비량을 동적 에너지 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 또한 에너지 소비량 감소율 및 PUE(Power Usage Effectiveness)를 이용하여 적용 필터별 차압변화에 따른 에너지 소비량 분석 결과값을 검토하였다. 냉방시스템 및 적용 필터별 PUE를 산정한 결과, 외기도입 냉방시스템을 적용할 경우 PUE가 개선되어 외기도입 냉방시스템은에너지 소비량을 감소시켰다.

Hwang et al.[74]은 생물안전 3등급 밀폐시설(Biosafety Level 3 Laboratory, BSL3)에서 외기부하의 증가에 따른 유지운영비 문제와 기존의 각실 급배기방식 적용으로 인한 과다한 초기 건설공사비 문제의 개선방안을 제시하기 위하여 멀티죤 시뮬레이션 프로그램인 CONTAM 3.0을 사용하여 각실 및 특정실 급배기공급 시스템을 비교분석하였다. 또한 급배기방식 변경 시에도 BSL3의 실별 순차적인 음압 유지와 실간 차압이 형성되는지를 파악하고, BSL3에서 예기치 않은 생물재해가 발생될 경우 실험실 내에서 미생물 오염원의 확산으로 생물안전에 문제가 없는지를 위해성 평가를 수행하였다. 분석결과 제안한 특정실 급배기시스템은 병원균의 외부확산이 방지와 동시에 초기 건설비를 최대 약 22% 정도 절감할 수 있다고 보고하였다.

Kim et al.[6]은 공동주택 단위세대의 급수・급탕배관 시공 시에 대부분 사용되는 이중관 공법에서 발생되는 슬래브의 압축강도 약화, 급탕배관의 열손실 증가 등의 문제를 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.

Park et al.[83]은 도전성 탄소발열 전기 융착 이음쇠 및 PPR(Propylene Random Copolymer) 유리섬유 복합관이 난방용 주 배관으로 적용성을 평가하기 위하여 개선된 배관시스템을 아파트 현장에 설치하여 압력 및 온도에 따른 변형도 및 누수여부를 실측하여 적성가능성을 제시하였다.

Won et al.[32]은 국내사례의 BIM(Building Information Modeling) 모델들을 조사하여 설계 및 시공정보 중에서 시설물 유지관리 시스템(Facility Management System, FMS) 구축에 필요한 정보를 선정하여 이를 유지관리를 위한 BIM 데이터 입력기준안을 제시하였다.

Sohn and Hwang[57]은 지하철역을 재난대비용 임시 거주공간으로 활용하는 데 필요한 지침과 평가항목 등을 제시하였다. 이를 위하여 지하철 이용 승객과 위생기구 현황 그리고 위생기구별 사용시간 등을 분석하여 지하철역에 설치된 실제 변기 수와 필요 변기 수의 차이만큼 이재민을 수용할 수 있다는 가정 하에 지하철역의 이재민 수용능력을 평가하였다.

Kim et al.[96]은 가구류 제품의 오염물질방출량을 측정하기 위하여 현재 사용되고 있는 여러 방법을 일원화하는 방안을 제시하기 위하여 가정용 가구를 대상으로 대형챔버법과 소형챔버법으로 시험하여 시험방법 간의 상관성 등을 비교 분석하였다. 또한 가구류 제품에 대한 국내외 제반시험 및 평가방법의 체계적 분석과 기존 가구분류 체계를 조정 및 보완하였다.

7. 결 론

2013년 설비공학 논문집에 발표된 논문을 열유동, 열전달, 냉동, 건축설비, 건축환경 등 5개 분야로 분류하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 열유체 분야에서는 주로 유체기계, 배관 및 배관부품과 관련된 유동해석에 대한 연구, 연료전지, 냉각 및 공조시스템 분야의 연구가 많았고, 원자로 내부 유동과 ORC 발전 관련 유동, 이상유동, 그리고 창문을 포함한 건축물 주위의 열 및 유동해석, 가전제품 관련연구 등이 기존에 비하여 새로운 분야로 추가되었다.

(2) 열전달 일반분야에서는 건축물 축열성능 향상을 위한 Octadecane/xGnP을 이용한 SSPCM의 제작 및 그 열적 성능 분석, CO_2-hydrate혼합물의 열전달계수 및 압력강하에 대한 TRAPP 모델제시, E-glass와 HYPERLITE 단열재의 수분 흡수량에 따른 열전도계수 변화에 대한 실험과 모델링, 국내 건축용 단열재에 대한 장기 경지변화에 따른 열물성 자료 제시, 냉장고의 진공 단열재 평가를 위해 열유속계의 위치 최적화 및 진단 향상의 결과 보고, 고성능 진공복층유리와 양명 low-e 3중 유리의 항결로선의 비교 실험, 지열시스템의 채열 및 방열에 의한 지중온도의 변화범위 검토를 위한 3차원 지하수 및 지중열이동 해석모델, 표면온도 측정을 위한 온도센서 개발, 히트펌프 건조기용 증발기의 핀피치에 대한 성능 조사, 로터리 제습기의 해석모델 개발에 대한 연구가 진행되었다. 비등 및 응축열전달 분야에서는 사각 평판 표면, 26 fpi low-fin 표면에서 임계열유속 측정에 대한 연구가 진행되었고, 이종 PCM의 배치에 따른 상변화 특성에 대한 CFD 계산, 수평미세관 내경 3.0 mm 관길이 2,000 mm인 스테인레스스틸 튜브에 대한 암모니아의 비등 열전달 특성이 보고되었다. 산업용 열교환기 분야에서는 핀튜브형 흡착탑에서 열 및 물질전달 수치해석, 실리카젤의 입자 사이 물질전달 모델 2가지에 대한 검증, 사인 웨이브 핀-관 열교환기에 대한 실험 및 풍속에 따른 열전달 특성, 루버휜의 설계 인자가 성능에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었다.

(3) 냉동사이클 분야에서는 팽창밸브를 이용한 동시 냉난방 시스템의 용량제어, 기/액 바이패스를 이용한 정속 압축기의 용량제어, 2단 스크류 압축 열펌프의 운전제어, 전기자동차용 이중 열원 열펌프의 최적운전 등 시스템의 최적 운전에 관한 실험적 연구가 진행되었으며 냉매 분야에서는 CO_2 급탕기의 최적설계 및 운전, R1234yf의 자동차용 에어컨 drop-in 성능시험과 R436b의 정수 냉각기 drop-in 성능시험 등의 대체냉매 적용연구와 열전소자를 이용한 대체냉동 기술에 대한 연구가 진행되었다. 모델링 및 제어 분야에서는 우선 현장 타설 파일을 이용한 지열 열펌프 시스템의 장·단기 성능예측, 탑차용 R744 냉장시스템의 착상조건 성능예측, R744를 저온 열매체로 사용한 R404a 냉동기의 성능예측, 기류변화에 따른 개방형 전시케이스의 성능 예측 등 이론적 모델을 이용한 시스템의 성능예측 연구와 평가함수에 기반한 압축기 PI 제어, 적분형 제어기의 시스템 에어컨 제어 성능, 보일러+열펌프 하이브리드 시스템의 동특성 모델 개발 등 최적 제어법의 개발을 위한 연구들이 수행되었다.

(4) 건축기계설비분야에서는 냉난방, 공조설비, 환기설비, 에너지자원화 설비 그리고 기타설비 등 시스템 설계에서 성능평가에 이르는 다양한 연구가 수행되었고, 열펌프, 지열, 태양광, 신재생에너지 등 에너지자원화에 관한 연구가 많이 늘어났다.

(5) 건축환경분야는 건물의 환기 및 기밀성능, 건물에너지사용량 절감, 특수시설의 공조시스템, 급배수 시스템의 개선, 시설물유지관리를 위한 BIM데이터 입력기준개발, 지하철역의 임시대피인원 수용능력 산정, 가구의 오염물질방출량 시험 등에 관한 다양한 연구가 수행되었다.

References

1. Oh, B.-K., Chung, M.-H., Won, J.-S., and Lee, H., 2013, A study of exhaust air flow for cooling load reduction

ⓒ SAREK

from interior lighting, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 1-6.
2. Park, D.-I., Chung, K.-S., Kim, Y.-I., and Kim, S.-M., 2013, A study on the development of oxygen cluster ion generator for sterilization of bio clean room(BCR), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 7-13.
3. Yoon, S.-H., Jang, H.-I., Kim, K.-A., Yu, K.-H., and Suh, S.-J., 2013, An energy performance evaluation of UFAD system under the various conditions of thermal load, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 14-19.
4. Park, H. V. and Yun, R., 2013, Studies on performance of CO_2 water heater by numerical modeling, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 20-27.
5. Sohn, B., Jung, K.-S., and Choi, H., 2013, Performance prediction of geothermal heat pump(GHP) system using cast-in-place energy piles, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 28-36.
6. Kim, M.-S., Kim, Y., and Chung, K.-S., 2013, A study on the status and improvement of double pipe system in apartment buildings, Vol. 25, No. 1, pp. 37-42.
7. Jeon, S.-T. and Cho, J.-P., 2013, Effect of pitch angle and blade length on an axial flow fan performance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 43-48.
8. Kim, M.-K., Park, H.-S., and Song, K.-D., 2013, Evaluation and analysis of building energy rating system according to insulation performance of building envelope in regional and building form of apartment house, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 49-54.
9. Kim, K.-C., Song, G.-S., Kim, H.-T., Yoo, K.-H., Shin, D.-K., and Park, D.-J., 2013, An assessment of energy consumption in steam-humidification and water-spray-humidifi cation-type outdoor air conditioning systems for semiconductor manufacturing clean rooms, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 55-63.
10. Lee, Y. T., 2013, Porometric study on the gas diffusion layer in PEMFCs using method of standard porosimetry, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 64-69.
11. Heo, H.-J., Jeong, J.-U., Kim, J.-D., Choi, J.-B., Choi, S.-C., and Hwang I.-J., 2013, Qualitative RBI analysis in considered with uncertain variables by probabilistic distribution, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 70-78.
12. Jung, Y.-H., Chang, H.-J., and Seo, J.-H., 2013, Server room temperature condition in data center with cold aisle containment system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 79-84.
13. Jeong, S.-K. and Hong, K.-H., 2013, Optimal PI controller design for refrigeration system considering disturbance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 85-93
14. Chung, K.-S., Kim, C.-H., and Cho, H.-S., 2013, Effect of rear-vortex of a convergent-divergent duct on the flow acceleration installed in a vertical structure, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 94-100.
15. Choi, K.-I. and Oh, J.-T., 2013, Boiling heat transfer of ammonia inside horizontal smooth small tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 101-108.
16. Kim, D.-S. and Lee, D.-Y., 2013, Development of a general analytical model for desiccant wheels, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 109-118.
17. Yoo, S.-Y. and Kim, T.-H., 2013, A study on the effects of water absorption on the thermal conductivity of insulation materials, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 119-125.
18. Kim, S. H., Jeong, S.-G., and Kim, S. M., 2013, Preparation and thermal properties of octadecane/xGnP shape-stabilized phase change materials to improve the heat storage performance of buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 126-130.
19. Bae, H. H., Lee, D. H., Lee, S. H., Kim, B. S., and Kim, Y. C., 2013, A study on the performance improvement of a simultaneous heating and cooling water source heat pump system by controlling of the refrigerant flow rate in an outdoor unit, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 131-136.
20. Ahn, J. H., Joo, Y. J., Yoon, W. J., Kang, H., and Kim, Y. C., 2013, An experimental study on the performance characteristics of hot-gas and liquid bypass heat pump systems for capacity modulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.

25, No. 3, pp. 137-142.
21. Lee, Y. H., Kang, D. G., Seo, H., and Jung, D. S., 2013, Pool boiling heat transfer coefficients of R1234yf on various enhanced surfaces, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 143-149.
22. Lee, J.-M., Cho, S., Lim, S.-H., and Song, K.-D., 2013, Analyses of energy savings and night heating performance of a movable thermal insulation shuttered window, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 150-155.
23. Kong, H. J., Kang, S. J., Yun, K. S., and Lim, H. J., 2013, An experimental study on the cooling and heating performance of a residential ground source heat pump system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 156-163.
24. Kim, Y.-J., Jung, C. W., Lee, Y. J., Kim, S. S., and Kang, Y. T., 2013, Performance improvement of Cured-In-Place-Pipe(CIPP) process by boiler waste heat recovery, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 164-167.
25. Park, J.-T., Lee, Y.-S., Kim, J. Y., Chae, K.-J., and Yang, H.-J., 2013, A study on the operating control of a heat pump system with screw compressors, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 168-172.
26. Park, H. V., Yin, R., and Kim, Y. D., 2013, Optimum design of middle-Sized CO_2 water heater, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 173-179.
27. Woo, H. S., Ahn, J. H., Oh, M. S., Kang, H., and Kim Y. C., 2013, Study on the heating performance characteristics of a heat pump system utilizing air and waste heat source for electric vehicles, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 180-186.
28. Park, Y. H., Park, J. H., Park, J. C., and Rhee, E. K., 2013, A study on the application of small wind turbine system in super high-rise building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 187-193.
29. Kwon, S. W. and Hong, J. K., 2013, An experimental study on the deodorization performance of exhaust filter unit in a laboratory animal breeding facility, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 194-200.
30. Cho, H. H., Lee, H. S., and Park, C. S., 2013, Study on the performance improvement for an automobile air conditioning system using alternative refrigerant R1234yf, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 201-207.
31. Eom, H. S., Yoon, C. S., and Kim, Y. M., 2013, Experimental study on the operating characteristics of the organic Rankine cycle, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 208-215.
32. Won, J.-S., Cho, G.-H., and Ju, K.-B., 2013, Development method of BIM data modeling guide for facility management： Focusing on building mechanical system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 216-224.
33. Song, J. H., Jung, H. W., Park, J. W., Kang, H., and Kim, Y. C., 2013, Numerical study of the performance characteristics of a cascade heat pump water heater at low ambient temperatures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 225-232.
34. Yun, R., 2013, Thermophysical properties of CO_2 and CO_2-Hydrate mixture and in-tube heat transfer characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 233-239.
35. Sung, T.-K., Lee, C.-S., Kim, J.-M., Joung, C.-B., and Kim, B.-C., 2013, Development of solar daylighting system using parabolic mirrors, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 240-245.
36. Kye, S.-H. and Kim, D.-S., 2013, Flow characteristics of a gas-liquid slug flow in small vertical tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 246-254.
37. Kim, J.-Y., Shin, H.-J., Kim, J.-S., and Joo, S.-H., 2013, Study on induction capability of chilled beam HVAC system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 255-260.
38. Lee, B. U. and Lee, J. K., 2013, Numerical investigation on wall flow control for preventing contaminants deposition inside a duct, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 261-268.
39. Lee, G. H., Bang, Y. S., Woo, S. W., Kim, D. H., and Kang, M. K., 2013, Numerical analysis for the effect of flow skirt geometry on the flow distribution in the scaledown APR+, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 269-278.
40. Choi, B.-N., Yi, F., Sin, H.-M., and Kim, N.-H., 2013,

ⓒ SAREK

Air-side performance of fin-and-tube heat exchangers having sine wave fins and oval tubes, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 279-288.
41. Yoo, K.-P., Han, M. S., Kim, J.-D., and Choi, W.-T., 2013, A computational study on the cooling performance of a near infrared radiative heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 289-296.
42. Nam, Y. J. and Chae, H.-B., 2013, Prediction of the heat exchange rate for a horizontal ground heat pump system using a ground heat transfer simulation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 297-302.
43. Hwang, I. S. and Lee, Y. L., 2013, A study on performance test and fabrication of vacuum glazing with numerical analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 303-309.
44. Kwak, Y.-H., Cheon, S.-H., Jang, C.-Y., and Huh, J.-H., 2013, Real-time energy demand prediction method using weather forecasting data and solar model, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 310-316.
45. Lee, S.-K. and Lee, J.-K., 2013, Effect of the orifice area ratio on the exit flow of a multi-perforated tube, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 317-323.
46. Lee, J. K., 2013, Effect of inlet geometries on the two-phase flow distribution at header-channel junction, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 324-330.
47. Hahm, H. C. and Park, C. Y., 2013, Experimental study on the performance of an electric component liquid cooling system with variation of the waterblock internal shape, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 331-337.
48. Kwak, H.-J., Jang, H.-I., Lee, H.-S., Eom, J.-Y., and Suh, S.-J., 2013, Correlation analysis between fenestration energy consumption efficiency rating system and building energy consumption, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 338-345.
49. Cho, J. K., Shin, S. H., Kim, J. H., Hwang, D. K., and Hong, H. K., 2013, Development of an HVAC&R systems energy evaluation methodology and simulation program for office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 363-370.
50. Park, S. H., Seo, J. H., Jung, Y.-H., Chang, H.-J., and Hwang, S.-H., 2013, Energy consumption analysis based on filter differential pressure when adopting an air-side economizer system for a data center, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 371-376.
51. Kim, K.-H., Cho, Y.-S., and Kim, H.-J., 2013, Investigation of local flow parameters caused by flow acceleration corrosion downstream of an orifice in a piping system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 377-385.
52. Oh, S.-H., Yun, R., and Cho, Y., 2013, Cooling and heating operation characteristics of raw-water source heat pump and air source heat pump in water treatment facility, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 386-391.
53. Lee, W.-J., Kang, E.-C., Lee, E.-J., Oh, B.-C., and Shin, U.-C., 2013, EA study on the operation performance of central plant equipment according to part load characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 392-397.
54. Kim, Y. C. and Choi, J. M., 2013, Numerical simulation of a system heat pump adopting an integral optimum regulating controller, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 398-405.
55. Shin, Y. G., Kim, J. H., and Yoo, B. J., 2013, Dynamic modeling and simulation of a hybrid heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 406-412.
56. Chang, H.-S., Song, Y.-K., and Han, Y.-S., 2013, Performance analysis of an ORC system for two different working fluids, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 413-417.
57. Sohn, B. H. and Hwang, E.-K., 2013, Subway station's seating capacity of temporary evacuees from disastrous situation through analyzing the number of toilets, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 7, pp. 418-426.
58. Nam, Y. J., 2013, Numerical analysis of the effect of ground source heat pump systems on the underground temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 427-431.
59. Jeong, S.-G., Yu, S. G., Jang, S. A., Park, J.-S., Kim, T. H., Lee, J.-H., and Kim, S. M., 2013, Preparation of shape stabilized PCM using porous materials for application to buildings, Korean Journal of Air-Condi-

tioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 432-437.
60. Nam, H.-K., Bai, S. E., Bai, C.-H., Ko, J.-S., Jin, B.-J., and Oh, J.-C., 2013, A study on the reliability of cooling water systems using R436B, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 438-442.
61. Song, S. W., 2013, An experimental study on variable-speed control of an ground-water circulation pump for a ground source multi-heat pump system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 443-449.
62. Park, Y. H., Kim, Y. J., Jung, Y. M., and Park, W.-G., 2013, Study on the internal flow of an electric oven with variation of steam outlet position, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 450-456.
63. Kwon, O. K. and Chung, J. D., 2013, Numerical analysis of the heat and mass transfer in a fin tube type adsorber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 457-463.
64. Shin, Y. G., Kim, E. J., and Kim, T. H., 2013, Development of a renewable energy facility design and its simulation case study, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 464-470.
65. Ha, J. S., 2013, A study on the heat flux meter location for the performance test of a refrigerator vacuum insulation panel, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 471-476.
66. Kim, H. K., Lee, D. G., Peck, J. H., and Kang, C. H., 2013, Numerical study of heat transfer with selective phase change in two different phase change materials, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 477-483.
67. Kang, D.-G., Lee, Y. H., and Jung, D. S., 2013, Pool boiling heat transfer coefficient of HFC32/HFC152a on a plain surface, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 484-492.
68. Kim, G. T., Yoo, J.-H., Hwang, H.-J., and Kim, K.-S., 2013, A study on the calculation method of infiltration for detached houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 493-498.
69. Kim, S. H., Myoung, C. W., and Cho, H. H., 2013, Performance simulation of a R744 refrigeration system in a refrigerator truck under a frost condition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 499-505.
70. Kim, H., 2013, Ventilation measurement with PFT in three-storied detached house, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 506-515.
71. Kwon, Y. C., Kim, K. Y., Lee, S.-H., and Kwon, J. T., 2013, Experimental study on the heat transfer capacity and dehumidification performance of a parallel flow evaporator for a heat pump dryer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 516-521.
72. Lee, Y. H., Kang, D.-G., and Jung, D. S., 2013, Heat transfer characteristics of spray cooling up to critical heat flux on a low-fin enhanced surface, Vol. 25, No. 9, pp. 522-528.
73. Jeon, B.-H., Kim, J.-W., Lee, S.-K., Lee, Y.-J., and Ahn, Y.-C., 2013, A study on the dew condensation according to the operational conditions of a heat-recovery ventilator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 529-533.
74. Hwang, J. H., Hong, J. K., and Ju, Y. D., 2013, A study on the risk assessment and reduction of initial construction cost in a biosafety laboratory according to improvement of supply and exhaust method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 534-539.
75. Han, S.-Y., Kim, S.-H., Jang, H.-I., Lee, S.-H., and Suh, S.-J., 2013, An experimental study on the applicability of a multiplex heat pump system in the kindergarten, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 540-547.
76. Oh, H.-K., Son, C.-H., Yi, W.-B., and Jeon, M.-J., 2013, Performance analysis of R404A refrigeration system with internal heat exchanger using R744 as a secondary refrigerant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 548-554.
77. Kang, B. H., Yun, C. H., and Ahn, J., 2013, Impact of residential CHP systems on greenhouse gas emissions in Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 555-561.
78. Kim, J.-Y. and Kim, J.-S., 2013, Study on numerical model of leakage flow at gap between compartments in a building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 562-567.
79. Choi, S.-H. and Wang, J.-N., 2013, A method of residual stress improvement by plastic deformation in the pipe welding zone, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 568-572.

ⓒ SAREK

80. Won, J.-S. and Nam, J.-W., 2013, The condensation risk assessment of vacuum multi-layer glass and triple glass using the temperature difference ratio, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 573-577.
81. Sung, S.-K. and Ahn, K.-C., 2013, Performance variation of the refrigerated display case with air curtain in accordance with back pressure condition, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 578-584.
82. Byun, J.-K., Yun, S.-H., Nam, K.-H., Choi, Y.-D., and Shin, J.-K., 2013, A study on the development of a multi-heat supply control algorithm in a district heating apartment building in accordance with the variation of outdoor air temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 585-594.
83. Park, Y., Ahn, Y.-C., Kim, H.-D., Kim, J.-S., Goark, Y.-S., and Kim, Y.-K., 2013, An applicability estimation of plastic vertical pipes using electric fusion fittings through measurement, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 595-599.
84. Chae, H.-B., Nam, Y. J., and Park, Y.-B., 2013, An economic analysis and performance prediction for a ground heat pump system with barrette pile, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 600-605.
85. Lee, Y. G. and Shin, C. W., 2013, The air leakage characteristics and airtightness performance of a newly built apartment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 606-611.
86. Kwon, Y. P., 2013, A study on the development of a circular CAV damper, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 612-616.
87. Choi, B.-H. and Kang, J.-S., 2013, The thermal performance of building insulation materials according to long-term aging, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 617-623.
88. XU LEI, Kim W. U., Lee, S.-R., and Kim, Y. C., 2013, The discharge performance optimization of a forced convection type PCM refrigeration module used in a refrigeration truck, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 624-630.
89. Song, J.-K., Cho, G.-H., and Ju, K.-B., 2013, A study on the rule development for BIM-based automatic checking in a duct system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 631-639.
90. Lim, C. H., Kim, D. W., Kim, Y. C., and Seo, K. J., 2013, Study on the cooling performance of single and cascade refrigeration systems using thermoelectric modules, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 641-646.
91. Lee, H. H., Lee, S. J., Song, J. H., Kim, S. M., Lim, J. H., and Song, S.-Y., 2013, Study on the characteristics of thermal output and thermal storage in a thermally activated building system with phase change material, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 647-653.
92. Ryu, K. J. and Lee, S.-S., 2013, Louvered fin heat exchanger : optimal design and numerical investigation of heat and flow characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 654-659.
93. Ahn, S. H., Hong, S. W., Kwon, O. K., and Chung, J. D., 2013, Validity of inter-particle models for the mass-transfer kinetics of a fin-tube-type adsorption bed, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 660-667.
94. Kim, J. H., Yoo, J. S., and Park, J. I., 2013, Fabrication and performance investigation of surface temperature sensor using fluorescent nanoporous thin film I, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 668-673.
95. Kim, J. H., Yoo, J. S., and Park, J. I., 2013, Fabrication and performance investigation of surface temperature sensor using fluorescent nanoporous thin film II, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 674-678.
96. Kim, S. H., Lee, Y. G., and Seo, Y. M., 2013, Development of correlation analysis on the test methods of furniture-like products, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 679-684.
97. Ahn, B.-C. and Song, J.-Y., 2013, A study on the operational strategies for outdoor air temperature change characteristics in a radiant floor heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 685-692.
98. Lee, K.-H., 2013, Comparative study on size optimization of a solar water heating system in the early design phase using a RETScreen model with TRNSYS model optimization, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 693-699.