

공동주택 적용을 위한 액체식 제습 중앙공조시스템의 여름철 현장성능 실증연구

Field Study of a Liquid-Desiccant Central Air-Conditioning System for an Apartment Building

이재희(Jae-Hee Lee)¹, 김보선(Bosun Kim)², 추형욱(Hyungwook Chu)³, 양지훈(Jeehoon Yang)³, 남현민(Hyun-Min Nam)⁴, 이병두(Byoungdoo Lee)⁵, 정재원(Jae-Weon Jeong)^{6†}

¹한양대학교 건축공학과 박사과정, ²엔트 주식회사 이사, ³엔트 주식회사 책임연구원, ⁴현대건설 책임연구원,

⁵현대건설 건축주택연구팀장, ⁶한양대학교 건축공학과 교수

¹Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

²Managing Director, AENT CO., LTD., Bucheon, 14449, Korea

³Senior Researcher, AENT CO., LTD., Bucheon, 14449, Korea

⁴Senior Researcher, Hyundai E&C, Seoul, 03058, Korea

⁵Team Leader, Hyundai E&C, Seoul, 03058, Korea

⁶Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

(Received October 27, 2023; revision received November 22, 2023; Accepted: November 27, 2023)

Abstract As an alternative to a conventional vapor compression cooling system, a liquid-desiccant central air-conditioning system controlling air temperature and humidity independently, was installed in an apartment building testbed located in Yongin, South Korea. Indoor and supply air conditions of each room were compared, and indoor thermal comfort and energy performance were evaluated under hot and humid weather to verify applicability as a central air-conditioning system for an apartment building. The proposed system can achieve high thermal comfort satisfaction in all rooms, in terms of indoor temperature and humidity distribution and indoor air velocity, when operating for 45 h under the hot and humid weather in summer. The seasonal energy efficiency ratio was estimated to be 1.91, which will increase to 3.40 via the optimization of duct work and the use of energy-efficient fans. Based on the field test results, it can be concluded that the proposed liquid-desiccant system is highly applicable as a central air-conditioning system for multizone apartment buildings.

Key words Central Air-Conditioning System(중앙 공조시스템), Energy performance(에너지 성능), Field-study(현장실증연구), Indoor thermal comfort(실내 열 쾌적성), Liquid-desiccant(액체식 제습 기술)

† Corresponding author, E-mail: jjwarc@hanyang.ac.kr

기호설명

h : 공기 엔탈피 [kJ/kg]

$Loss$: 에너지 손실량 [kW]

$\dot{m}$: 공기 질량 유량 [kg/s]

PMV : 실내 열 쾌적성 [-]

$\dot{Q}_e$: 시스템에서 처리하는 제습냉방열량 [kW]

$SEER$: 시스템 계절 에너지 효율 [kWh/kWh]

$\dot{W}_{tot}$: 시스템 총 소비전력 [kW]

EA : 배기(Exhaust Air)

OA : 외기(Outdoor Air)

RA : 재순환공기(Return Air)

SA : 급기(Supply Air)

1. 서 론

제로에너지건축물 구현 및 건물 분야 탄소중립 실현을 위해 공조시스템 에너지 소비를 절감하려는 노력이 지속되고 있다. 특히 건물 단열 성능 개선 및 고효율 기기 사용 등을 통해 실내 현열 부하를 감소시켜 여름철 냉방 에너지를 절감해왔다.⁽¹⁾ 반면, 실내 재실자에 의한 잠열 부하는 지속되고 있어 공조시스템에서 실내 습도를 효율적으로 제어하는 것이 중요해지고 있다.⁽²⁾ 하지만 기존 증기압축냉각방식은 공기의 온도와 습도를 동시에 제어하므로 제습을 위해 공기를 노점온도 이하로 과냉각하여 응축제습한 후 이를 재열하고 있어 실내 열 쾌적성 및 에너지 성능 측면에서 비효율적으로 운전되고 있다.⁽³⁾

이에 대한 대안 중 하나로 제습수용액과 공기 사이의 수증기 분압 차이를 기반으로 공기의 온도와 습도를 분리 제어하여 실내 잠열 부하를 효율적으로 처리하는 액체식 제습시스템이 각광받고 있다.⁽⁴⁾ 액체식 제습시스템은 이론 해석, 에너지 시뮬레이션, 실험실 수준의 성능 분석 등의 연구는 다수 수행되어왔으나 현장성능 실증 연구는 상대적으로 활발히 수행되고 있지 못한 실정이다.⁽⁵⁾ 관련 선행 실증연구로써 Zhao et al.⁽⁶⁾은 액체식 제습 기반 외기전담시스템을 중국 Shenzhen시의 사무실 건물에 설치하여 여름철 다양한 외기 조건에 대해 제안 시스템이 높은 실내 열 쾌적성을 달성할 수 있음을 실증했다. 미국 에너지성은 New Jersey에 위치한 수영장과 Hawaii에 위치한 식품 마켓에 액체식 제습시스템을 적용하였을 때 기존 증기압축냉각 기반 공조시스템 대비 월 평균 소비 전력을 각각 50, 64% 절감할 수 있음을 보고하였다.⁽⁷⁾ 또한, Guan et al.⁽⁸⁾은 중국 Xiamen시의 공장에 액체식 제습시스템을 적용했을 때 기존 증기압축냉각 기반 공조시스템 대비 연간 에너지 소비량을 23.2% 절감할 수 있음을 입증했다.

액체식 제습시스템의 실증 연구는 single-zone에 대한 현장성능만을 분석해왔으며, 중앙공조시스템으로써 공동주택 multi-zone에 대한 적용가능성 실증 연구는 다수 수행되지 못했다. 또한, 실내 열 쾌적성과 에너지 성능을 함께 실증하여 평가한 연구는 미미하다. 본 연구에서는 공동주택 multi-zone 적용을 위한 액체식 제습 중앙공조시스템을 제안하고 이를 대한민국 용인시의 공동주택 테스트베드에 설치하였다. 여름철 고온다습한 기후에서 각 실 별로 실내 공기 및 급기 온습도 분포를 비교하고 실내 열 쾌적성 및 에너지 성능을 평가하여 공동주택 중앙공조시스템으로써의 적용가능성을 실증하고자 한다.

2. 액체식 제습 중앙공조시스템

제안 시스템은 Fig. 1(a)과 같이 제습부 및 재생부로 구성된 액체식 제습 유닛, 수용액 히트펌프, 그리고 공랭식 히트펌프로 이루어져 있다. 외기와 각 실의 재순환공기가 혼합된 공기가 제습부로 도입되어 제습수용액과의 수증기 분압 차에 의해 제습되며, 외기의 배기 유로를 생략하여 신선공기 도입에 의한 실내 양압 상태를 유지한다. 재생부에서는 수증기 분압 차를 기반으로 수용액 내 수분을 외기 중에 방출하여 수용액 농도를 증가시킨다. 제습부와 재생부 사이의 수용액 혼합 유로를 통해 제습 과정 이후의 저농도 수용액과 재생 과정 이후의 고농도 수용액을 소량 혼합하여 제습 운전에 적합한 수준으로 수용액 농도를 유지한다. 공기와 수용액 사이의 수증기 분압 차가 증가할수록 제습 및 재생 성능이 향상되며, 따라서 수용액 히트펌프의 증발기에서는 제습수용액을 냉각시켜 수용액의 수증기 분압을 낮추고 응축기에서는 재생수용액을 가열시켜 수용액의 수증기 분압을 높인다. 한편, 재생부 전단에 보조 응축기를 배치하여 수용액 히트펌프 내 남은 응축열이 있을 경우 이를 공기 중에 완전히 방출한다. 공랭식 히트펌프의 증발기에서는 제습 이후 건조 공기를 현열 냉각하며, 응축열은 재생부 출구 측 공기에 방출한다. 제안 시스템의 프로토타입은 Fig. 1(b)과 같이 제작되었으며, 전체 크기는 가로 0.98 m, 세로 0.45 m, 높이 2.18 m이고 두 히트펌프의 총 정격냉각열량은 7.5 kW이다. 두 히트펌프 모두 R410A 냉매를 사용하였으며, 제습수용액은 온도 15~20℃, 농도 25~30% 상태의 염화리튬 수용액을 사용하였다.

제안 시스템은 실내 목표 온도 및 습도 설정을 기반으로 각 구성요소의 온오프 자동제어를 통해 총 네 가지 운전모드로 작동한다. 현재 실내 온도 및 습도가 목표 온도 및 습도보다 높을 경우 모든 구성요소를 활성화하여 냉방제습모드로 운전한다. 현재 실내 습도만 목표 습도보다 높을 경우 공랭식 히트펌프 가동은 비활성화하여 냉방 운전은 중단하고 제습모드로 운전한다. 현재 실내 온도만 목표 온도보다 높을 경우

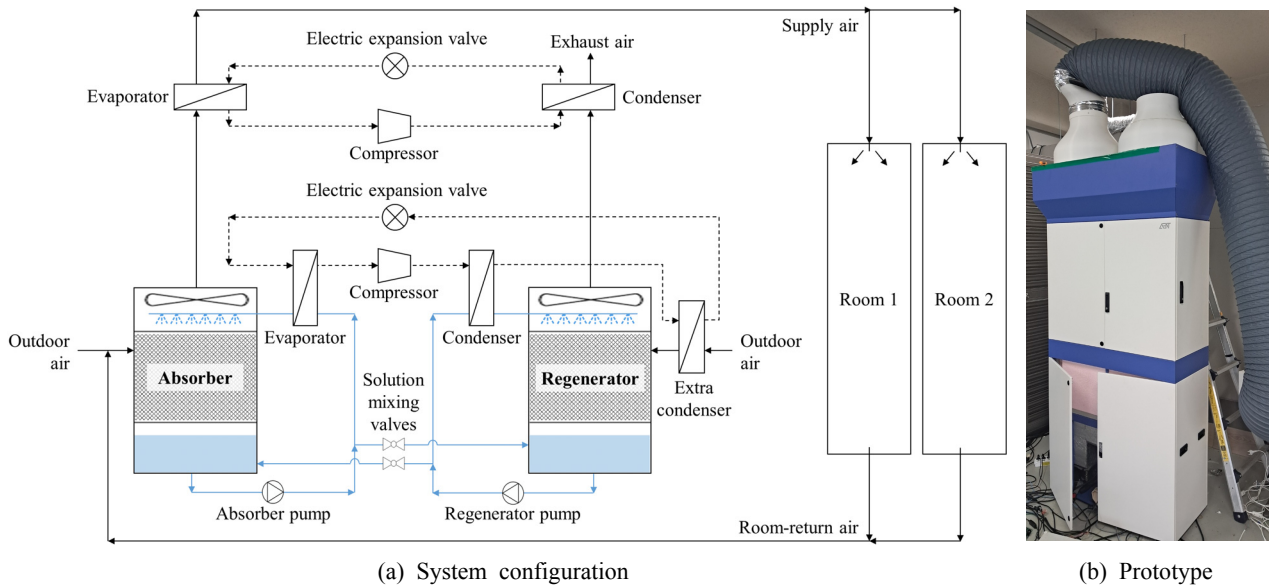


Fig. 1 Proposed liquid-desiccant central air-conditioning system.

수용액 히트펌프 및 수용액 펌프 가동을 비활성화하여 제습 운전은 중단하고 냉방모드로 운전한다. 현재 실내 온도 및 습도가 목표 온도 및 습도를 모두 만족할 경우 공기 팬만 가동하여 제습과 냉방 운전은 중단하고 실내 환기만을 제공한다.

3. 여름철 현장 실험

3.1 테스트베드 구축

본 연구의 여름철 현장 실험은 경기도 용인시에 위치한 철근콘크리트구조의 공동주택 테스트베드에서 수행되었다. 동향에 위치해 있으며, 전용면적은 59 m^2 로 거실과 침실 3개로 구성되어 있다(Fig. 2). 테스트베드 평면도를 통해 프로토타입 설치 및 덕트 유로 구성을 파악할 수 있다(Fig. 3). 침실 1의 실외기실에 프로토타입을 설치한 후, 천장 플래넘 공간에 실내 재순환공기 및 급기 메인덕트를 구축하였다. 라인 디퓨저를 사용하였고 재순환공기 및 급기 디퓨저는 거실에는 각각 두 개씩, 침실에는 한 개씩 설치하였으며, 메인덕트에서 덕트를 분기하여 디퓨저까지 연결시켰다.

3.2 실험 조건

여름철 고온다습한 기후에서 성능을 실증하기 위해 2023년 8월 21일 오전 8시부터 2023년 8월 23일 오전

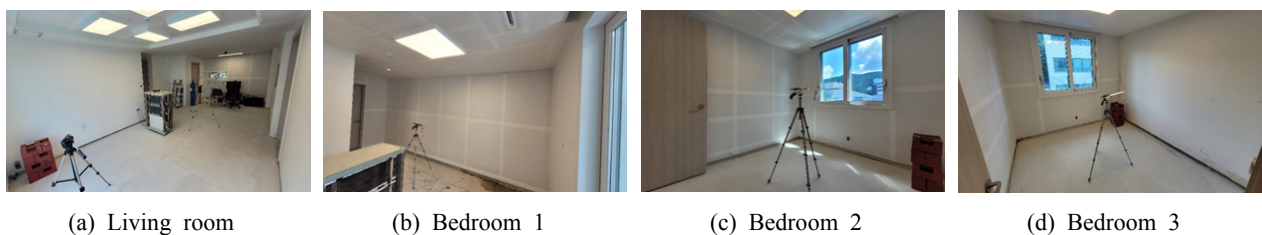


Fig. 2 Test-bed of an apartment building.

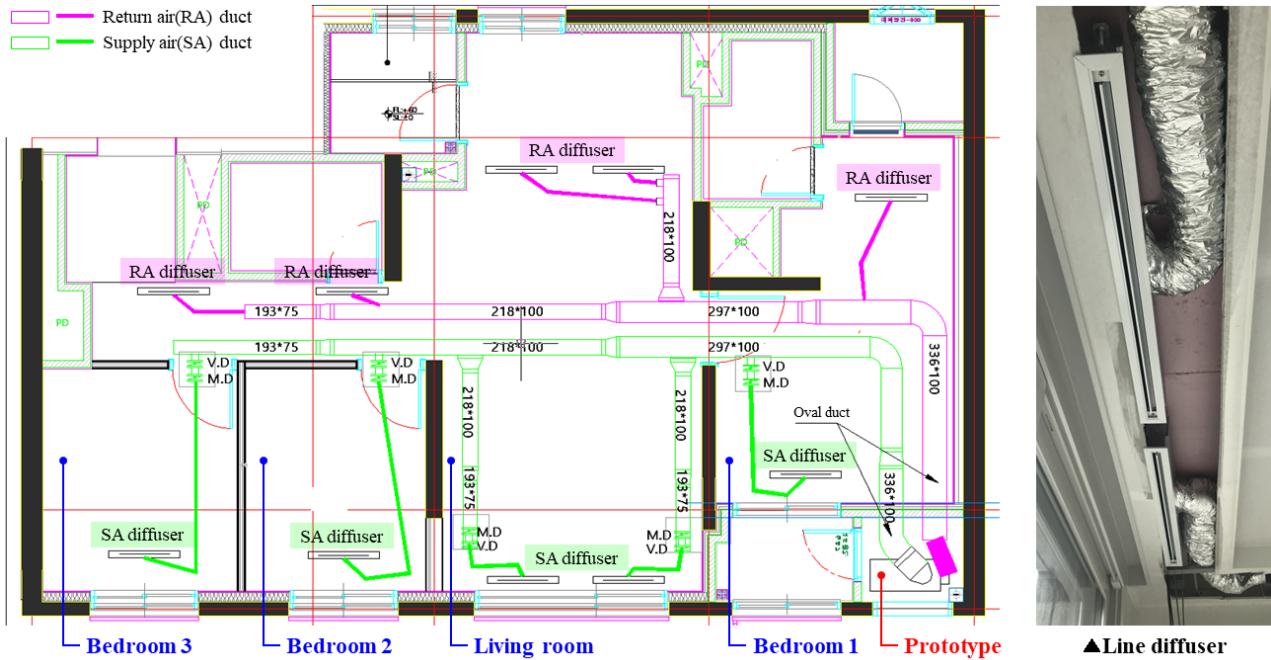


Fig. 3 Floor plan of test-bed.

5시까지 총 45 시간 동안 연속으로 실험을 진행하였다. 일 평균 외기 엔탈피는 21, 22, 23일 각각 79.8, 79.7, 76.1 kJ/kg로 기록되었다. 실내 목표 온도 및 습도는 각각 26℃, 0.0095 kg/kg로 설정하였고 이를 기준으로 편차온도 및 편차습도는 각각 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, ± 0.00125 kg/kg로 설정하였으며, 앞서 기술한 것과 같이 설정 값을 기반으로 각 구성요소의 온오프 자동제어를 통해 네 가지 운전모드가 자동으로 전환 및 구현되도록 하였다. 설치 공간의 제약으로 인해 혼합공기 유로를 구축하지 못한 관계로 본 실험에서는 실내 재순환공기만을 도입하여 제습냉방하였으며, 추후 테스트베드 개선을 통해 혼합공기의 공조 성능을 실증할 계획이다.

3.3 측정 및 평가 지표

각 실의 급기 디퓨저에서 급기 온습도와 면풍속을 측정했으며, 측정한 면풍속을 기반으로 각 실의 급기 풍량을 산정하였다. 각 실의 정중앙에 온습도 센서를 설치하여 실험 기간 동안 각 실의 실내 온습도 분포를 비교하였다. 거실을 대표 공조 공간으로 선정하여 실내 기류와 평균복사온도를 추가로 측정하였으며, ASHRAE Standard 55를 기준으로 실내 열 쾌적성(predicted mean vote, PMV)을 평가하였다.⁽⁹⁾ 대사율(metabolic rate) 및 의복 보온성(clothing insulation)은 여름철 대표 값을 기준으로 각각 1.0 met 및 0.54 clo로 설정하였다.⁽¹⁰⁾ 급기 풍량과 실내 공기 및 급기의 온습도 측정값을 기반으로 시스템에서 처리하는 제습냉방열량을 식(1)과 같이 산정하였다. 전체 실험 기간 중 시스템이 가동되는 시간 동안의 제습냉방열량의 합과 시스템 소비 전력 측정값 기반 총 운전 에너지 소비량을 바탕으로 식(2)와 같이 시스템 계절 에너지 효율(seasonal energy efficiency ratio, SEER)을 평가하였다. 측정기기 사양은 Table 1과 같다.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{SA} \times (h_{RA} - h_{SA}) \quad (1)$$

$$SEER = \frac{\sum_{start}^{end} \dot{Q}_c}{\sum_{start}^{end} \dot{W}_{tot}} \quad (2)$$

Table 1 Measuring instrument specification

Parameter	Type	Range	Accuracy
Air flow rate	Vane	0.4 ~ 30 m/s	$\pm(0.2 \text{ m/s} + 2\% \text{ of mv})$
Air temperature and humidity	NTC	Temperature: -20 ~ 60 °C Relative humidity: 0 ~ 100%	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm(1.8\% \text{RH} + 3\% \text{ of mv})$
Indoor turbulence	Hot wire	0 ~ 5 m/s	$\pm(0.03 \text{ m/s} + 4\% \text{ of mv})$
Globe temperature	Thermocouple	0 ~ 120 °C	Class 1 of EN 60584-1
Input power	Current sensor and transformer	Voltage: AC 480 V Current: 150, 250, 400, 600 A/5A	$\pm 0.5\% \text{ of fs}$

4. 현장 실험 결과 분석

4.1 에너지 밸런스

시스템 전체를 하나의 계로 간주하였을 때 비이상적인 실험 상황에서의 에너지 밸런스는 식(3)과 같이 시스템으로 유입되는 총 에너지양이 시스템에서 유출되는 총 에너지양 및 에너지 손실량의 합과 같은 것으로 정의할 수 있다.⁽¹¹⁾ 에너지 밸런스 오차는 평균 3.62%, 최대 15.7%로 계산되었으며, 이는 실험 상황에서 허용 가능한 수준이므로 본 연구의 실험 결과는 신뢰 가능한 것으로 여겨진다.

$$(\dot{m}h)_{RA} + (\dot{m}h)_{OA} + \dot{W}_{tot} = (\dot{m}h)_{SA} + (\dot{m}h)_{EA} + Loss \quad (3)$$

4.2 실 별 급기 풍량 측정

각 실의 급기 디퓨저에서 측정된 실 별 급기 풍량은 Table 2와 같다. 총 급기 풍량은 712 m³/h로 산정되어 전용면적 59 m²의 목표 풍량인 840 m³/h의 약 85%만을 달성하였다. 이는 덕트 누기 또는 라인 디퓨저 사용 시 취출구의 급격한 형상 변화에 따른 공기 와류 현상에서 기인한 것으로 사료되며, 추후 고정압 팬 교체 또는 덕트 내 병렬 팬을 구비하여 송풍 능력을 더욱 향상시켜야 할 것으로 보인다.

4.3 실 별 실내 온습도 분포 비교 및 실내 열 쾌적성 평가

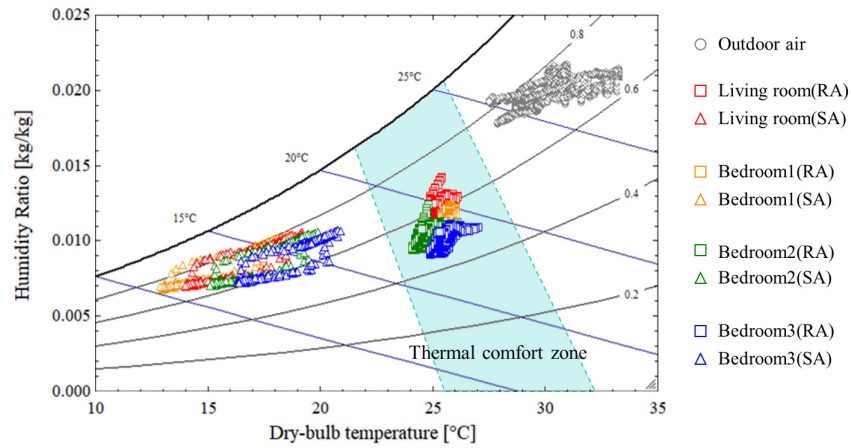
습공기선도에서 시스템 운전에 따른 전체 실험 기간 동안의 실 별 실내 공기(RA) 온습도 분포 비교 및 외기(OA) 및 급기(SA) 온습도 분포를 나타내면 Fig. 4(a)와 같고, 시간에 따른 외기 온습도 변화는 Fig. 4(b)와 같다. 실험 기간 동안 외기 온습도는 27.5 ~ 33.3 °C, 0.0178 ~ 0.0218 kg/kg으로 분포하여 고온다습한 여름철 날씨에서 실험을 진행하였음을 알 수 있다. 실험을 45시간 진행하는 동안 모든 실에서 실내 온습도는 ASHRAE Standard 55에서 명시하는 실내 열 쾌적 구간(thermal comfort zone)을 만족하는 것으로 나타났다.⁽¹⁰⁾ 이는 급기 온습도 분포에서도 파악할 수 있듯이 제안 시스템이 외기 온습도 변화에 따른 실내 현열 및 잠열 부하 변동에 적절히 대응하여 모든 실에서 제습과 냉방을 독립적으로 충분히 제공할 수 있기 때문이다. 한편, 거실의 실내 습도 분포가 약간 높은 것은 거실의 체적에 비해 급기 풍량이 부족하기 때문인 것으로 사료된다. 이는 앞서 언급한 것처럼 덕트 유로 개선 및 팬 송풍 능력 향상을 통해 총 급기 풍량이 목표 풍량을 달성하고 추후 댐퍼 제어를 기반으로 각 실의 급기 풍량을 조절하여 거실 체적에 적절하게 급기 풍량을 증가시킬 경우 개선 가능할 것으로 여겨진다. 이로써 제안하고자 하는 액체식 제습공조시스템은 모든 실을 적절히 제습냉방하여 항상 실내를 열 쾌적하게 유지할 수 있으므로 공동주택의 multi-zone 중앙공조시스템으로써 적용가능성이 충분한 것으로 판단된다.

거실의 PMV는 45시간 실험하는 동안 온열 쾌적 범위에 해당하는 -0.5에서 +0.5 구간을 항상 만족하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 실내 온습도뿐만 아니라 실내 기류 또한 열 쾌적하게 형성된 것으로 보이며, 이를

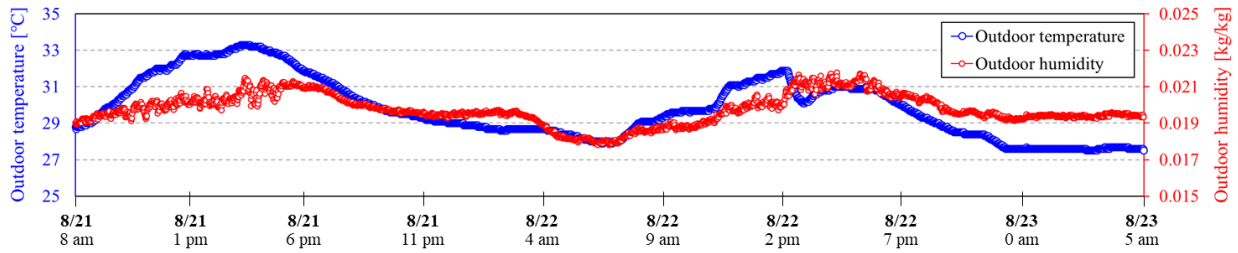
통해 급기 취출구 및 실내 재순환공기 흡입구의 설계 및 설치가 적절히 이루어진 것으로 판단된다. 이로써 제안 시스템의 공조 시 실내 쿨드 드래프트 및 공기 정체를 유발하지 않고 전체 실에서 쾌적한 온습도 분포를 고르게 형성할 수 있으므로 실내 열 쾌적성을 크게 개선할 수 있음을 알 수 있다. 한편, PMV 변동에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 실내 온습도 변동인 것으로 보이며, 이는 외기 온습도 변화(Fig. 4(b)) 및 시스템 운전모드 전환에 따른 급기 온습도 변화(Fig. 6)에 기인한 것으로 사료된다. 외기 온습도의 변동이 클수록, 그리고 시스템 운전모드가 전환됨에 따라 급기 온습도가 크게 변화할수록 실내 온습도 변동 역시 커졌으며, 해당 경우에 PMV 변동 폭이 커지는 것으로 나타났다.

Table 2 On-site measurement of supply-air flow rate

Measurement location	Living room diffuser		Bedroom1 diffuser	Bedroom2 diffuser	Bedroom3 diffuser
	Near bedroom1	Near bedroom2			
Supply air flow rate	158 m ³ /h	154 m ³ /h	132 m ³ /h	148 m ³ /h	120 m ³ /h



(a) Distribution of outdoor, indoor, and supply air conditions on psychrometric chart



(b) Temporal variations of outdoor conditions

Fig. 4 Outdoor, indoor, and supply air conditions.

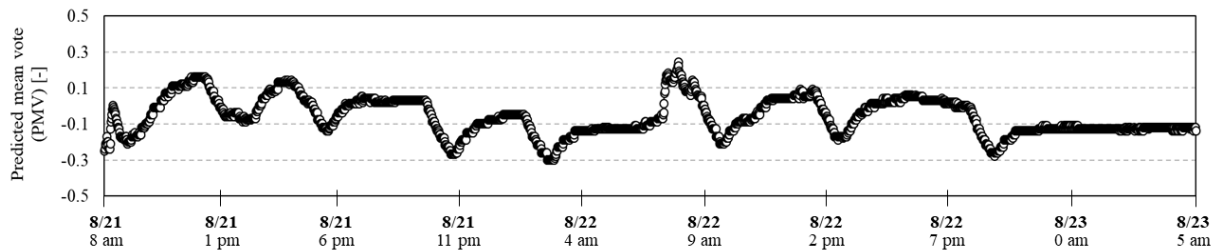


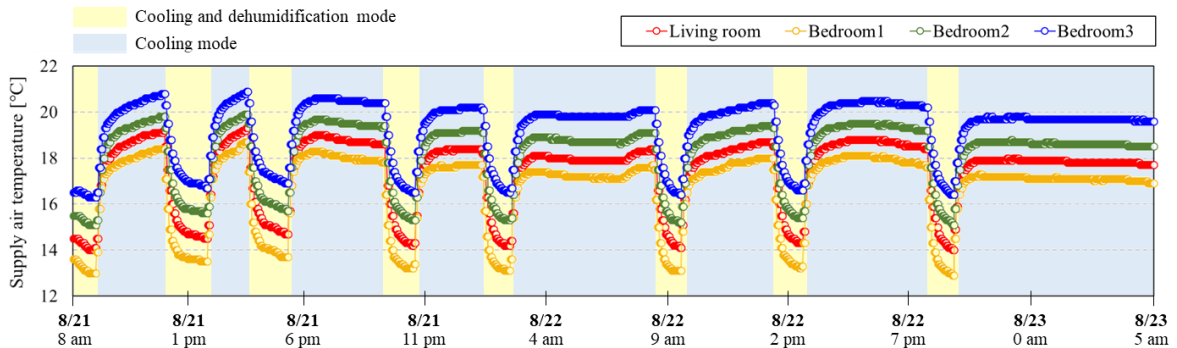
Fig. 5 PMV evaluation.

4.4 실 별 급기 온습도 분포 비교

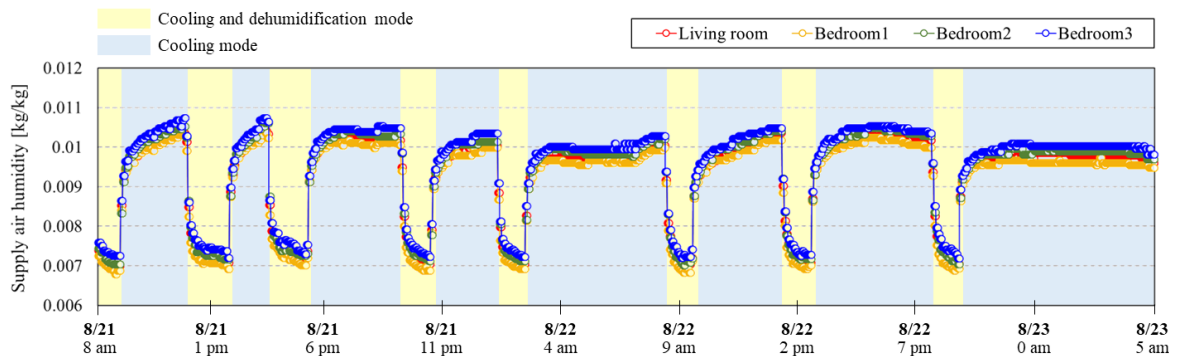
각 실 별 급기 온습도 분포 비교는 Fig. 6과 같으며, 시스템의 운전모드는 노란색과 하늘색 배경으로 구분하였다. 시스템의 냉방제습모드(cooling and dehumidification mode) 운전을 기준으로 각 실 별 급기의 습도 분포는 거의 동일한 반면, 급기의 온도 분포는 침실1, 거실, 침실2, 침실3에서 각각 약 13, 14, 15, 16.5°C로 측정되었다. 이는 곧 제안 시스템의 실내 공조 시 급기 습도는 시스템 설치 장소와 각 실 간의 거리에 상관없이 비교적 일정한 값으로 각 실에 공급될 수 있는 반면, 급기 온도는 시스템 설치 장소에서 멀리 위치한 공간일수록 점점 상승된 상태로 각 실에 공급되는 것을 의미한다. 이는 공기가 덕트를 통과하면서 열이 취득되기 때문이며, 시스템 설치 장소에서 멀리 위치한 공간일수록 덕트 통과 길이가 길어지므로 그만큼 급기 온도가 크게 상승될 수 있다. 따라서 급기 온도는 시스템 설치 장소와 가장 가까운 공간인 침실1에서 가장 낮게 측정되었고 가장 멀리 있는 공간인 침실3에서 가장 높게 측정되었다. 해당 실증연구에 있어 테스트를 위한 볼륨댐퍼, 분기관 등의 덕트 부속품이 많아 단열이 확보되지 않았던 것이 주요 원인으로 파악된다. 본 연구의 현장 실험에서는 모든 실에서 열 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있었지만 내부발열이 큰 건물이나 대구 지역과 같이 외기 온습도가 매우 높은 지역에서는 이와 같은 덕트 내 급기 온도 상승 현상이 공조시스템에서 멀리 위치한 공간의 실내 열 쾌적성을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 추후 덕트 단열 최적화 및 부속품 규격화를 통해 급기 온도를 더욱 정밀하게 제어하여 각 실 별 부하 특성에 적절히 대응할 수 있도록 개선할 예정이다.

4.5 에너지 성능 평가

시스템의 제습냉방열량, 소비전력, 운전 에너지 소비량, 그리고 에너지 효율 등 제안 시스템의 에너지 성능 평가를 요약하면 Table 3과 같으며, 이를 시간에 따른 변화로 나타내면 Fig. 7과 같다. 각 실 별 제습냉방열량을



(a) Supply air temperature



(b) Supply air humidity

Fig. 6 Comparison of supply air condition for each room.

합한 시스템의 총 제습냉방열량은 4.39 kW로 계산되었으며, 이는 정격냉방열량인 7.5 kW에 미치지 못하므로 앞서 언급한 것처럼 급기 목표 풍량 달성이 필수적으로 개선되어야 할 것으로 보인다. 시스템 총 소비전력 및 전체 실험 기간 동안의 총 운전 에너지 소비량은 각각 2.68 kW 및 71.4 kWh로 측정되었으며, 팬 및 펌프에서 적지 않은 운전 에너지가 소비된 것으로 나타났다. 따라서 압축기 운전 에너지 소비량만 고려한 SEER은 3.40로 계산된 반면, 전체 총 운전 에너지 소비량에 따른 SEER은 1.91로 계산되었다. 제안 시스템은 주요 열원인 히트펌프 에너지 소비만을 고려했을 때 에너지 성능 측면에서도 공동주택 공조시스템으로써 적용가능성이 우수한 것으로 판단되나, 전체 에너지 소비를 고려했을 때 팬 및 펌프 에너지 소비 개선이 필요한 것으로 여겨진다. 특히 제안 시스템이 덕트형 중앙공조시스템으로써 각 실에 급기를 충분히 공급하기 위해 송풍 능력이 우수한 시로코 팬을 사용함에 따라 팬 에너지가 많이 소비된 것으로 보인다. 이는 추후 덕트 유로 최적화 및 고효율 팬 사용을 통해 보다 적은 에너지로 충분한 급기 송풍 능력을 확보할 수 있도록 개선할 예정이다.

Table 3 Energy performance

Parameter		Value	Parameter		Value
Cooling capacity	Living room	2.20 kW	Input power	Compressors	1.91 kW
	Bedroom1	0.90 kW		Fans and pumps	0.77 kW
	Bedroom2	0.74 kW	Energy consumption	Compressors	40.1 kWh
	Bedroom3	0.54 kW		Fans and pumps	31.3 kWh
		4.39 kW (total)			71.4 kWh (total)
SEER (without fans and pumps)		3.40 kWh/kWh	SEER (total)		1.91 kWh/kWh

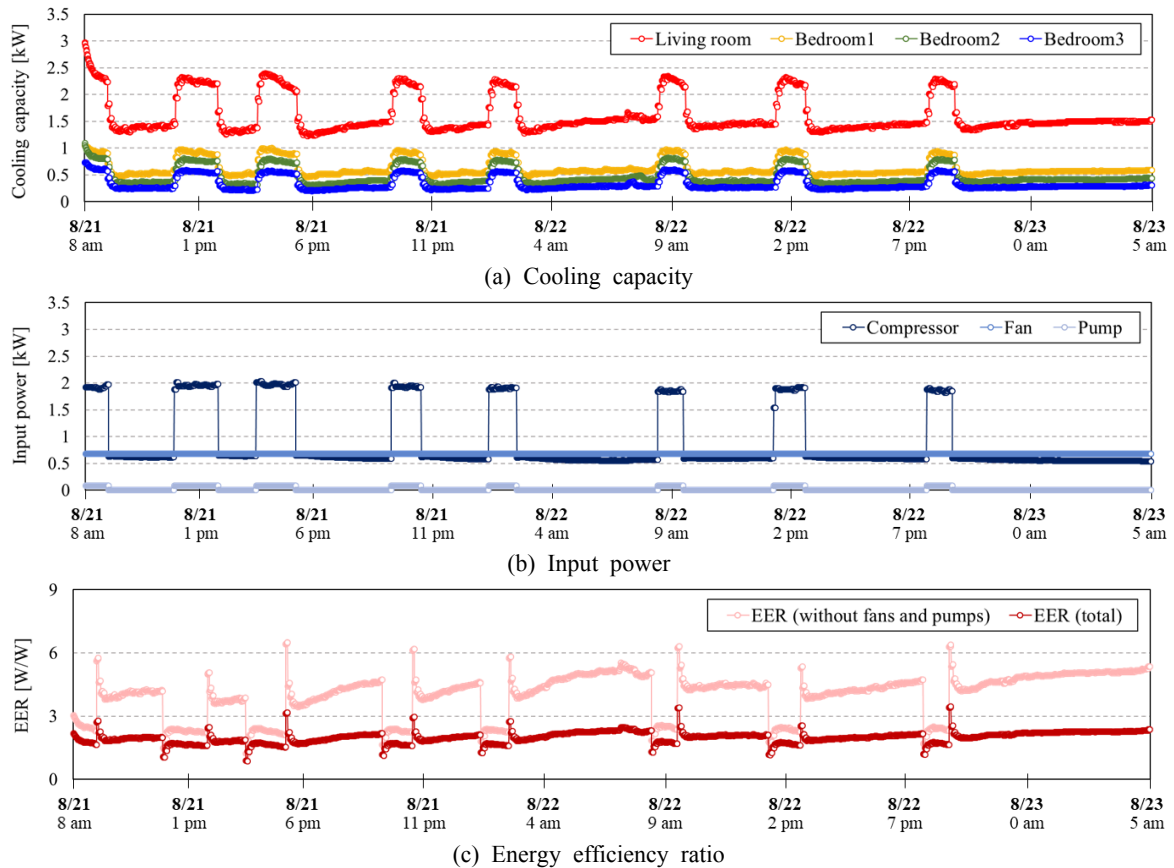


Fig. 7 Temporal variations of cooling capacity, input power, and energy efficiency ratio.

5. 결 론

본 연구에서는 공동주택 multi-zone 적용을 위한 액체식 제습 중앙공조시스템을 제안하고 공동주택 테스트베드에 설치하였다. 각 실 별 실내 공기 및 급기 온습도 분포를 비교하고 실내 열 쾌적성 및 에너지 성능을 평가하여 공동주택 중앙공조시스템으로써 액체식 제습시스템의 적용가능성을 실증하였다. 여름철 고온다습한 기후에서 시스템의 제습냉방 운전 시 모든 실의 실내 온습도 분포가 전체 실험 기간 내내 항상 열 쾌적 구간을 만족하였으며, 따라서 제안 시스템의 중앙공조시스템으로써 적용가능성이 충분한 것으로 나타났다. 이는 제안 시스템이 외기 온습도 변화에 따른 실내 현열 및 잠열 부하 변동에 적절히 대응하여 모든 실에서 제습과 냉방을 독립적으로 충분히 제공할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한, PMV가 항상 쾌적 범위를 만족하여 실내 기류 역시 열 쾌적하게 형성된 것으로 나타났다. 압축기 에너지 소비량만 고려했을 때 SEER은 3.40로 계산된 반면, 총 운전 에너지 소비량을 고려했을 때 SEER은 1.91로 계산되어 시스템의 덕트 유로 최적화 및 고효율 팬 사용이 개선된다면 높은 에너지 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 추후 댐퍼 제어 및 팬 송풍 능력 향상을 통해 각 실의 목표 급기 풍량을 달성하고 덕트 단열 최적화 및 부속품 규격화를 통해 급기 온도를 정밀히 제어할 경우 각 실의 부하 변동 대응 능력이 개선되어 중앙공조시스템으로써 적용성이 더욱 향상될 것으로 여겨진다.

후 기

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 녹색혁신기업 성장지원 프로그램 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No.2021003160004).

References

1. Zaki, O. M., Mohammed, R. H., and Abdelaziz, O., 2022, Separate Sensible and Latent Cooling Technologies: A Comprehensive Review, *Energy Conversion and Management*, Vol. 256, p. 115380.
2. Woods, J., James, N., Kozubal, E., Bonnema, E., Brief, K., Voeller, L., and Rivest, J., 2022, Humidity's Impact on Greenhouse Gas Emissions from Air Conditioning, *Joule*, Vol. 6, No. 4, pp. 726-741.
3. Fang, X., Winkler, J., and Christensen, D., 2011, Using EnergyPlus to Perform Dehumidification Analysis on Building America Homes, *HVAC&R Research*, Vol. 17, No. 3, pp. 268-283.
4. Liu, X., Jiang, Y., and Zhang, T., 2014, Temperature and Humidity Independent Control (THIC) of Air-conditioning System, Springer, Berlin.
5. Gurubalan, A., Maiya, M. P., and Geoghegan, P. J., 2019, A Comprehensive Review of Liquid Desiccant Air Conditioning System, *Applied Energy*, Vol. 254, p. 113673.
6. Zhao, K., Liu, X. H., Zhang, T., and Jiang, Y., 2011, Performance of Temperature and Humidity Independent Control Air-conditioning System in an Office Building, *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 8, pp. 1895-1903.
7. Kozubal, E., Herrmann, L., Deru, M., Clark, J., and Lowenstein, A., 2014, Low-flow Liquid Desiccant Air-conditioning: Demonstrated Performance and Cost Implications, NREL, Denver.
8. Guan, B., Liu, X., Zhang, Q., and Zhang, T., 2020, Performance of a Temperature and Humidity Independent Control Air-conditioning System Based on Liquid Desiccant for Industrial Environments, *Energy and Buildings*, Vol. 214, p. 109869.
9. Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., and Hoyt, T., 2020, CBE Thermal Comfort Tool: Online Tool for Thermal Comfort Calculations and Visualizations, *SoftwareX*, Vol. 12, p. 100563.
10. ASHRAE Standard 55, 2020, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
11. Lee, J. H. and Jeong, J. W., 2021, Hybrid Heat-pump-driven Liquid-desiccant System: Experimental Performance Analysis for Residential Air-conditioning Applications, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 195, p. 117236.