



사무실 건물의 다기능 히트펌프 적용에 대한 성능 및 에너지 소비량 분석

Energy Performance Evaluation of Air-source Heat Pump Systems in Multi-functional Configurations for an Office Building

김범준(Beom-Jun Kim)¹, 조수영(Su-young Jo)¹, 강용권(Yong-Kwon Kang)¹, 정재원(Jae-Weon Jeong)^{2†}

¹한양대학교 건축공학과 박사과정, ²한양대학교 건축공학부 교수

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

²Professor, Department of Architectural Engineering, College of Engineering, Hanyang University, Seoul, Republic of Korea

(Received November 07, 2022; revision received December 22, 2022; Accepted: December 23, 2022)

Abstract This study aimed to evaluate the energy consumption performance of a multi-functional air-source heat pump for the indoor air-conditioning, heating, and hot water supply of an office building. Based on the investigation, four heat pump system configurations are proposed for the comparative evaluation of each system. Two reference systems are used for comparisons in the energy performance evaluation. The detailed thermal load for a 100 m² office building was conducted using commercial energy simulation tools. Thermodynamic theoretical equations were used for heat pump simulation. The results show that case 2, the cascade heat pump system, can reduce primary energy consumption by 41.7 % and 54.0 % when compared with two reference systems and showed the highest energy-saving performance in the proposed cases. This study validated the use of the multi-functional cascade heat pump system for use in an office building.

Key words Air-source heat pump(공기열원 히트펌프), Energy-saving performance(에너지 절감 성능), Green remodeling(그린 리모델링), Multi-functional system(다기능 시스템)

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

기호설명

BEC : Boiler efficiency curve [-]
 cp_{hw} : 급탕수 비열 [kJ/kg]
 H_{pump} : 펌프 양정 [m]
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 \dot{m}_{hw} : 급탕 유량 [kg/s]
 \dot{m}_{ref} : 냉매 유량 [kg/s]
 \dot{m}_{sa} : 급기 풍량 [kg/s]
 P_{fan} : 팬 에너지 부하 [kW]
 P_{pump} : 펌프 에너지 부하 [kW]
 PLR_{fan} : Part load ratio [-]
 \dot{Q}_{boiler} : 보일러 에너지 부하 [kW]

$\dot{Q}_{cond.load}$: 필요 난방열량 [kW]
 $\dot{Q}_{evap.load}$: 필요 냉방열량 [kW]
 $\dot{Q}_{hw.load}$: 필요 급탕열량 [kW]
 $T_{cond.set}$: 응축기 냉매 설정 온도 [°C]
 $T_{evap.set}$: 증발기 냉매 설정 온도 [°C]
 T_{sa} : 급기 건구온도 [°C]
 $T_{t.new}$: 수정 탱크 내부 온도 [°C]
 $T_{t.remain}$: 탱크 내부 온도 [°C]
 $T_{water.supply}$: 급탕 공급 온도 [°C]
 T_{zone} : 실내 건구온도 [°C]
 $V_{t.remain}$: 탱크 잔류 물량 [L]
 \dot{W}_{comp} : 압축기 에너지 부하 [kW]

ρ_{hw} : 급탕수 밀도 [kg/m^3]

1. 서 론

파리협약 이후 각 국가에서 2050년 탄소중립 정책 시행을 발표함에 따라, 건물분야에서의 탄소중립 달성을 위해서는 신재생에너지 생산 비중 확대와 더불어 기존 화석연료기반의 인프라들을 전력기반 시스템으로 전환하여 건물의 전전화를 달성하는 것을 목표로 하고 있다.⁽¹⁾ 현재 건물분야의 탄소중립 및 에너지 효율 개선을 위해서 정부는 2020년 7월부터 그린 리모델링 사업을 실시하고 있다. 현재까지 건축분야에서 그린 리모델링에 대한 연구는 주로 패시브 성능 향상에 초점을 맞춰 진행되어왔으며⁽²⁾, 성공적인 탄소중립 달성을 위해서는 패시브 설비 강화와 더불어 액티브설비의 고효율 에너지 사용 및 전력 기반 시스템을 도입하는 것이 중요할 수 있다. 히트펌프는 전력사용기반의 열 흡수 및 열 공급이 가능한 시스템으로 친환경 열원 활용을 통한 에너지 절감효과가 우수하다. 현재 히트펌프 시스템은 건물의 냉방, 난방에 널리 사용되고 있으며, 최근에는 급탕까지 히트펌프로 해결하는 연구 및 관련 제품들이 출시되고 있다.⁽³⁾ 그러나, 선행문헌자료에 따르면 업무시설의 냉난방 및 급탕 시스템 구성 시 EHP 및 증기보일러(혹은 온수보일러)로 구성된 비중이 30% 정도를 차지하고 있는 실정이다.⁽⁴⁾ 이는 건물의 액티브 설비 효율화와 더불어 건물의 전전화 달성을 위해서는 냉난방, 급탕등의 설비시스템에 히트펌프 시스템 적용 확대가 더욱 필요한 상황이다. 따라서 건물의 전전화를 통한 탄소배출 저감, 냉난방 및 급탕의 히트펌프 시스템 적용, 궁극적으로 향후 그린 리모델링 산업에 있어 건물의 에너지 소비량 절감을 위해서 히트펌프 기반의 냉난방 및 급탕 겸용 시스템을 건물에 적용 시 에너지 절감성능이 우수한 시스템 조합들을 주요하게 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 사무실 건물 적용에 따른 시스템 조합별 에너지 시뮬레이션 진행 후 시스템 간 에너지 절감 성능을 비교하였다.

2. 다기능 히트펌프 시스템 개요

2.1 열원사용 특징 분석

히트펌프의 조합 케이스를 도출하기 위해 건물설비의 세 가지 주요 기능인 냉방, 난방, 급탕에 대해 (1) 냉방+난방, (2) 냉방+급탕, (3) 난방+급탕으로 분류하여 각 조합 간 고려사항을 조사 및 분석하였다.

2.1.1 냉방+난방

히트펌프의 evaporator와 condenser를 각각 냉방과 난방에 사용하는 케이스이다. 이론상 동시에 사용하는 것이 가능하나, 건축물에 냉방부하와 난방부하는 거의 동시에 발생하지 않기 때문에 실제로 동시 운전하는 경우는 제외한다. 한 대의 히트펌프가 계절 혹은 실내부하상황에 따라 전환되어 운전된다.

2.1.2 냉방+급탕

냉방 사이클의 Condenser에서의 방출열을 급탕수 가열로 활용이 가능하다. 급탕은 연중 수요가 발생하기 때문에 Heat tank를 설치하여 냉방시 Condenser에서 버려지는 열을 저장한다. 탱크의 열이 Full charge 상태가 되어 더 이상 Heat sink로 기능할 수 없는 경우 Auxiliary HX를 사용하여 방열해야한다.

2.1.3 난방+급탕

두 기능 모두 condenser의 방출열을 난방 및 급탕으로 사용하기 때문에 evaporator에서 heat source를 반드시 필요로 한다. 해당 조합에서는 난방 및 급탕 공급용 Water tank를 설치하여 고온수를 난방코일이나 급탕수를 제공하는 방식으로 사용하거나, 난방은 직팽식 열교환기, 급탕은 Storage tank를 사용하는 방식이 있다. 이때, Dual HX 형태로 실내에 condenser 1, Storage tank쪽에 condenser 2가 설치되어 각각의 기능 담당하는 방식의 활용이 가능하다.

2.2 히트펌프 시스템 조합 선정

냉방, 난방, 급탕을 동시에 운전하는 히트펌프 시스템 구성 시, 크게 하나의 결합된 시스템을 사용하는 경우 (case 1,2)와 2대로 분리된 시스템을 사용하는 경우(case 3,4)로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 하나의 결합된 시스템 형태로는 냉난방, 급탕을 한 대의 히트펌프로 처리하는 경우(case 1), 두 대의 히트펌프를 캐스케이드 형태로 결합하여 운전하는 경우(case 2), 냉난방과 급탕으로 나누는 경우(case 3), 마지막으로 냉방과 난방 및 급탕으로 나누는 경우 (case 4) 총 4개의 조합을 도출하였다. Fig. 1은 각 케이스를 건물에 적용한 형태를 나타낸 것으로, 시스템 운전 시 냉매가 항상 고온고압을 유지하는 경우는 붉은색 선, 냉매가 항상 저온저압을 유지하는 경우는 파란색 선으로 표시하였다.

2.2.1 case 1 - 1 HP type

한 대의 히트펌프 사이클로 냉방, 난방, 급탕을 모두 제공하는 케이스이다. 실내 냉난방 및 급탕용 열교환기를 설치하여 급탕측에는 압축기 이후의 고온고압 냉매가 일정하게 공급되고 실내측은 건물 냉난방 부하에 따라 냉방모드, 난방모드로 전환된다(Fig. 1(a)).

2.2.2 case 2 - 2 HP Cascade type

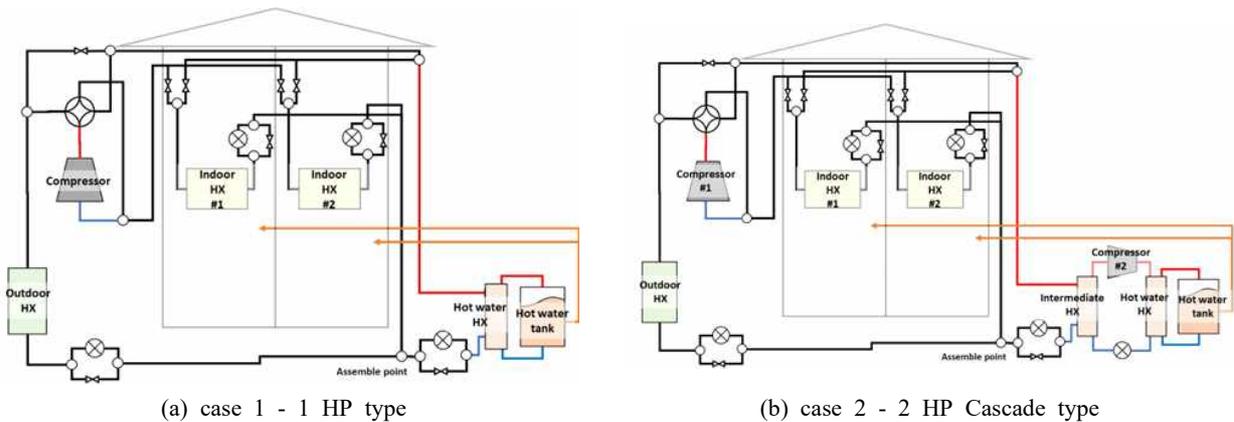
두 대의 사이클을 cascade 형태로 연결한 시스템으로 냉방 및 난방은 저사이클 히트펌프에서, 급탕은 저사이클의 condenser에서 열을 받아 고사이클 히트펌프로 승온하여 운전하는 시스템이다. 급탕측에 열을 지속적으로 공급해주어야 하기 때문에 운전방식은 case 1의 시스템과 동일하다. 실내 냉난방을 담당하는 저사이클에는 R410A, 급탕을 담당하는 고사이클측에는 R134a를 적용하였다(그림 1(b)).

2.2.3 case 3 - 2 HP Separated type 1

두 대의 히트펌프 사이클을 사용하여 냉난방 시스템과 급탕 시스템을 분리한 케이스이다. 실내측은 건물 부하에 따라 냉방모드, 난방모드로 전환되어 연중 지속적으로 운전되고, 급탕 히트펌프는 별도로 설치되어 급탕수요에 의해 연중 지속적으로 운전된다. 실내 냉난방 사이클에는 R410A, 급탕 사이클측에는 R134a를 적용하였다(그림 1(c)).

2.2.4 case 4 - 2 HP Separated type 2

히트펌프의 흡열 및 방열 기능을 분리한 케이스로, 두 대의 히트펌프를 사용하여 냉방만을 담당하는 히트펌프 사이클과 난방급탕용 히트펌프 사이클로 나눈 케이스이다. 냉방용 히트펌프는 heat sink만을 필요로 하기 때문에 여름철 냉방모드에서만 운전된다. 반면, 난방 및 급탕은 급탕의 연중 지속적인 수요로 인해 항상 heat source를 필요로 한다. 각 히트펌프는 모드전환이 필요하지 않는다(Fig. 1(d)).



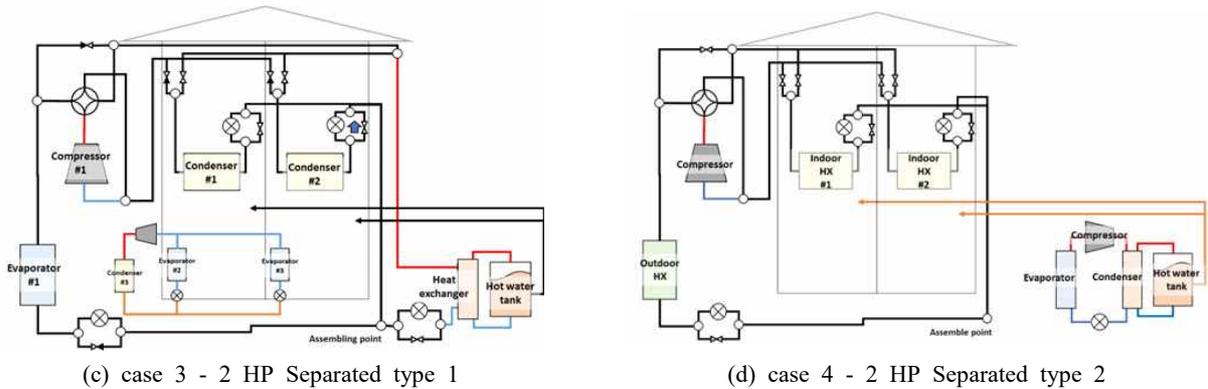


Fig. 1 Schematics of air-source heat pump system for indoor air-conditioning and water-heating.

2.3 기존 설비시스템 선정

제안된 시스템 케이스들의 에너지성능을 기존 시스템과 비교하기 위해 공공건축물에서 사용하는 설비에 대한 특성을 조사하고자 선행연구의 연구결과를 분석하였다.⁽⁴⁾ 해당 연구에서는 국내 업무시설의 다양한 부문 중 설비부분의 특성을 분석하기 위해 서울시에 소재한 업무시설 48개소를 대상으로 에너지원 종류, 냉난방 열원 방식, 공조 방식 등을 기준으로 업무시설로 대표되는 사무실 건물에서 사용되는 설비를 전수 조사하였다. 분석된 업무시설은 소형(연면적 3천 m² 미만), 중형(연면적 3천 m² - 1만 m²), 대형(연면적 1만 m² 이상)으로 구분하여 설비 유형을 조사하였다. 조사 결과, 냉난방 시설에 대해서는 EHP가 난방 43%, 냉방 40%의 비율로 나타났으며, 급탕 시설에 대해서는 증기보일러의 사용이 가장 높은 것으로 조사되었다. 이는 대형 건물에서 대부분 증기보일러가 사용되어 나타난 결과로, 소형이나 중형에서는 순간식 전기온수기가 가장 많이 사용됨을 알 수 있다. 따라서 기존 사무실에서 많이 사용되고 있는 EHP와 보일러기반의 시스템을 냉난방을 히트펌프, 급탕을 보일러로 처리하는 방식 (Reference case 1)과 냉방만 EHP로하고 난방과 급탕을 보일러로 처리하는 방식 (Reference case 2)을 레퍼런스 시스템으로 설정하였다.

3. 시뮬레이션 개요

에너지 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 과정은 다음과 같다. 먼저 건물부하와 급탕부하를 열부하모사 시뮬레이션 툴을 활용하여 계산한다. 이후 열역학 및 열전달 이론식을 기반으로 히트펌프와 급탕 시스템 시뮬레이션을 수행한다. 마지막으로 팬과 펌프, 보일러의 에너지 계산은 에너지플러스의 모델을 활용하여 계산하였다.

3.1 건물 및 급탕부하 시뮬레이션

사무실 건물의 열부하를 모사하기 위해 100 m² 단위면적의 건물을 TRNSYS 18 프로그램을 통해 산정하였다. 히트펌프 시스템의 냉매는 각 시스템 조합별 기능에 맞게 적용 가능한 R410A와 R134a를 사용하였다. 건물 벽체 및 창호의 열관류율 값은 2018년 건축물에너지절약설계기준을 참고하였다.⁽⁵⁾ 재실자 인원은 사무실 건물의 100 m²당 5명을 적용하였다.⁽⁶⁾ 건물부하 모사용 모델의 상세정보를 Table 1에 나타내었다.

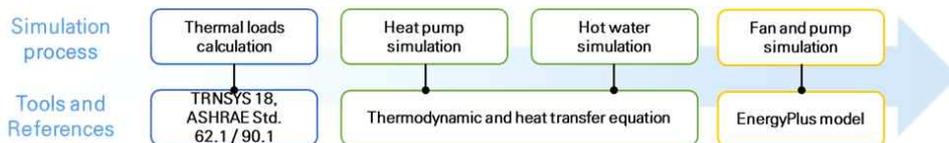


Fig. 2 Simulation process and methodology for each parts.

Table 1 Building and heat pump system informations for simulation

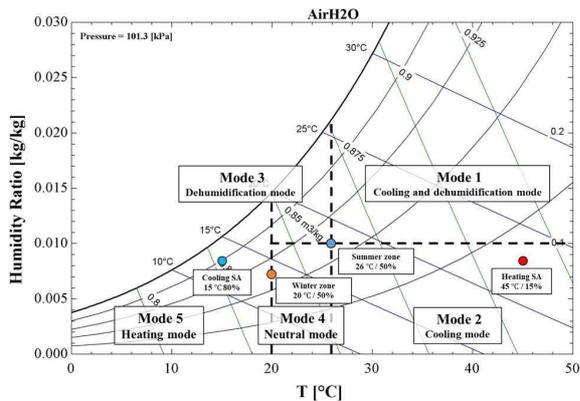
Category	Parameter	Value
Heat pump	Refrigerant	R410A, R134a
	Compressor efficiency [-]	0.75
	Heat exchanger efficiency [-]	0.7
	Condenser set temperature [°C]	60
	Evaporator set temperature [°C]	10 (summer), -10 (winter)
Room set point	Room air condition in heating mode [°C, %]	20 50
	Supply air condition in heating mode [°C, %]	45 15
	Room air condition in cooling mode [°C, %]	26 50
	Supply air condition in cooling mode [°C, %]	15 80
Fan	Fan efficiency [-]	0.5
	Coil Pressure drop [kPa]	0.25
	Duct Pressure drop [kPa]	0.01
Domestic hot water	Hot water temperature [°C]	60
	Tap water temperature [°C]	15
	Heating load of hot water [W/person]	51
Pump	Pump efficiency [-]	0.6
	Head loss [m]	20

3.2 시스템 운전모드 및 급탕스케줄

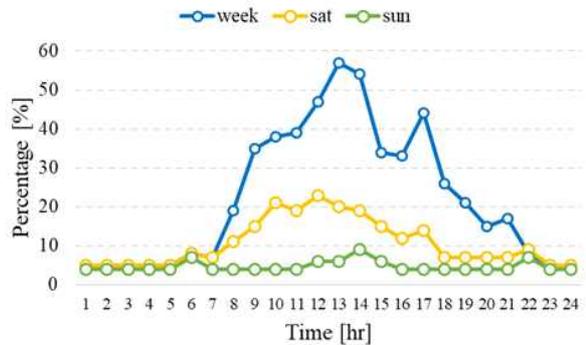
히트펌프 시스템의 연간 운전모드 설정을 위해 연간 실내 온습도조건을 기준으로 5개의 존으로 나누었다. 냉난방은 여름철 및 겨울철 실내 온습도 조건과 급기 온습도 조건을 기준으로 5개의 Zone으로 분리하였으며, 실내 조건이 존에 위치할 때의 해당 운전모드로 운전된다. 한편, 급탕부하와 하루 필요 급탕량은 ASHRAE 90.1를 통해 사무실 건물에 해당하는 재실자스케줄 및 급탕 스케줄을 기반으로 계산하였다(Fig. 3).⁽⁷⁾

3.3 히트펌프 시뮬레이션

히트펌프 시뮬레이션을 위한 실내 급기조건($T_{sa,set}$)을 설정하기 위해 난방모드 시에는 45°C, 냉방모드 시에는



(a) Psychrometric chart for system operation mode



(b) schedule of water heating

Fig. 3 Building informations for system operation and hot water schedule.

Table 2 Set points of heat pump cycle

Refrigerant	Evaporator		Condenser	
R410A	Cooling mode	10°C	Heating mode	56°C
	Hot water mode	$T_{oa} - 5^\circ\text{C}$	Hot water mode	71°C
R134a	Hot water mode	51°C	Hot water mode	80°C

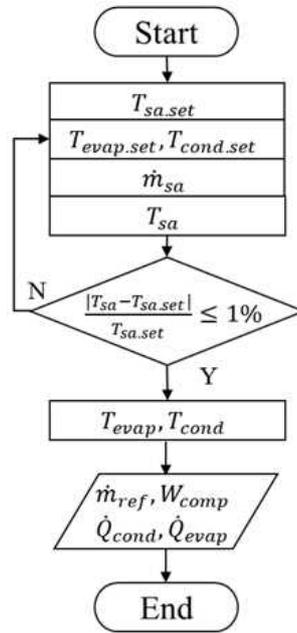


Fig. 4 Flow logic for refrigerant temperature determination of heat pump system.

15°C로 설정하였다. 히트펌프의 초기 냉매온도 설정값은 condenser 냉매온도가 60°C, evaporator 냉매온도는 10°C로 설정하였다. 히트펌프 시뮬레이션은 주어진 건물조건에 따라 실내 풍량과 급기조건을 식(1)과 식(2)를 통해 계산 후, 계산된 급기온도가 설정된 온도와 오차율 1%를 만족할 때까지 반복수행을 실시한다(Fig. 4). 오차율이 1% 미만을 만족할 때의 증발기와 응축기의 계산된 냉매 온도를 최종 냉매설정값으로 결정하였으며 이에 대한 결과를 Table 2에 나타내었다.

$$\dot{m}_{sa} = \dot{Q}_{zone} / \varepsilon_{hx} cp_{zone} (T_{zone} - T_{evap.set}) \text{ [kg/s]} \quad \text{(Cooling mode)} \quad (1)$$

$$= \dot{Q}_{zone} / \varepsilon_{hx} cp_{zone} (T_{cond.set} - T_{zone}) \text{ [kg/s]} \quad \text{(Heating mode)}$$

$$T_{sa} = T_{zone} - \dot{Q}_{zone} / \dot{m}_{sa} cp_{zone} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{(cooling mode)} \quad (2)$$

$$= T_{zone} + \dot{Q}_{zone} / \dot{m}_{sa} cp_{zone} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{(Heating mode)}$$

각 히트펌프 시스템 조합의 성능 비교를 위해 열역학 이론 기반의 equation을 바탕으로 Heat balance를 만족하도록 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 매 시간마다 steady-state 상태에서 건물의 열부하를 만족할 수 있도록 히트펌프 시스템을 가동하는 것으로 가정하였다. 따라서 히트펌프의 성능이 매 시간 100% 운전되는 것으로 가정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 각 히트펌프 사이클의 냉매량(\dot{m}_{ref})은 실내 열부하 및 급탕부하를 기반으로 산정하였다(식(3)). 또한, sub-cooling 및 super-heating 값은 EN12900 기준을 기반으로 $\pm 5^\circ\text{C}$ 로 가정하였다.⁽⁸⁾ 압축기 부하량(\dot{W}_{comp}), 증발열량(\dot{Q}_{evap}) 및 응축열량(\dot{Q}_{cond})은 열역학 이론식에 의해 계산한다(식(4)-(6)).

$$\dot{m}_{ref} = \dot{Q}_{evap.load} / (h_{evap.o} - h_{evap.i}) \quad \text{(Cooling mode)} \quad (3)$$

$$= \dot{Q}_{cond.load} / (h_{cond.i} - h_{cond.o}) \quad \text{(Heating and hot water mode)}$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_{ref} (h_{comp.o} - h_{comp.i}) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref} (h_{evap.o} - h_{evap.i}) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{ref} (h_{cond.i} - h_{cond.o}) \quad (6)$$

3.4 급탕 시뮬레이션

급탕 시스템은 급탕탱크를 고려하여 급탕수 공급 후 잔존 탱크 수량 및 시수 공급 후 탱크 물온도를 먼저 계산한다(식(7), (8)). 이후 응축기에서 급탕열을 전달하기 위한 물 유량을 계산해 주고, 히트펌프의 열이 부족할 경우 추가 급탕 가열량을 계산한다(식(9)).

$$T_{water.supply} = T_{t.remaining} + \dot{Q}_{hw.load} / \dot{m}_{hw} cp_{hw} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (7)$$

$$T_{t.new} = [(\dot{m}_{hw} T_{hw.py}) + (V_{t.remaining} \rho_{hw} T_{t.remaining})] / V_t \rho_{hw} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{hw.aux} = \dot{m}_{hw} cp_{hw} (T_{hw} - T_{t.new}) \text{ [kW]} \quad (9)$$

3.5 Fan and Pump 시뮬레이션

실내기 및 실외기의 팬과 급탕 공급용 펌프, Reference case의 급탕수 가열을 위한 보일러 에너지 계산 식은 에너지 플러스 기반 모델을 사용하였으며⁽⁹⁾, 아래의 식으로 계산하였다(식(10)-(12)). 이때 펌프의 head loss (H_{pump})값은 20 m, 펌프 효율(ε_{pump})은 0.5로 가정하였다.

$$P_{fan} = (0.0013 + 0.1470PLR_{fan.o} + 0.9506PLR_{fan.o}^2 - 0.0998PLR_{fan.o}^3)P_{fan.o.design} \text{ [kW]} \quad (10)$$

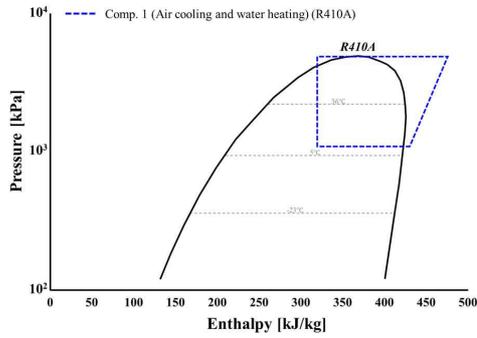
$$P_{pump} = \dot{m}_{hw} g H_{pump} / 1000 \varepsilon_{pump} \text{ [kW]} \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{boiler} = \dot{Q}_{boiler.current} / \varepsilon_{nom.thermal} BEC \text{ [kW]} \quad (12)$$

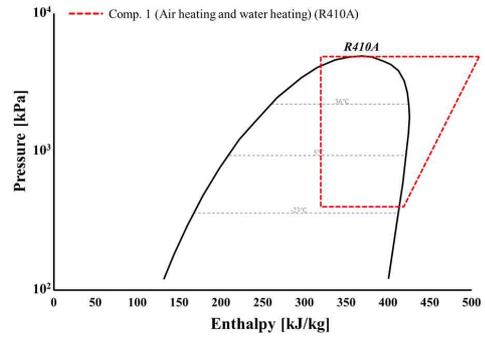
4. 시뮬레이션 결과

4.1 p-h 선도

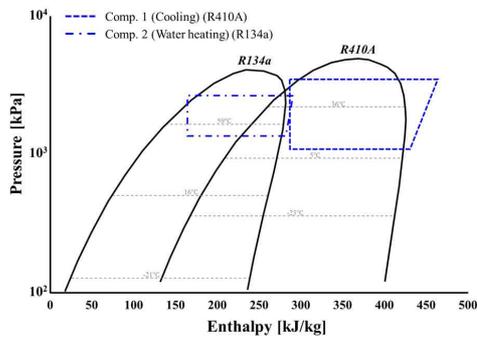
각 히트펌프 시스템 케이스들의 계절별 p-h 선도를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 시스템은 여름철 실내 냉방온도 15°C를 달성하기 위해 냉매온도가 10°C로 운전되며, 겨울철은 실내 난방온도 45°C를 맞추기 위해 냉매온도 56°C로 운전된다. 한편, 급탕온도 60°C를 맞추기 위해 R410A 냉매는 임계온도 72.5°C⁽¹⁰⁾에 거의 근접한 71°C까지 승온된다. 반면, R134a 냉매의 경우 임계온도가 101°C 이므로⁽¹¹⁾ 적절한 급탕가열 온도인 80°C까지 승온한다. Case 1은 냉방과 급탕이 서로 다른 기능을 필요로 하기 때문에 사이클의 증발기측이 냉방, 응축기측이 급탕을 담당한다. 겨울철에는 난방과 급탕 모두 응축열이 필요하기 때문에 외기로부터 열을 흡수하여 높은 압축률을 필요로 한다. Case 2는 cascade type으로 저사이클은 실내 냉난방, 고사이클은 급탕만을 담당한다. Case 3는 냉난방용과 급탕용 히트펌프가 별도로 분리되어있어 냉난방용 히트펌프와 급탕용 히트펌프 모두 외기로부터 열을 흡수하거나 방출한다. Case 4는 냉방용 히트펌프와 난방 및 급탕용 히트펌프가 분리되어있어 여름철에는 두 히트펌프 모두 운전되고, 겨울철에는 compressor 2가 Case 1과 동일한 형태로 운전된다. Table 3는 각 케이스의 압축기별, 계절별 냉매 설정 온도값을 정리하였다.



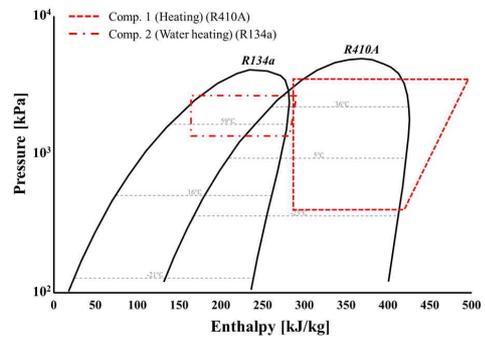
(a) Case 1 in summer



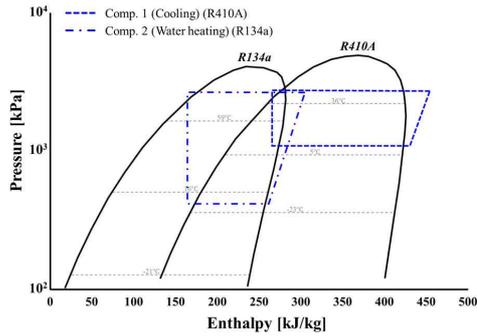
(b) Case 1 in winter



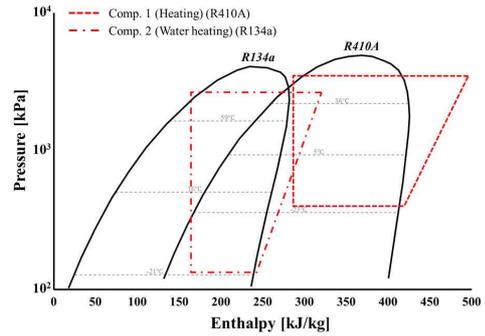
(c) Case 2 in summer



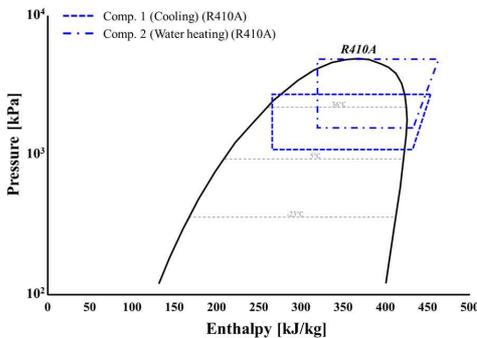
(d) Case 2 in winter



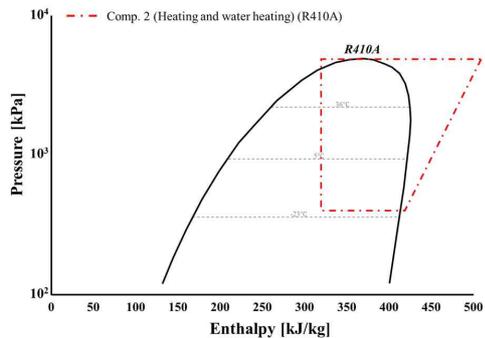
(e) Case 3 in summer



(f) Case 3 in winter



(f) Case 4 in summer



(g) Case 4 in winter

Fig. 5 p-h diagram of each cases.

Table 3 Temperature of the refrigerant of each heat pump cycles in various season

		Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
		Comp 1	Comp 2						
Summer [°C]	Evap.	10	-	10	51	10	23	10	23
	Cond.	71	-	56	80	45	80	43	71
Winter [°C]	Evap.	-20	-	-20	51	-20	-20	-	-20
	Cond.	71	-	56	80	56	80	-	71

4.2 시스템별 에너지 소비량

Fig. 6은 히트펌프 시스템의 연간 에너지 소비량에 대한 시뮬레이션 결과이다. 히트펌프 한대로 냉난방과 급탕을 모두 담당하는 case 1은 Reference case 1과는 큰 차이는 없으나, 2대로 분리하여 사용하는 Reference case 2 대비 39.4%의 에너지 소비량 절감이 가능함을 확인하였다. 냉방과 난방 및 급탕겸용으로 분리한 시스템간 비교결과 히트펌프 기반 시스템 조합 모두 에너지 절감성능이 우수했으며, 1 HP는 22.4%, 2 HP로 분리 시 52.5%까지 절감이 가능함을 확인하였다. 한편, 한대의 시스템으로 실내 냉방, 난방 및 급탕을 모두 담당하는 case 1과 case 2간의 에너지 절감 성능 비교 결과, cascade 방식의 case 2가 case 1 대비 더 우수한 에너지 절감 성능을 보였다. Cascade 방식은 레퍼런스 시스템 대비 41.7%, 54%의 절감성능을 보였다. 이들 시스템은 냉난방에 사용되는 에너지는 큰 차이가 없으나, 급탕에 사용되는 에너지에서 차이를 드러냈다. 최종적으로 전체 시스템간 에너지 소비량 비교결과 1 HP 대비 각 기능에 맞게 히트펌프를 2대로 분리하여 사용하는 것이 에너지 절감적으로 더 우수함을 확인하였다. 1차에너지 환산계수에 대해서는 전기는 2.75, 가스 보일러는 1.1을 적용하였다.

4.3 계절별 에너지 소비량

각각의 시스템 조합 간 에너지 소비량의 계절별 비교를 Fig. 7에 나타내었다. 겨울철은 Reference case 2를 제외한 나머지 시스템들은 에너지 소비량에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 여름철의 경우 두 대의 히트펌프로 분리되었는 시스템 조합의 에너지 소비량이 가장 적게 도출되었다. 이는 각 기능에 필요한 부하만큼 부분부하로 운전되기 때문이다. 한편 냉방과 급탕을 하나의 컴포넌트로 운전하는 case 1과 case 3의 경우 상대적으로 많은 에너지 소비가 발생할 수 있음을 확인하였다.

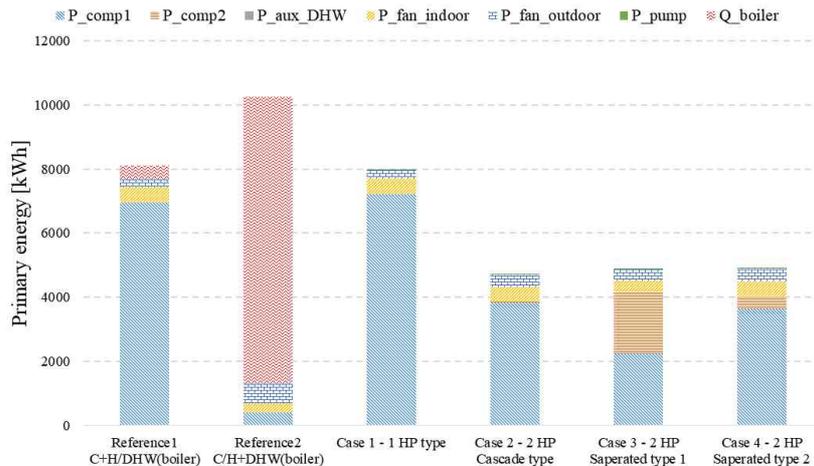


Fig. 6 Annual primary energy consumption.

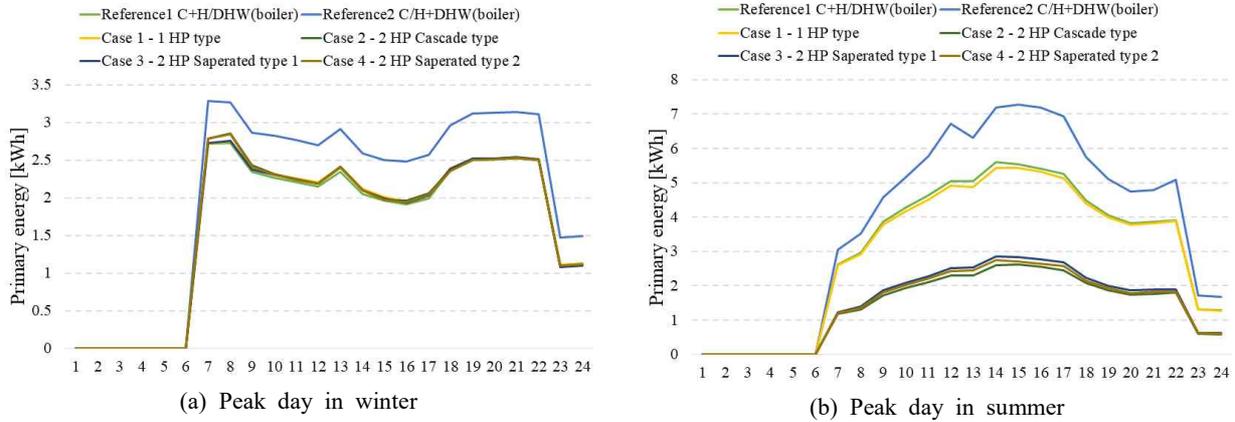


Fig. 7 Seasonal primary energy consumption in peak day.

5. 결 론

본 연구에서는 히트펌프 시스템 조합 간 연간 에너지 절감 성능 비교 분석을 진행하였다. EHP와 boiler를 사용하는 시스템을 비교대상으로 선정하였으며, 100 m² 단위면적의 사무실 건물을 대상으로 시뮬레이션 연구를 진행하였다. 히트펌프 시스템의 특성을 분석하여 냉방, 난방 및 급탕기능을 수행할 수 있는 조합을 4가지로 나누어 에너지 시뮬레이션을 실시하여 비교하였다. 그 결과, 두 대의 히트펌프를 cascade 형태로 통합하여 운전하는 case 2 시스템 조합이 가장 우수한 에너지 절감 가능성을 확인하였다. 이는 캐스케이드 형태로 운전 시 각 사이클이 다른 조합 시스템에 비해 상대적으로 낮은 압축률로 실내 냉난방 및 급탕열 공급이 가능하기 때문인 것으로 나타났다. case 2인 cascade 히트펌프 시스템은 Reference case 1대비 41.7%, Reference case 2 대비 54.0%의 에너지 절감 가능성이 있는 것으로 나타났다. 향후 시스템 실증 연구를 진행할 필요가 있으며, 본 연구결과를 기반으로 히트펌프 기반 냉난방 및 급탕 겸용 시스템을 제작하여 건물적용을 통한 검증 실험연구를 수행이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20202020800030).

References

1. Deason, J. and Borgeson, M., 2019, Electrification of Buildings: Potential, Challenges, and Outlook, Curr Sustainable Renewable Energy Rep, Vol. 6, pp. 131-139.
2. Jang, M., Kim, S., Song, I., and Lee, H., 2016, The Energy Saving Effect of Existing Buildings According to the Green Remodeling, Proceedings of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 176-179.
3. LG Electronics, B2B Catalog. Available online: <http://kr.lgeaircon.com/gcac.cussupport.catalogue.RetrieveCatalogueList.dev> (accessed on 20 October 2022).
4. Kim, S. I., Lim, S. H., Jin, H. S., Yang, I. H., Lim, J. H., and Song, S. Y., 2017, Investigation on the Current Status of Building, Equipments, and Operation to Develop Standard Conditions in Office Building of Korea, Spring Annual Conference of Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 1, pp. 429-432.

5. Korea Energy Agency, 2018, Energy Saving Design Standard of Buildings, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, South Korea.
6. ASHRAE, 2022, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.
7. ASHRAE, 2019, ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2019, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.
8. SIST EN 12900:2013 - Refrigerant compressors - Rating Conditions, Tolerances and Presentation of Manufacturer's Performance Data.
9. EnergyPlus, 2009, EnergyPlus input/output reference, U.S. Department of Energy, Building Technologies Program.
10. Kim, B. S. and Lee, S. H., 1999, Performance of a Room Air Conditioner Using R410A According to the Variation of Outdoor Temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 537-541.
11. Park, Y. M. and Lee, H. W., 1991, Calculation of the Thermodynamic Properties of R-134a and A Preliminary Study of the Refrigeration Performance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 286-296.