

<응용기술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-C.2016.4.1.003>

ISSN 2288-3991(Online)

【특집섹션: ICT와 지열에너지 융합】

주거용 건물에서의 히트펌프 시스템 연성능 평가에 관한 연구

강은철* · 민경천** · 이광섭* · 이의준*†

* 한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부, ** 코텍엔지니어링

Analysis Study of Seasonal Performance Factor for Residential Building Integrated Heat Pump System

Eun-Chul Kang*, Kyoung-Chon Min**, Kwang-Seob Lee* and Euy-Joon Lee*†

* Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research

** KOTEC Engineering

(Received November 30, 2015 ; Revised January 5, 2016 ; Accepted February 3, 2016)

Key Words: Heat Pump(히트펌프), Coefficient of Performance(성능 계수), Seasonal Performance Factor(계절 성능 계수), Annual Performance Factor(연성능 계수), International Performance Measurement & Verification Protocol(국제 성능 측정 검증 프로토콜)

초록: 국내 히트펌프 유닛에 대한 성능 기준은 KS C 9306에서 제시하는 표준조건에서의 COP로 표현된다. 그러나 히트펌프 시스템이 실제 건물에 적용될 경우에는 표준조건에서 운전되는 것이 아니기 때문에 현장의 기후 조건, 건물의 특성에 따라 히트펌프 시스템의 성능은 다르게 나타난다. 본 논문에서는 주거건물을 대상으로 국내 주요 도시의 기후 조건에 따른 공기 대 공기 히트펌프 시스템의 연성능을 평가하여 기존의 BIN 데이터를 활용한 연성능 평가 결과와 정량적으로 비교 분석하였다. 연성능 평가 도구로는 IPMVP 4.4.2에서 제시한 국제호환형 프로그램인 TRNSYS를 사용하였다. 공기 대 공기 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터를 적용한 경우, 연성능 평가 기준인 APF는 BIN 데이터를 적용했을 때보다 전체적으로 높았으며, 부산이 2.36으로 가장 높았고, 대전이 2.29로 가장 낮았다.

Abstract: Heat pump unit performance is represented by the COP(Coefficient of Performance) and expressed by the one point design condition according to KS C 9306. However, when heat pump operated to the real buildings, the simulations are changed continuously according to the actual weather conditions, the building load and heat pump source conditions. The purpose of this paper is to evaluate the APF(Annual performance factor) for a climate dependent building integrated air-to-air heat pump system in major cities in Korea. TRNSYS simulation tool with an international MV standard based IPMVP 4.4.2 was utilized to perform the annual performance analysis. The APF with the multi-performance data based method was calculated as 2.29 for Daejeon residential building case while Busan residential building case appeared as the highest with 2.36.

1. 서론

우리 주변에서 쉽게 접할 수 있는 태양, 땅, 바람, 공기, 물 등은 에너지화가 가능하다. 자연에서 생산할 수 있는 에너지로는 전기에너지, 열에너지, 조명에너지 등이 있다. 이 중 열에너지를 생산하는 대표 기술로써 히트펌프를 이용한 냉난방 설비 기술이 있다. 히트펌프는 공간에 필요한 에너지인 난방열, 냉방열 또는 온수를 생산하는 열회수 기기이자 적은 양의 전기에너지를 이용하여 주변열 에너지를 함께

† Corresponding Author, ejlee@kier.re.kr

공급하는 고효율 열 생산 기기이다.⁽¹⁾

히트펌프 유닛의 성능 평가는 ISO 기준을 따르며, 표준 조건(또는 정격 조건)의 한 조건을 적용하여 성능을 평가한다.⁽²⁾ 그러나 히트펌프 시스템을 적용할 때 지역과 건물에 따라 히트펌프의 성능은 변한다. 따라서 표준 조건에서 제시된 히트펌프 유닛의 표준 성능 데이터보다 적용 현장(Site), 적용 건물(Building), 적용 시스템(System)이 통합된 형태에서 히트펌프 시스템의 연성능을 평가해야 한다.⁽³⁾

본 논문에서는 적용현장의 기후 조건을 반영한 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터 측정하고, 이 데이터를 TRNSYS 모델링에 적용한다. 그리고 국내 주요 도시에 대하여 주거 건물에서의 히트펌프 시스템 연성능 평가를 수행한다. 이러한 절차에 의한 히트펌프 시스템의 연성능 평가 결과를 정량적으로 분석하여, 기존의 BIN 데이터 기반의 연성능 평가 결과와 정량적으로 비교 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 평가 방법

2.1 히트펌프 유닛 성능 평가 장치

히트펌프 유닛의 성능 평가에 공기엔탈피식 실험 장치를 이용하였다.(Fig. 1) 장치를 이용하여 실내룸(Indoor room)과 실외룸(Outdoor room) 모사용 챔버의 온습도를 제어하였다. 또한 실내룸에서의 히트펌프 작동 풍량을 측정할 수 있도록 코드테스터를 구비하였으며, 실내기 입구 측의 공기온도와 실내기 토출 공기의 풍량과 온도를 함께 측정하였다. 챔버내의 온습도를 제어하는 컨트롤 판넬과 실험 진행 상황을 감시하기 위한 모니터링 장치도 구비되어 있다. 히트펌프의 성능 평가 기준은 실내룸과 실외룸의 온도와 습도가 안정적으로 유지되는 조건에서 신뢰오차 범위는 $\pm 1.5\%$ 이내이어야 한다. 실내외 온습도가 위 사항을 만족하는 상태에서 1시간 이상 유지될 때를 기준으로 10분씩 총 6회의 적산을 통하여 데이터를 획득한다.⁽⁴⁾

2.2 히트펌프 유닛 사양

국내 L사의 히트펌프 유닛(SM246N)을 사용하였으며, 제조사의 사양을 Table 1에 정리하였다. 표준 조건⁽⁴⁾에서 제조사가 제시한 난방용량은 7,200 W, 냉방용량은 6,600 W이다. 아울러 난방 소비동력은 2,700 W, 냉방 소비동력은 2,800 W이다.

Table 2는 제조사의 사양과 실험에서 측정한 성능을 비교한 결과이다. 제조사의 사양과 비교했을 때,

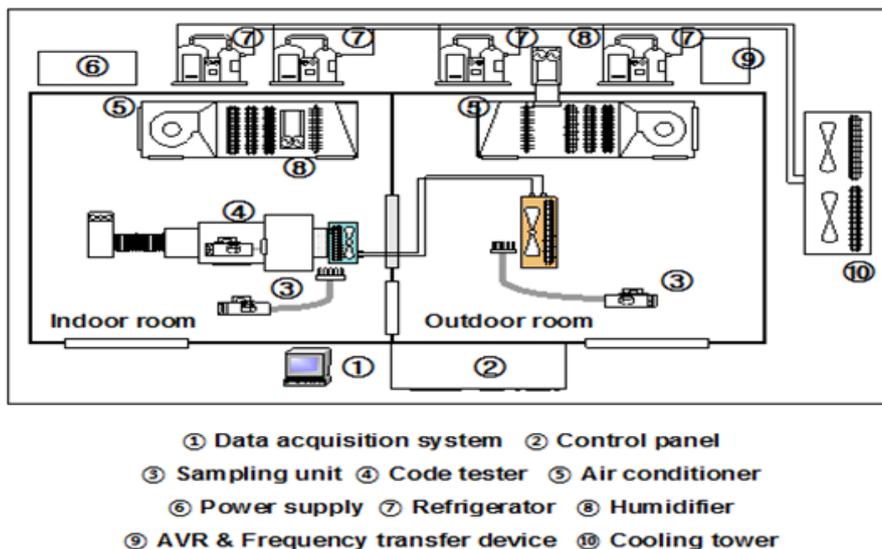


Fig. 1 Layout of test equipment for air to air heat pump unit

Table 1 Specifications of the heat pump unit used in this study

Compressor Frequency		50 Hz
Voltage		220~240 V
Heating	Capacity	7,200 W
	Power	2,700 W
	Current	12.6 A
	COP	2.67
Cooling	Capacity	6,600 W
	Power	2,800 W
	Current	13.0 A
	COP	2.36
Max	Power	3,900 W (Cooling) 3,050 W (Heating)
	H.E. pressure	5,000 kPa
Refrigerant / Amount		R22 / 1.58 kg

Table 2 Heat pump unit performance comparison at nominal condition

Heating mode	Manufacturer data	Test data	Difference [%]
Capacity [W]	7,200	7,000	-2.78
Power [W]	2,700	2,780	2.96
COPh	2.67	2.52	-5.62
Cooling mode	Manufacturer data	Test data	Difference [%]
Capacity [W]	6,600	6,411	-2.86
Power [W]	2,800	2,965	5.89
COPc	2.36	2.16	-8.47

Table 3 Test conditions for multi-performance of heat pump unit

Heating conditions [°C]				Cooling conditions [°C]			
Outdoor air		Indoor air		Outdoor air		Indoor air	
Dry bulb	Web bulb	Dry bulb	Web bulb	Dry bulb	Web bulb	Dry bulb	Web bulb
-10±0.3	-	18± 0.3	14± 0.2	24±0.3	15±0.2	20±0.3	14±0.2
-5±0.3	-			30±0.3	20±0.2	23±0.3	16±0.2
2±0.3	1±0.2	20± 0.3	15± 0.2	35±0.3	24±0.2	27±0.3	19±0.2
7±0.3	6±0.2			38±0.3	26±0.2	32±0.3	23±0.2
10±0.3	9±0.2	22± 0.3	16± 0.2				
15±0.3	14±0.2						

난방용량은 7,000 W로 2.78%, 난방 소비동력은 2,780 W로 2.96%, 난방 COPh는 2.52로 5.62% 차이를 보였지만, 수용할 만한 수준이다. 냉방용량의 경우 제품 사양보다 2.86% 낮고, 냉방 소비동력은 2,965 W로 5.89% 높았다. 냉방 COPc는 2.16으로 8.47% 낮았다.

2.3 히트펌프 유닛 멀티 성능 데이터

히트펌프 유닛 성능 평가 장치를 이용하여 앞에서 제시한 히트펌프 유닛에 대하여 Table 3과 같이 다양한 조건에서 히트펌프 유닛의 작동유량, 외기온도, 실내온도, 소비동력 등의 실측 데이터를 구하였다. 이 실측 데이터를 기반으로 각 조건에서의 냉난방 성적계수를 정리함으로써 히트펌프 유닛의 멀티 성능

측정값들을 확보하였다. 히트펌프 유닛의 난방 성능 데이터는 Table 4에, 냉방성능 데이터는 Table 5에 정리하였다.

Table 4 Performance data of heat pump unit in heating mode

Outdoor temp. [°C]	Indoor temp. [°C]	Air flow [10.6 m ³ /min]			Air flow [14.5 m ³ /min]		
		Capacity [Wt]	Power [We]	COPh	Capacity [Wt]	Power [We]	COPh
-10±0.3	18±0.3	4,160	2,195	1.90	4,486	2,122	2.11
	20±0.3	4,048	2,231	1.81	4,347	2,151	2.02
	22±0.3	3,938	2,270	1.73	4,235	2,183	1.94
-5± 0.3	18±0.3	4,761	2,347	2.03	5,081	2,237	2.27
	20±0.3	4,644	2,396	1.94	5,039	2,277	2.20
	22±0.3	4,594	2,407	1.91	4,979	2,322	2.14
2± 0.3	18±0.3	4,940	2,501	1.98	5,815	2,391	2.43
	20±0.3	4,746	2,491	1.91	5,716	2,452	2.33
	22±0.3	4,536	2,486	1.82	5,563	2,490	2.23
7± 0.3	18±0.3	5,773	2,553	2.27	7,086	2,698	2.63
	20±0.3	5,521	2,535	2.19	7,000	2,780	2.52
	22±0.3	5,091	2,486	2.06	6,596	2,730	2.40
10±0.3	18±0.3	5,931	2,589	2.30	7,736	2,854	2.71
	20±0.3	5,582	2,546	2.20	6,993	2,705	2.60
	22±0.3	5,111	2,503	2.05	6,539	2,631	2.49
15±0.3	18±0.3	6,021	2,599	2.33	7,552	2,732	2.78
	20±0.3	5,647	2,550	2.23	7,054	2,674	2.65
	22±0.3	5,252	2,536	2.08	6,566	2,625	2.51

Table 5 Performance data of heat pump unit in cooling mode

Outdoor temp. [°C]	Indoor temp. [°C]	Air flow [10.1 m ³ /min]				Air flow [13.3 m ³ /min]			
		Total Capacity [Wt]	Sensible Capacity [Wt]	Power [We]	COPc	Total Capacity [Wt]	Sensible Capacity [Wt]	Power [We]	COPc
24±0.3	20±0.3	5,460	3,929	2,332	2.34	5,923	4,412	2,373	2.50
	23±0.3	6,059	4,258	2,368	2.56	6,511	4,720	2,415	2.70
	27±0.3	6,671	4,361	2,417	2.76	7,118	4,868	2,469	2.88
	32±0.3	7,595	4,534	2,520	3.01	8,043	5,059	2,567	3.13
30± 0.3	20±0.3	5,050	3,716	2,496	2.02	5,536	4,297	2,567	2.16
	23±0.3	5,548	3,924	2,562	2.17	6,074	4,497	2,628	2.31
	27±0.3	6,325	4,172	2,636	2.40	6,780	4,702	2,713	2.50
	32±0.3	7,298	4,397	2,752	2.65	7,827	4,961	2,826	2.77
35± 0.3	20±0.3	4,800	3,592	2,695	1.78	5,252	4,145	2,750	1.91
	23±0.3	5,267	3,774	2,770	1.90	5,734	4,328	2,838	2.02
	27±0.3	5,964	3,990	2,880	2.07	6,411	4,531	2,965	2.16
	32±0.3	6,921	4,223	2,989	2.32	7,393	4,784	3,088	2.39
38± 0.3	20±0.3	4,690	3,531	2,777	1.69	5,155	4,115	2,849	1.81
	23±0.3	5,208	3,758	2,849	1.83	5,712	4,335	2,916	1.96
	27±0.3	5,896	3,970	2,955	2.00	6,230	4,434	3,043	2.05
	32±0.3	6,863	4,216	3,070	2.24	7,210	4,745	3,137	2.30

2.4 히트펌프 시스템 연성능 평가 기법

우선, 국내 KS C 9306:2010 기준⁽⁴⁾에서 제시하는 BIN 데이터 기반의 히트펌프 시스템 연성능 평가 방법으로 히트펌프의 APF(Annual Performance Factor)를 평가하였다. 히트펌프의 연간 냉난방 성능계수를 도출하기 위해서 성능저하계수 C_d 값을 0.25로 고려하여 계산하였다.⁽⁴⁾ 연간 난방 소비전력 대비 생산된 난방 열에너지의 비로 히트펌프 시스템의 난방 계절 성능인 HSPF는 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 냉방 계절 성능인 CSPF는 연간 냉방 소비전력 대비 생산된 냉방 열에너지의 비로 식 (2)와 같이 나타내어 그 값을 구한다. 히트펌프 시스템의 연성능 계수인 APF는 연간 생산된 총 열에너지를 연간 총 소비전력으로 나눈 식 (3)과 같다.

$$HSPF = \sum Q_h / \sum P_h \quad (1)$$

$$CSPF = \sum Q_c / \sum P_c \quad (2)$$

$$APF = (\sum Q_h + \sum Q_c) / (\sum P_h + \sum P_c) \quad (3)$$

본 고에서 제시하는 실측에 의한 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터 기반의 히트펌프 시스템 연성능 평가 방법은 IPMVP 4.4.2⁽⁵⁾에서 제시하는 국제호환형 시뮬레이션 도구인 TRNSYS 프로그램을 활용하여 도출하였다. 적용 지역은 한국태양에너지학회에서 기상데이터를 제공하는 국내 주요 7개 도시인 서울, 대전, 대구, 부산, 인천, 광주, 울산을 대상으로 하였다. 적용 건물은 주거용 건물이며, 시뮬레이션을 위한 건물 모델링은 Fig. 2와 같다. 건물의 바닥면적은 200 m²이며 높이는 3 m로 가정하였다. 창은 남쪽면 13.68 m, 동쪽과 서쪽 면은 각각 6.84 m로 전체 벽면 중에 창 면적비는 16%로 가정하였다. 건물외피의 열관류율은 2010년 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 제시되어 있는 열관류율표의 남부지역 기준을 참고하였다.⁽⁶⁾ 난방 설정온도는 22℃, 냉방 설정온도는 24℃로 정하였으며, 상세한 정보는 Table 6에 나타내었다. 적용 시스템은 본 연구를 통하여 멀티 성능 데이터를 구현한 공기 대 공기 히트펌프 유닛을 사용하였다. 이와 같이 적용 지역, 적용 건물, 적용 시스템을 포함한 통합 시뮬레이션 모델링을 기반으로 하는 건물 적용 히트펌프 시스템의 연성능 평가 기법을 활용하여 분석하였다. TRNSYS 모델링의 시뮬레이션 결과로써 난방 계절성능인 HSPF와 냉방 계절성능인 CSPF, 그리고 건물 통합형 히트펌프 시스템의 연성능 계수인 APF는 앞에서 제시한 식 (1)~(3)과 동일하게 적용하였다. Fig. 3은 TRNSYS 시뮬레이션 모델링을 보여주고 있다. 적용 지역의 기상데이터를 기반으로 하는 기후 모델링과 적용 건물의 상세 정보를 입력한 건물 모델링, 그리고 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터를 기반으로 하는 시스템 모델링을 통합한 형태의 주거건물용 히트펌프 시스템 연성능 평가를 시뮬레이션을 통하여 수행하였다.

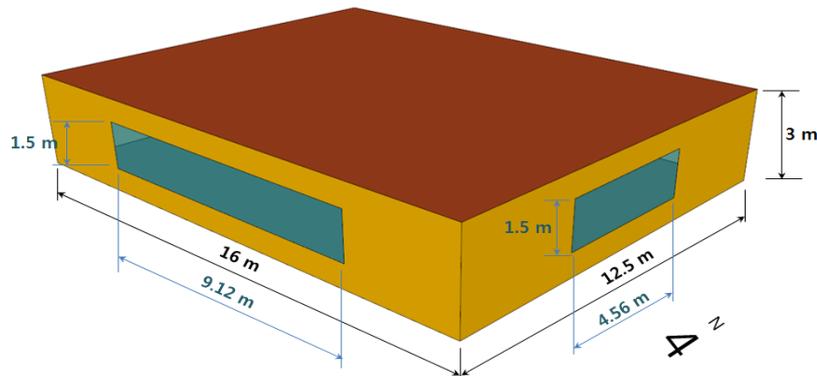
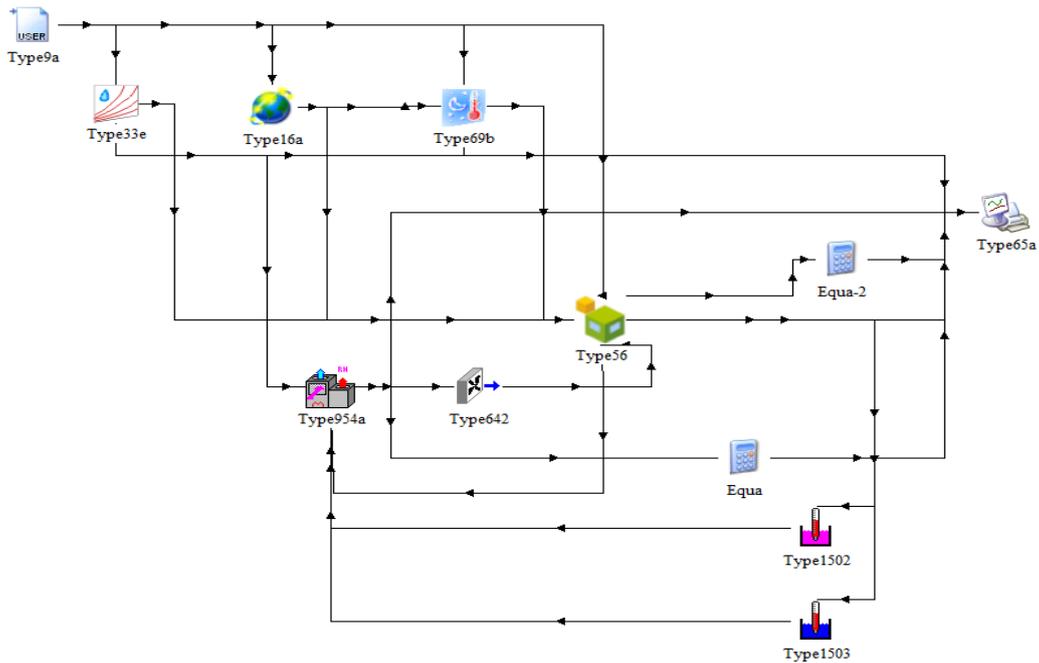


Fig. 2 Building modeling for TRNSYS simulation

Table 6 Building information for TRNSYS modeling

Parameter	Value	Unit	
Building floor area	200	m ²	
Building height	3	m	
Total window/wall ratio	16	%	
Air change per hour	0.7	ACH	
Heating design temperature	22	℃	
Cooling design temperature	24	℃	
LPD (Light power density)	4.7	W/m ²	
EPD (Equipment power density)	8.2	W/m ²	
People	4	person	
Building envelop requirements [U-value]	Wall	0.34	W/m ² K
	Roof	0.22	W/m ² K
	Floor	0.28	W/m ² K
	Window	1.80	W/m ² K

**Fig. 3** TRNSYS simulation modeling for heat pump system installed in residential building

3. 결과 및 고찰

TRNSYS 프로그램을 이용하여 히트펌프 시스템 적용 지역의 기상데이터와 적용 건물 특성을 포함하는 시뮬레이션 모델링을 구현함으로써 건물 통합형 히트펌프 시스템의 연성능 계수인 HSPF, CSPF 및 APF를 도출하였다. Table 7과 Fig. 4에 BIN 데이터를 적용한 결과와 멀티 성능 데이터를 적용한 결과를 비교하였다. BIN 데이터로 평가한 결과, 국내 지역에 상관없이 HSPF는 2.022, CSPF는 2.466, APF는 2.081이었다. 반면 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터를 적용한 경우, 성능계수들은 지역마다 달랐다. 전

체적으로, HSPF는 멀티 성능 데이터를 적용할 때가 BIN 데이터를 적용했을 때보다 컸다. 부산에서 2.367로 가장 높게 나타났고, 대전이 2.288로 가장 낮은 값을 보였다. CSPF는 BIN 데이터를 적용했을 때보다 낮았다. 인천에서 2.350으로 가장 높았고, 대구 지역이 2.261로 가장 낮았다. APF는 BIN 데이터를 적용했을 때보다 전체적으로 높았으며, 부산이 2.358로 가장 높았고, 대전이 2.288로 가장 낮았다. 이는 BIN 데이터를 적용한 방법은 건물의 용도와 적용 지역에 관계없이 외기온도에 대한 BIN 시간 값을 동일하게 적용하는 단순 계산식에 의해서 구해지기 때문이다. 반면에 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터에 의한 방법은 적용 건물과 적용 지역의 기상데이터 그리고 적용 시스템의 멀티 성능 데이터를 기반으로 연성능을 평가하기 때문이다.

Table 7 Building integrated heat pump system APF

Site	Performance factor	Energy consumption [kWh]	Power consumption [kWh]	SPF
BIN	HSPF	13,509	6,682	2.022
	CSPF	2,553	1,035	2.466
	APF	16,062	7,717	2.081
Seoul	HSPF	16,805	7,322	2.295
	CSPF	1,826	797	2.293
	APF	18,631	8,119	2.295
Daejeon	HSPF	16,258	7,107	2.288
	CSPF	3,009	1,316	2.286
	APF	19,266	8,422	2.288
Daegu	HSPF	14,205	6,093	2.332
	CSPF	3,087	1,365	2.261
	APF	17,292	7,458	2.319
Busan	HSPF	12,681	5,358	2.367
	CSPF	2,898	1,249	2.321
	APF	15,579	6,607	2.358
Incheon	HSPF	17,165	7,481	2.295
	CSPF	2,001	852	2.350
	APF	19,167	8,332	2.300
Gwangju	HSPF	14,794	6,390	2.315
	CSPF	3,103	1,341	2.313
	APF	17,896	7,731	2.315
Ulsan	HSPF	13,819	5,912	2.337
	CSPF	2,836	1,247	2.275
	APF	16,655	7,159	2.327

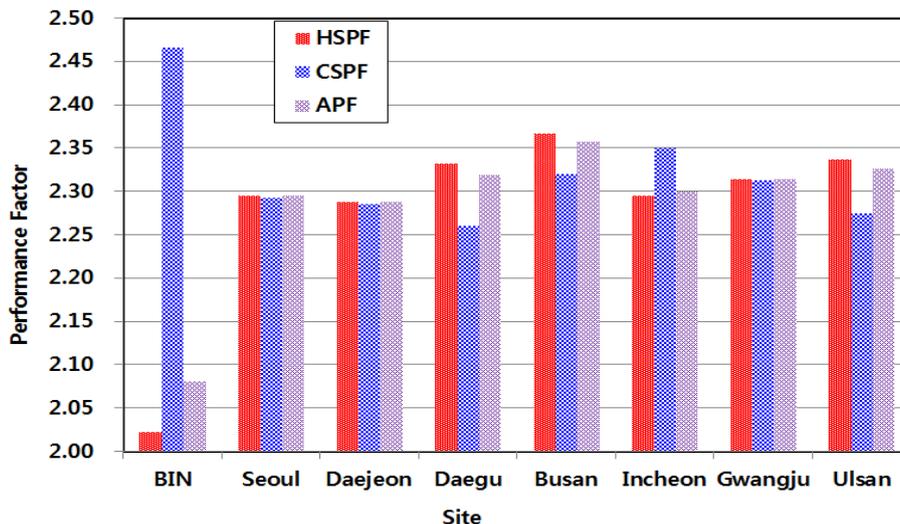


Fig. 4 Performance factors of building integrated heat pump system

4. 결 론

본 연구에서는 히트펌프 시스템의 연성능을 평가하는 기존의 BIN 데이터 기반의 평가 방법의 현안을 해결하기 위한 방안으로 히트펌프 유닛 멀티 성능 데이터를 기반으로 하는 건물 통합형 히트펌프 시스템의 연성능을 평가하는 기법을 제시하였다. 히트펌프 시스템의 연성능을 평가하기 위해서는 히트펌프 유닛의 멀티 성능 데이터가 필요하였고, 건물 통합형 히트펌프 시스템의 연성능을 평가하기 위하여 국제호환형 시뮬레이션 도구인 TRNSYS 프로그램을 활용하였다. 아울러, 국내 7개 주요 도시에서의 바닥 면적이 200 m²인 주거용 건물을 대상으로 통합 모델링 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

BIN 데이터 기반의 연성능 평가 결과와 히트펌프 유닛 멀티 성능 데이터 기반의 연성능 평가 결과를 비교 분석하였고, 결과 값이 상이하였다. 히트펌프가 주거용 건물에 적용될 경우 적용 지역에 따라 히트펌프 시스템의 성능이 바뀌기 때문에 건물 통합형 히트펌프 시스템의 연성능은 다르게 나타났다. 따라서 히트펌프 제조사에서 생산되는 제품에 대하여 다양한 조건하에서의 실험을 통한 히트펌프 유닛 멀티 성능 데이터 구축이 필요하다. 이를 활용해 적용 지역의 기후 조건과 적용 건물의 특성 그리고 히트펌프 유닛 멀티 성능 데이터를 기반으로 하는 적용 시스템을 통합하여 평가하는 건물 적용 히트펌프 시스템의 연성능 평가 기술은 기존의 BIN 데이터 기반의 연성능 평가 방법보다 매우 세분화된 기술이라 할 수 있다. 향후 건물에 적용되는 히트펌프 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해서는 기존의 BIN 데이터 기반의 연성능 평가 방법보다 이러한 차별적이고 세분화된 연성능 평가 기술이 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 20133010111750).

참고문헌 (References)

- (1) McQuiston, F. C. and Parker, J. D., 1997, "Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design," John Wiley & Sons. Inc.
- (2) KS B ISO 13256-1, 2002, "Water-Source Heat Pumps-Testing And Rating For Performance- Part 1:Water-to-Air and Brine-to-Air Heat Pumps."
- (3) Kang, E. C., Riederer, P. Yoo, S. Y. and Lee, E. J., 2013, "New Approach to Evaluate the Seasonal Performance of Building Integrated Geothermal Heat Pump System," *Renewable Energy* 54, pp. 51-54.
- (4) Korea Agency for Technology and Standards, 2010, KS C 9306:2010 Air conditioners.
- (5) International Performance Measurement & Verification Protocol, 2003, "Concepts and Practices for Determining Energy Savings in Renewable Energy Technologies Applications," Volume III.
- (6) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010, Building facilities standards.