공기, 지열 및 복합 열원 열펌프의 중간기 에너지 소비량에 관한 연구

조영욱, 우태호*, 정광섭**[†], 김영일**

서울과학기술대학교 주택대학원, *서울과학기술대학교 에너지환경대학원,**서울과학기술대학교 건축학부

Study on Energy Consumption of Air-source, Ground-source and Dual-source Heat Pump during Intermediate Season

Yeong Uk Cho, Tea ho Woo*, Kwang-Seop Chung**[†], Youngil Kim**

Graduate School of Housing, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

*Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

**School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Abstract

This study is to compare energy consumption of air-source, ground-source and dual-source heat pump systems during intermediate season using dynamic simulation. Ground-source heat pump has higher COP than that of air-source but requires additional power consumption of auxiliary equipment such as circulation pump. During intermediate season when the outdoor air temperature is favorable, total COP of air-source heat pump may be greater than that of ground-source when circulation pump power consumption is included. Dual-source heat pump which selects the more favorable heat source is compared with air-source only and ground-source only heat pumps for total power consumption. Results show that power consumption of dual-source heat pump is lower than that of ground-source only by 0.73%.

Key words: Dual-source heat pump(복합 열원 열펌프), Air-source heat pump(공기열원 열펌프), Ground-source heat pump(지열원 열펌프), Energy consumption(에너지소비량)

1. 서 론

최근 급격한 기후 변화에 따른 자연 재해를 줄이기 위해 기후 변화의 주요 원인인 온실가스의

감축을 위하여 효율적인 에너지 사용이 장려되고 있다.

냉난방기기 중 하나인 열펌프는 열원으로 기존 열을 이용하기 때문에 효율적인 에너지 사용이 가능하며,¹⁾ 국내에서는 ‘그린에너지 전략로드맵 2011’의 대상 분야에 포함되어 기술개발이 진행 중이다.²⁾

열펌프의 성능과 효율은 열원의 조건에 따라 달라진다. 여름철과 겨울철에는 지중온도 조건

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6561; fax: +82-2-974-1480

E-mail address: kschung@seoultech.ac.kr

접수일 : 2013년 4월 5일

심사일 : 1차:2013년 4월 30일, 2차:2013년 10월 21일

채택일 : 2013년 11월 4일

이 대기온도 조건보다 유리하지만, 중간기(봄, 가을)에는 대기온도 조건도 지중에 비해 크게 불리하지 않다. 열매체를 지중열교환기로 순환시키기 펌프의 동력을 고려한다면 중간기에는 지중보다는 공기 열원을 사용하는 것이 유리할 수도 있다.

본 연구에서는 지중 및 대기 조건에 따라 유리한 열원을 택하는 경우, 공기 또는 지중 단독 열원에 비하여 에너지 소비량이 어떻게 달라지는지를 알아보려고 하였다. 이에 따라 동특성 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 17³⁾을 이용하여 중간기(3월, 4월, 10월, 11월)의 공기열원 열펌프 시스템과 지열원 열펌프 시스템, 공기열원과 지열원의 복합 열원 열펌프 시스템(이하 복합 열원 열펌프)의 에너지 소비량을 비교하였다.

2. 시뮬레이션 조건

2.1 건물 선정

대상 건물은 경상북도 구미시에 위치한 지하 1층, 지상 2층 규모의 공공업무시설이며, 건물 특징은 Table 1과 같다. Fig. 1의 우측 점선으로 표시된 대강당을 대상으로 열펌프 시스템을 구성하였으며, 3면이 외기와 접한다. 바닥 면적 322 m², 층고 4.5 m, 천장고 3 m이며, 남동, 남서 측에 창문이 있다. 대강당의 외벽 면적은 163.14 m²이고, 외기와 인접한 창문의 면적은 총 33.6 m²이다. 실내 인접 구역은 홀, 탕비실, 창고로 구성되며 모두 비공조 공간이다.

2.2 계산 조건

Google sketchup 7을 이용하여 건물을 모델링하고, TRNSYS 17을 이용하여 공조부하를 계산하였다. 계산 부하는 건물 외피로부터의 부하, 실내 발열 부하, 침기 부하, 환기 부하로 구성되며, 각 부하의 계산 프로그램을 요약하여 Table 2에 나타내었다.

Fig. 1 2nd floor plan

Table 1 Building and zone specifications

Item		Values	
Building	Area[m ²]	1505.8	
	Building height[m]	10.8	
	Floor height[m]	Underground floor	: 5.0
		Ground floor	: 4.5
	Ceiling height[m]	Underground floor	: 4.6
		Ground floor	: 3.0
Building structure	Reinforced concrete structures		
Zone	Area[m ²]	322.0	
	Floor height[m]	4.5	
	Ceiling height[m]	3.0	
	Wall area[m ²]	Exterior wall	: 163.14
		Inside wall	: 58.86
	Window area[m ²]	Southeast side	: 20.16
		Northwest side	: 13.44

Table 2 Simulation programs for load calculation

Load	Program
External	Google Sketchup, TRNBuild
Internal	TRNBuild
Infiltration	
Ventilation

Fig. 2 Google sketchup 7 modeling

Table 3 Wall specifications

Type	Materials	Thickness [mm]	Thermal conductivity [kJ/(h·m·°C)]	Overall heat transfer coefficient [W/(m²·°C)]
Exterior Wall	Outside	-	-	0.400
	Concrete	150	5.796	
	Glasswool	80	0.134	
	Gypsum	19	0.756	
	Inside	-	-	
Inside Wall	Inside	-	-	3.175
	Mortar	18	3.906	
	Concrete	180	5.796	
	Mortar	18	3.906	
	Inside	-	-	
Roof	Outside	-	-	0.216
	Mortar	100	3.906	
	Concrete	150	5.796	
	Insulation	155	0.134	
	Air	-	-	
	Tex	12	0.756	
	Inside	-	-	
Floor-1	Inside	-	-	1.232
	Rubber tile	4	1.428	
	Mortar	26	3.906	
	Aerated concrete	60	0.420	
	Concrete	150	5.796	
Floor-2	Inside	-	-	0.300
	Rubber tile	4	1.428	
	Mortar	26	3.906	
	Aerated concrete	60	0.420	
	Concrete	150	5.796	
	Insulation	90	0.134	
	Air	-	-	
	Tex	12	0.756	
	Outside	-	-	

Table 4 Window specifications

Materials	Thickness[mm]	Frame	U-value [W/(m²·K)]
Glass	6	Aluminum	2.85
Air	12		
Glass	6		

2.2.1 외기 및 실내 온·습도

대상 건물이 위치한 구미는 기상청에서 일사량 데이터를 제공하지 않기 때문에 대구의 기상청 제공 데이터(기온, 습도, 일사량)를 사용하였으며, 관람집회시설 실내 온·습도 기준의 중간값인 난방 21℃, 냉방 27℃, 상대습도 60%로 설정하였다.⁴⁾

Table 5 Persons and lighting schedule

Content	Schedule	
Persons	Sensible: 65 W/P Latent: 55 W/P	
	Weekday(Mon., Wed., Fri.) 00:00-09:00 : 0 09:00-12:00 : 108 (40%) 12:00-13:00 : 8 (3%) 13:00-14:00 : 135 (50%) 14:00-15:00 : 162 (60%) 15:00-16:00 : 270 (100%) 16:00-18:00 : 162 (60%) 18:00-24:00 : 0	Weekend 00:00-24:00 : 0
Lighting	322m² × 55 W/m² × 50%	
	Weekday(Mon., Wed., Fri.) 00:00-09:00 : 0 09:00-12:00 : 1 12:00-13:00 : 0.1 13:00-18:00 : 1 18:00-24:00 : 0	Weekend 00:00-24:00 : 0

Table 6 Monthly cooling and heating loads

Month	Cooling load		Heating load	
	Max[kW]	[kWh]	Max[kW]	[kWh]
1	0.0	0.0	90.6	11,135.0
2	0.0	0.0	92.1	10,273.5
3	0.0	0.0	65.6	6,944.6
4	61.5	1,740.9	6.5	1,988.5
5	71.6	2,141.0	3.4	578.6
6	44.3	1,747.6	0.0	0.0
7	75.6	3,798.2	0.0	0.0
8	83.5	4,062.8	0.0	0.0
9	47.0	1,565.9	18.4	505.5
10	11.9	106.4	37.8	3,563.4
11	0.0	0.0	56.5	6,762.3
12	0.0	0.0	91.5	11,610.2
Total	-	15,162.8	-	53,361.6

2.2.2 건물 모델링 및 조닝

Fig. 2와 같이 건물 전체를 대상으로 모델링하였으며, 평면도 기준의 방위를 적용하였다. 각 층은 천장고를 기준으로 실사용구역과 플레넘으로 구분되며, 공조 공간과 비공조 공간을 나누어 구성하였다.

건물 벽체 구성과 재료, 창호 특성은 대상 건물의 건축 설계 도서 등⁵⁾을 기준으로 작성하였으며, 이를 요약하여 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

2.2.3 실내 발열

실내 발열에 영향을 미치는 요소인 재실 인원 과 조명은 대상 건물의 건축 설계 도서를 참고하

여 Table 5와 같이 주 3회(월, 수, 금)로 계획하였다.

2.2.4 침기

침기량은 콘크리트조의 침기량을 기준으로 난방(10~3월) 0.2 회/h, 냉방(4~9월) 0 회/h로 설정하였다.⁶⁾

2.2.5 환기

환기량은 강당을 기준으로 $29 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{person})$ 를 적용하였다.^{7,8)}

Table 6은 위 조건을 적용하여 TRNSYS 17로 계산한 월별 냉난방부하이다.

2.3 열원 시스템 구성 및 사양

본 연구에서는 1개의 존에 공기열원 열펌프와 지열원 열펌프를 병렬로 연결하고 3가지 case로 구분하여 시뮬레이션 하였다. Case 1 지열원 열펌프 시스템, Case 2 공기열원 열펌프 시스템, Case 3 공기, 지열 복합 열원 열펌프 시스템(이하 복합 열원 열펌프 시스템)이다.

Fig. 3에 TRNSYS Simulation Studio를 나타내었다. 좌측 상단에 기상데이터, 좌측 하단에 지열교환기, 지열순환펌프, 중앙에 공기열원 열펌프, 지열원 열펌프를 구성하였고, 우측에 모델링한 건물과 우측 하단에 시뮬레이션 결과를 출력하도록 구성하였다.

2.3.1 제어 알고리즘 설정

열펌프의 부하율은 100%로 가정하였고, 복합 열원 열펌프 시스템은 Fig. 4의 알고리즘에 따라 1분마다 공기열원 열펌프와 지열원 열펌프를 선택 운전한다. 이 때, 사용하는 열펌프의 종류에 따라 열펌프와 부속기기의 소비 전력이 바뀐다. 공기열원 열펌프는 실외기 팬 동력이 추가되고, 지열원 열펌프는 지열 순환 펌프의 동력이 추가된다. 실내기 팬의 동력은 두 열펌프 시스템에 동일

Fig. 3 TRNSYS simulation studio

Fig. 4 Algorithm for dual-source heat pump system

Table 7 Case introduction

	Ground-source heat pump			Air-source heat pump		
Case1	On			Off		
Case2	Off			On		
Case3-1	Outsi de Air Temp. [°C] (below)	8	On	Outsi de Air Temp. [°C] (more than)	8	On
Case3-2		10	On		10	On
Case3-3		12	On		12	On
Case3-4		14	On		14	On
Case3-5		16	On		16	On

하게 적용되었기 때문에 계산에서 제외하였으며, 각 요소 기기는 시중 제품으로 구성하였다.

Table 7에 제어 방법을 case별로 정리하였다. 공기열원 열펌프와 지열원 열펌프의 성능데이터를 비교하여 기준 외기 온도(8, 10, 12, 14, 16°C) 미만일 경우 지열원 열펌프를 가동하고, 이상일 경우 공기열원 열펌프를 가동한다.

Case 3-1을 예를 들면, 외기온도 8°C 미만일 때, Table 8에 따라 지열원 열펌프 소비전력이 낮기 때문에 지열원 열펌프를 가동하고, 외기온도

Table 8 Rated power of ground-source and air source heat pump (Heating period)

Room Temp. 20℃		Heating capacity [kW]	Rated power [kW]	LWT[℃]
Ground-source heat pump	EWT [℃]	10	91.6	18.5
		15	97.9	18.1
		20	97.9	17.8
Air-source heat pump	Outside Air Temp. [℃]	7	97.9	20.1
		9	97.9	18.8
		11	97.9	17.6
		13	97.9	16.6
		15	97.9	15.9

8℃ 이상일 때, 공기열원 열펌프를 가동한다.

Table 8은 부하율 100%일 때, 지열원 열펌프와 공기열원 열펌프의 난방 능력, 소비 전력 사양의 일부이다. 외기 온도에 따라 공기열원 열펌프의 소비전력이 변하고, 인입수온에 따라 지열원 열펌프의 소비전력이 변한다. 외기온도 11℃ 이상일 때 공기열원 열펌프가 지열원 열펌프보다 소비 전력이 낮다.

2.3.2 지열원 시스템 사양

1) 열펌프

지열원 열펌프는 물순환 방식의 30HP인 삼성 DVM WATER RD300DRXH1를 적용하였다. R410A를 냉매로 사용하고, 정격 냉방 능력 87 kW, 정격 냉방 소비 전력 17.4 kW, 정격 난방 능력 97.9 kW, 정격 난방 소비 전력 17.8 kW이다.

2) 열교환기

지열교환기의 설계는 미국 Gaia Geothermal 사의 지열교환 설계 소프트웨어인 GLD⁹⁾를 사용하였다.

열펌프의 EWT(Entering Water Temperature)는 냉방 30℃, 난방 5℃로 설정하였고¹⁰⁾, 유량은 지열원 열펌프의 냉방능력과 정격유량으로 계산된 값인 11.5 (L/min)/3.5 kW를 사용하였으며, 지중 순환수를 적용하였다. 지중 초기 온도 16.7℃, 지중 열전도율 2.25 W/(m·K), 지중 열확산도 0.080 m²/day이다. 6 m 간격으로 총 6개의 보어홀

Table 9 Energy consumption

	Energy consumption [kWh/4months]					Difference [%]
	Air-s HP	Ground-s HP	Pump	Outdo or fan	Total	
Case1	0.0	519.52	124.73	0.0	644.25	0.00
Case2	642.77	0.0	0.0	71.17	713.93	10.82
Case3-1	307.77	251.33	61.73	35.67	656.50	1.90
Case3-2	174.65	359.98	87.27	21.20	643.10	-0.18
Case3-3	73.25	448.78	108.13	9.37	639.53	-0.73
Case3-4	40.67	478.72	115.13	5.33	639.88	-0.68
Case3-5	18.55	500.62	120.27	2.47	641.90	-0.36

을 배치하였다. GLD를 이용한 열교환기 길이 계산 결과, 냉방 197.9 m, 난방 188.2 m 깊이의 열교환기가 필요하여 둘 중 길이가 긴 값인 198 m을 기준으로 하여 지중열교환기를 모델링 하였다.

3) 순환펌프

지열순환펌프는 공학용 계산 프로그램인 EES (Engineering Equation Solver)를 이용하여 계산한 양정으로 Wilo PSV-6550E를 선정하였다. 양정은 밀폐 회로이기 때문에 배관 내 마찰 손실만을 고려한다. 관경 50A, 지열교환기 관경 40A로 계산한 결과, 양정은 28.34 m이다. 선정한 펌프의 정격 소비 전력 7.5 kW 이고, 펌프 효율 36.6%, 모터 효율 90%를 고려하면 실제 소비 전력은 4.01 kW이다.

2.3.3 공기열원 시스템 사양

1) 열펌프

공기열원 열펌프는 30HP인 삼성 DVM PLUS IV RD300HHXH2를 적용하였다. R410A를 냉매로 사용하고, 정격 냉방 능력 87 kW, 정격 냉방 소비 전력 20.8 kW이며, 정격 난방 능력 97.9 kW, 정격 난방 소비 전력 20.1 kW이다.

2) 실외기팬

실외기 팬은 정격 소비 전력이 630 W인 팬 4개로 구성되었으며, 이 중 3개의 팬의 풍량은 125 m³/min이고, 1개의 팬의 풍량은 100 m³/min으로

총 475 m³/min이다.

3. 연구 결과

열펌프 가동 시간을 대상으로 한 외기 온도 범위는 3월 -3~12℃, 4월 3~13℃, 10월 7~14℃, 11월 -1~13℃ 이었다.

Table 9에 Case 별 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량을 나타내었다.

공기열원 열펌프 시스템(Case 2)과 복합 열원 열펌프 시스템(Case 3)은 일부 기간 지열원 열펌프 시스템 대신 공기열원 열펌프 시스템을 가동하고, 공기열원 열펌프 시스템의 가동 시간에 따라 총 에너지 소비량이 다르다.

외기온도 12℃ 이상일 경우 공기열원, 외기온도 12℃ 미만일 경우 지열원 열펌프가 가동된 Case 3-3은 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 639.53 kWh/4months 로 비교 대상 중 가장 낮게 나타났다. 이는 지열원 단독 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 0.73% 낮은 수치이다.

외기온도 8℃ 이상일 경우 공기열원 열펌프가 가동된 Case 3-1은 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 656.50 kWh/4months 로 지열원 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 1.90% 높게 나타났다.

공기열원 열펌프만 가동된 Case 2의 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 713.93 kWh/4months 로 비교 대상 중 가장 높게 나타났다. 이는 지열원 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 10.82% 높은 수치이다.

4. 결론

본 연구는 중간기(3월, 4월, 10월, 11월)에 소비 동력이 적은 열펌프가 변동함에 따라 공기열원 열펌프 시스템과 지열원 열펌프 시스템, 공기열원과 지열원의 복합 열원 열펌프 시스템의 에너지 소비량을 비교하여 그 차이를 알아보고자 하였다.

(1) 외기온도 12℃ 이상일 때는 공기열원, 미만

일 때는 지열원 열펌프가 가동된 Case 3-3은 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 639.53 kWh/4months 로 비교 대상 중 가장 낮게 나타났다. 이는 지열원 단독 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 0.73% 낮은 수치이다.

- (2) 외기온도 8℃ 이상일 때 공기열원 열펌프가 가동된 Case 3-1은 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 656.50 kWh/4months 로 지열원 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 1.90% 높게 나타났다.
- (3) 공기열원 열펌프만 가동된 Case 2의 3, 4, 10, 11월의 합산 에너지 소비량 713.93 kWh/4months 로 비교 대상 중 가장 높게 나타났다. 이는 지열원 열펌프 시스템(Case 1)의 644.25 kWh/4months 보다 10.82% 높은 수치이다.
- (4) 복합 열원 열펌프 시스템이 지열원 열펌프 시스템보다 에너지 소비 측면에서 일부 기간 유리하게 나타났으나(Case 3-2, 3-3, 3-4, 3-5), 지열원 열펌프 시스템 대신 공기열원 시스템을 사용할 때의 가동 조건에 따라 불리하게 나타나는 경우(Case 3-1)도 있었다. 하지만 복합 열원 열펌프 시스템이 지열원 열펌프 시스템보다 에너지 소비 측면에서 유리하게 나타난 경우에도 총 에너지 소비량의 차이가 낮기 때문에 열펌프 2대를 설치해야하는 복합 열원 열펌프 시스템보다 열펌프 1대를 설치하는 지열원 열펌프 시스템이 초기 투자비용을 고려할 때 유리할 것으로 판단된다.

한편, 본 연구의 복합 열원 열펌프는 2개 열펌프의 병렬 운전 방식이며, 추후 1개의 열펌프에 2가지 열원을 사용하는 복합 열원 열펌프와의 연구가 필요하다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Cho, H. G., 2012, Recent Trends of Development of Utilized technology of Heat Pump, Machinery Industry, Vol. 42, No. 1, pp. 95-99.
2. Lee, J. Y., 2012, Heat Pump Technology for Saving Building Energy, KETEP Issue Paper, Vol. 1, pp. 3.
3. TRNSYS(Transient System Simulation program) 17.
4. Indoor temperature and humidity standards for calculation of air-conditioner capacity, 2013, Building Energy Conservation Design Standards, Korea, Attached Table 8.
5. Lee, E. G., 1990, A Development of Thermal Analysis Program for Selecting Wall Components in Energy conscious Design, Ministry of Science and Technology, Korea, pp. 33-37.
6. Chung, K. S., Kim, K. W., Ahn. B. W., 2005, Building Air Conditioning System, Sungandang, Seoul, pp. 59.
7. Public Facilities with Mechanical Ventilation System and Ventilation Rate, 2013, Regulation for Facility in Building, Korea, Attached Table 1-6.
8. ASHRAE 62.1-2004.
9. GLD(Ground Loop Design).
10. Check List of Using Ground-Source studies, 2011, Korea Energy Management Corporation, Korea, pp. 3.