

시뮬레이션에 의한 냉방-급탕 지열히트펌프 시스템 성능평가 Simulations for the Performance Evaluation of Ground Source Heat Pump Cooling System Combined with Hot Water Heat Pump

장형문* · 이규남** · 정근주***†

Xinwen Zhang*, Kyu-Nam Rhee** and Gun-Joo Jung***†

(Received 23 December 2019, Revision received 13 April 2020, Accepted 14 April 2020)

Abstract : Ground source heat pump (GSHP) can increase ground temperature and reduce system coefficient of performance (COP) during long term operation in the cooling season. This study proposed a GSHP cooling system combined with a hot water heat pump to improve the performance of the GSHP system. In the present study, the system was configured so that the condensation heat from GSHP could be used as the evaporative heat source for the hot water heat pump. This study analyzed the COP of the proposed combined system, a single cooling system and a single hot water system by TRNSYS 18 simulation. Simulation results showed that the COP of the proposed system was 37.27% higher in the cooling part and 14.40% higher in the hot water part, compared with the single heat pump system.

Key Words : Ground source heat pump(GSHP), Combination system, Condensation heat, Coefficient of performance (COP)

1. 서 론

2차원고갈과 탄소배출 심화로 인하여 지속가능한 신재생에너지의 필요성이 점점 늘어나고 있으며, 그에 따라 건물에서의 신재생에너지 사용을 늘리도록 관련 규정이 강화되고 있다.

지열히트펌프(Ground source heat pump; GSHP) 시스템은 일종의 신재생에너지로 건물 냉난방 시

스템으로 많이 활용하고 있는데,¹⁾ 이 시스템의 원리를 살펴보면 여름에는 외기 온도보다 낮고 겨울에는 외기 온도보다 높은 온도의 지중 열을 이용한다. 지중 열은 안정적이기는 하지만, 냉난방 부하가 큰 건물에서 GSHP 시스템을 장시간 운전하면 지중 온도의 변화를 피할 수 없게 된다. 이에 따라 GSHP 시스템의 성능도 점진적으로 감소되는 현상이 발생한다.

*** 정근주(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-8745-2442)
교수, 부경대학교 건축공학과
E-mail : envjung@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6907
*장형문(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-2636-7065) :
박사과정, 부경대학교 건축공학과
**이규남(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-4883-8211) :
부교수, 부경대학교 건축공학과

*** Gun-Joo Jung(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-8745-2442) : Professor, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University.
E-mail : envjung@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6907
*Xinwen Zhang(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-2636-7065) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University.
***Kyu-Nam Rhee(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-4883-8211) : Professor, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University.

김승욱 등(2005)은 히트펌프를 급탕(Domestic hot water; DHW) 열원으로 사용될 수 있지만, 국내의 지중 온도 평균값이 약 15°C 내외이므로 이러한 온도 조건으로 고온수(高温水)를 제조하는 데는 다소 어려움이 있다고 논하였다.²⁾

지열히트펌프 시스템의 성능을 개선하기 위하여, 기존 연구에서는 지열 시스템과 다른 에너지원을 사용한 시스템을 병합³⁻⁵⁾하거나 폐열을 이용하는 방안^{6,7)}을 제시한 바 있다. 또한 냉동사이클에서 열교환기를 추가하여 2단 캐스케이드 시스템을 제안하여 시스템의 성능을 개선하는 연구도 많이 진행된 바 있다.^{8,9)} 가열성능을 가지고 있는 히트펌프를 다단 캐스케이드 히트펌프 시스템으로 적용하여 고온의 급탕수를 얻기 위한 히트펌프 시스템의 성능 개선 연구를 장한별 등(2016)이 진행되어 왔다. 연구에서는 변속 가능한 압축기를 적용한 2단 승온 캐스케이드 히트펌프에 보조열교환기를 적용하여 난방용량을 10%, COP를 16.5% 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.¹⁰⁾

지중 온도의 안정화 및 시스템의 효율 개선을 고려하여 본 연구에서는 냉방용 GSHP와 급탕용 GSHP를 병합하는 복합형 냉방-급탕 GSHP 시스템을 제안하고자 한다. 제안 시스템을 적용함에 있어서 급탕부하가 많이 요구된다. 그러므로 본 연구에서는 여름철 냉방을 진행하는 동시에 급탕 수요량이 많은 사우나, 체육센터, 호텔 등 특정 건물들을 연구 대상 건물로 정하였다. 냉방기에 냉방-급탕 시스템을 적용 시 냉방용 GSHP의 응축열을 DHW 히트펌프 시스템의 증발열원으로 사용한다는 것이다. 이로써 냉방 GSHP 시스템 장시간 운전에 따른 지중온도 변화를 완화시키고 양질의 DHW 열원을 확보하여 GSHP 시스템의 성능을 개선하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 TRNSYS 18을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 기존의 단독 냉방 시스템, 단독 DWH 시스템, 제안시스템의 COP를 비교 분석하여 냉방-급탕 복합 운전에 의한 GSHP 시스템의 성능 향상 가능성을 평가하였다. 본 연구에서 제안한 냉방-급탕 GSHP 시스템은 냉방부하와 급탕부하가 동시에 지속적으로 발생하는 건물의 에

너지 절약에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 냉방-급탕 GSHP 시스템

여름 냉방 시, 지중의 온도가 외기 온도보다 상대적으로 낮아 지열을 이용한 냉방용 GSHP 시스템은 실내의 열을 흡수하여 히트펌프의 응축기를 통해 지중열교환기로 흐르는 순환수로 전달시킨다. 응축기에서 열량을 흡수한 순환수는 온도가 상승되면서 지중열교환기로 유입되어 지중열교환기를 통해 흡수된 열량을 지중으로 방출하여 냉방에 필요한 순환수 온도를 확보하게 된다. 반대로, GSHP를 난방 또는 DHW 용도로 운전할 때, 지중열교환기속의 순환수는 지중에서 열을 흡수하여 히트펌프의 증발기와 열량을 교환하여 냉각된 후 지중 열교환기로 다시 유입된다.

본 연구에서 제안된 냉방-급탕 GSHP 시스템은 Fig. 1과 같이 냉방용 히트펌프의 응축기 부분의 순환수 출수 배관을 급탕용 히트펌프의 증발기 부분의 순환수 입수 배관과 직렬연결시키고 급탕용 히트펌프의 증발기 부분의 순환수 출수 배관을 지중열교환기의 입수구와 연결하여 복합된 GSHP 시스템으로 구성한 것이다.

제안된 냉방-급탕 GSHP 시스템의 운전방식은 다음과 같다. 냉방용 GSHP 시스템에서 응축기로부터 열을 흡수한 순환수는 온도가 상승되고, 지중 열교환기로 보내지기 전에 급탕용 히트펌프로

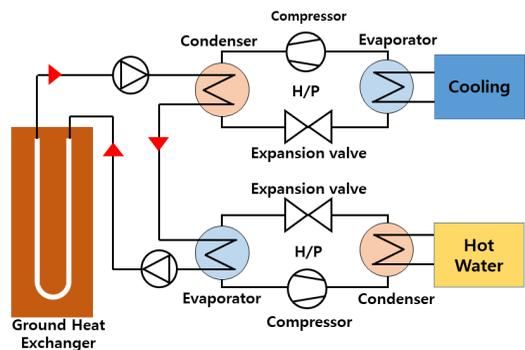


Fig. 1 Cooling & Hot water combination GSHP system

유입되어 증발기와의 열교환을 통해 일정 부분 냉각된 후 지중열교환기로 향하게 된다. 이러한 냉각과정을 거치게 되면 GSHP 시스템을 냉방 또는 DWH 단독으로 운전할 때보다 지중열교환기 입구온도를 낮출 수 있으므로, 지중의 채열 온도가 감소되어 GSHP 장시간 운전으로 인한 지중 온도 변화를 완화시키는데 유리하다. 또한 각각의 히트펌프에 필요한 지중열교환기를 하나로 통합할 수 있으므로 지중 순환수 펌프의 순환동력을 감소시킬 수 있다.

3. 시뮬레이션 모델

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구에서 제안한 냉방-급탕 GSHP 시스템을 분석하기 위해, 시스템 컴포넌트를 해석 목적에 맞게 유연하게 조합할 수 있는 TRNSYS 18을 활용하였다. 제안된 냉방-급탕 GSHP 시스템의 성능을 검증하기 위하여 소규모 건물(20 m × 16 m × 3 m)을 대상 건물로 설정하였고, 일반적으로 냉방부하의 비중이 급탕부하보다 큰 것을 감안하여 냉방용 히트펌프와 급탕용 히트펌프 용량을 약 2:1의 비율로 설정하였다.

시뮬레이션은 냉방 단독으로 운전되는 냉방용 GSHP 시스템, DWH 단독으로 운전되는 급탕용 GSHP 시스템, 그리고 복합 운전 모드인 냉방-급탕 GSHP 시스템 총 3가지 운전 모드로 진행하였다. 각 시뮬레이션에서의 시스템 구성은 Fig. 2~4에 표시한 바와 같다. GSHP 시스템의 장시간 운전이 지중 온도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단일 운전 모드에서의 지중 온도 변화를 분석하였고, 제안된 냉방-급탕 GSHP 시스템의 성능을 평가하기 위하여 복합 운전 모드에서의 냉방성능과 급탕성능을 분석하고 각각 단일 운전 모드의 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

3.2 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 냉방시즌에 급탕수요량이 많은 사우나, 호텔 등 건물을 연구대상으로 설정하였다.

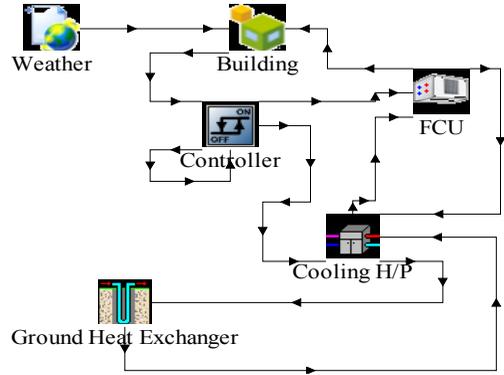


Fig. 2 Cooling GSHP system in simulation

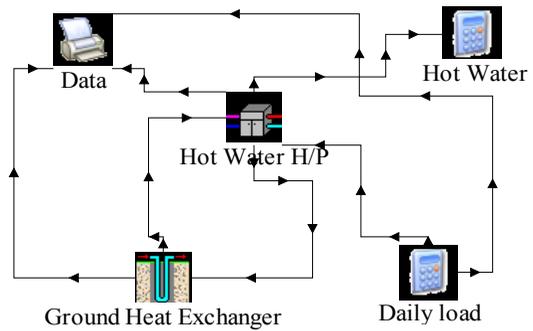


Fig. 3 Hot water GSHP system in simulation

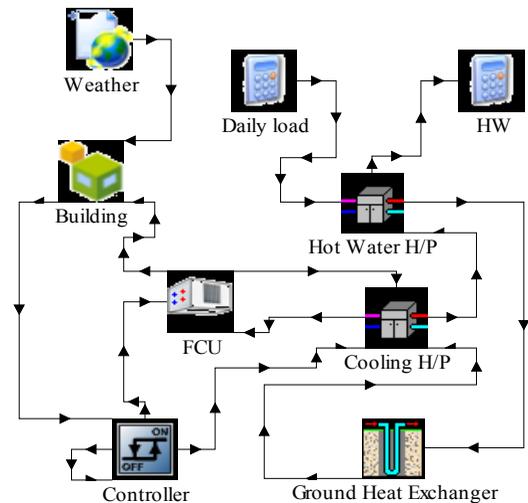


Fig. 4 Cooling & Hot water GSHP system in simulation

박화춘 등(2009)이 국내 호텔의 건물 에너지부하를 분석한 결과, 대상 호텔의 최대 냉방부하와 연간 평균 급탕부하의 비율이 약 2:1로 나타났고 호텔 등급이 높을수록 급탕부하가 크다고 제시하였다¹¹⁾. 또한 호텔, 병원, 업무용 건물의 부하 특성을 비교한 연구에서 대상 호텔에서의 냉방부하와 급탕부하의 비율이 약 8:3으로 제시한 바 있다.¹²⁾ 그리하여 본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 진행하기 위하여 냉방용 히트펌프와 급탕용 히트펌프의 용량을 2:1로 설정하였다. 시뮬레이션에서 사용되는 히트펌프는 물-물 형식(Water-water heat pump, Type927)을 선택하였고, 시중에 판매되는 GSHP의 사양을 참고하여 시뮬레이션에 사용되는 히트펌프의 냉방용량을 11.2 kW, 급탕량을 5.28 kW로 설정하였다. 냉방용 GSHP 시스템과 급탕용 GSHP 시스템에서의 지중 열교환기는 모두 200 m × 1 EA로 설정하였고, 열 물성 조건은 TRNSYS 18에 제시된 디폴트값을 인용하였다. 실내 냉방은 팬코일(4-Pipe fan coil, Type137)을 통해 이루어지는데 송풍량은 대상건물의 냉방부하 해석 결과에 근거하여 약 3600 CMH로 산정하였으며, 실내 냉

방 온도는 26℃로 설정하였다. 시뮬레이션 대상 기간은 냉방 시스템이 운전되는 하절기로서, 본 연구에서는 8월 1개월을 분석 기간으로 설정하였다. 냉방기간 중의 GSHP 시스템 성능 분석을 위해 TRNSYS 18에서 제공하는 울산 지역 기상 데이터를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 단일 모드 GSHP 시뮬레이션

GSHP 장시간 운전으로 인한 지중온도 변화를 파악하고, 지중 온도 변화가 GSHP 시스템 성능에 미치는 영향을 확인하기 위하여 지중 초기 온도를 각각 15℃, 20℃, 25℃로 설정하여 지중 온도 및 각 히트펌프의 COP를 분석하였다.

4.1.1 단일 냉방 시뮬레이션

Fig. 5는 단일 운전 모드인 냉방용 GSHP 시스템의 장시간 운전에 따른 지중온도 해석 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과에 따르면 지중 온도가 15℃인 조건에서 장시간 냉방 운전 시 지중 온도는 초기 설정 온도 15℃에서 17.14℃로 약 2.14℃ 증가하는 것으로 나타났다. 지중 온도 초기 설정 온도가 20℃, 25℃ 조건에서는 냉방용 GSHP 시스템의 운전으로 인해 지중 온도가 각각 2.17℃, 2.18℃씩 상승되었다. 즉 냉방용 GSHP 시스템 장시간 운전은 지중 온도를 상승시키고, 지중 온도 조건이 높을수록 GSHP 운전으로 인한 지중 온도 변화가 심해짐을 확인할 수 있다.

Table 2는 냉방 단독 운전 시 GSHP 시스템의 냉방량, 전력량 및 COP 분석 결과를 나타낸 것이다. 단일 운전 모드에서 히트펌프의 냉방량은 지중온도 초기 설정온도가 15℃일 때 -48,182.20 ~ -47,100.35 kJ/hr로 나타났고, 지중온도가 20℃, 25℃일 때 히트펌프 냉방량은 각각 -47,651.13 ~ -46,520.77 kJ/hr, -47,274.78 ~ -46,458.04 kJ/hr로 나타났다.

Fig. 6은 각 지중 온도 조건에서의 히트펌프 냉방량 변화를 나타내는데, 온도 제어기로 인해 냉방량 데이터가 현탕이 있으나, 전체 측정기간에서

Table 1 Main input parameter in simulation

Parameter	Value	
Ground temp'	15℃/ 20℃/ 25℃	
Bore holes	Length	200m
	No.	1 EA
	Flowrate	2100kg/hr
Cooling GSHP	Cooling capacity	11.2kW
	Cooling power	2.2kW
	Source flowrate	2100kg/hr
	Load flowrate	2100kg/hr
DHW GSHP	Heating capacity	5.28kW
	Heating power	1.8kW
	Source flowrate	83kg/hr
	Load flowrate	2100kg/hr
FCU	Air flowrate	3600m ³ /hr

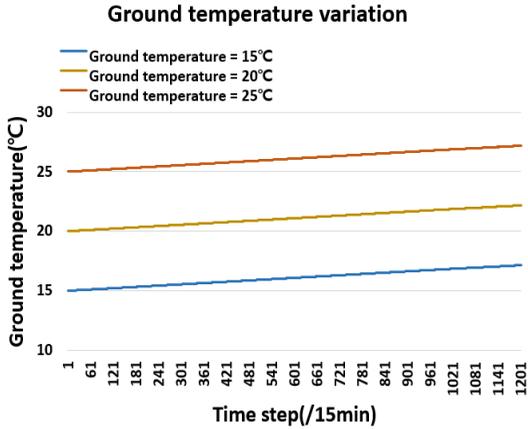


Fig. 5 Ground temperature variation in cooling-only mode

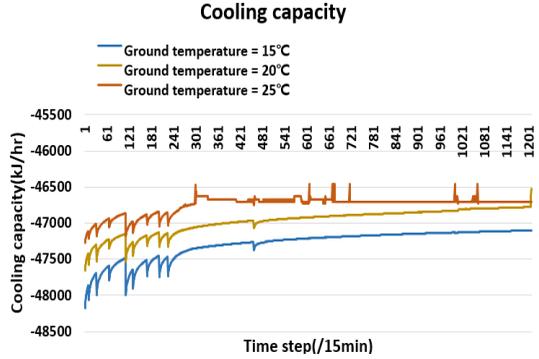


Fig. 6 Cooling capacity in cooling-only mode

Table 2 Simulation results of cooling-only mode

Ground temp'	Value	Cooling capacity (kJ/hr)	Electricity consumption (kWh)	COP
15°C	Average	-47,289.57	906.73	4.40
	Max	-47,100.35	968.28	5.67
	Min	-48,182.20	713.70	4.08
20°C	Average	-46,972.87	1,020.90	3.88
	Max	-46,520.77	1,092.34	4.98
	Min	-47,651.13	804.04	3.58
25°C	Average	-46,749.42	1,093.29	3.60
	Max	-46,458.04	1,111.89	4.38
	Min	-47,274.78	905.26	3.51

각 지중 온도 조건에서의 히트펌프 냉방량은 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 5에서 본 바와 같이 시간 경과에 따라 지중 온도가 증가하고, 그에 따라 히트펌프 냉방량이 감소된 것으로 판단된다.

각 지중 온도 조건에서의 GSHP 소비 전력량 분석 결과에 따르면, 냉방용 GSHP의 전력량은 각 지중 온도 조건에서 시간 경과에 따라 전력소비량도 증가되었음을 나타냈다. 지중 온도 초기 설정

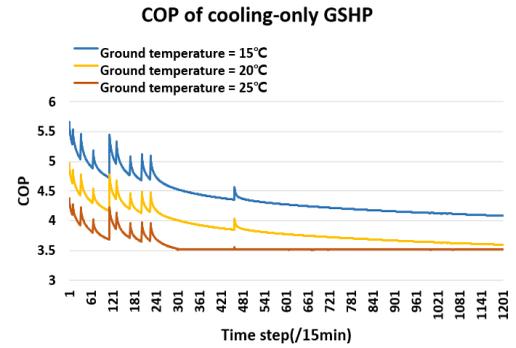


Fig. 7 COP of cooling-only GSHP

온도가 15°C에서 20°C, 25°C로 변화시킬 때 전력량의 평균값은 각각 906.37 kWh, 1020.90 kWh, 1093.29 kWh로 나타났다. 또한 지중 초기 온도 15°C 조건에서의 전력량과 25°C 조건에서의 전력량을 비교하면 전력량의 증가율은 약 20.62%이다. 즉, 지중 온도가 증가함에 따라 냉방용 GSHP의 전력소비량도 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7과 같이 냉방용 GSHP의 COP를 분석한 결과, 지중 초기 온도가 15°C, 20°C, 25°C로 변화함에 따라 냉방으로 인한 히트펌프의 COP 평균값은 각각 4.40, 3.88, 3.60로 나타났다. 지중 초기 온도 조건이 15°C일 때와 비교할 경우, 지중 초기 온도 20°C, 25°C 조건에서 냉방용 GSHP의 COP는 모두 감소되었는데 감소율은 각각 13.40%와 22.22%로 나타났다.

4.1.2 DHW 시뮬레이션

지중 온도 초기 설정온도가 각각 15℃, 20℃, 25℃ 일 때 급탕용 GSHP 시스템의 운전으로 인한 지중 온도 변화는 Fig. 8과 같다. 냉방운전과 달리 DHW 운전은 히트펌프의 증발기가 지중열교환기와 열량 교환을 통해 지중의 온열을 이용하여 DHW 가열을 이루어지므로 지중 온도를 감소시킨다.

지중 초기 온도 15℃에서 DHW 운전 시 지중 온도는 15℃에서 14.91℃, 지중 초기 온도가 20℃ 일 때 지중 온도는 20℃에서 19.88℃, 지중 초기 온도가 25℃일 때 지중 온도는 25℃에서 24.86℃로 감소되었다. 지중 초기 온도 조건이 각각 15℃, 20℃, 25℃일 때 DWH 과정에서의 지중 온도 감소량은 각각 0.09℃, 0.12℃, 0.14℃로 나타나 냉방 운전 시와 비교하여 훨씬 작은 변화량을 나타냈다. 이것은 시뮬레이션 조건 설정 시 지중 열교환기 용량을 냉방부하에 맞춰 설정하였고, 그에 맞추어 선정된 냉방 히트펌프 용량이 DWH 히트펌프 용량보다 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3은 DWH 단독 운전 시의 GSHP 시스템의 급탕량, 전력량 및 COP 분석 결과를 정리한 것이다.

Fig. 9는 DHW 시뮬레이션에서 급탕량을 분석한 결과를 표시하는데, 지중 초기 온도 15℃일 때 급탕용 GSHP 시스템 운전으로 인해 급탕량은 20,196.80 kJ/hr에서 18,631.86 kJ/hr로 감소되었고, 지중 초기 온도 조건이 20℃일 때 급탕량은 21,550.98 kJ/hr에서 19,752.40 kJ/hr로 감소되었으며, 지중 초기 온도 조건이 25℃일 때 급탕량은

23,007.78 kJ/hr에서 20,944.36 kJ/hr로 감소되었다.

Table 3에 제시한 바와 같이 급탕용 GSHP의 소비 전력량을 분석한 결과, 지중 온도 초기 조건이 각각 15℃, 20℃, 25℃로 변화할 때 DWH 히트펌프 전력량의 평균값은 각각 987.81 kWh, 1006.29 kWh, 1019.28 kWh로 나타났다. 지중 온도 조건에서는 전력소비량은 시간경과에 따라 지속적으로 감소하는 추세로 나타났다.

Fig. 10은 급탕용 GSHP 시스템에서 히트펌프의 COP 결과를 나타낸 것이다. 같은 지중 온도 조건에서의 급탕용 GSHP의 COP는 DWH 운전으로 인해 점점 감소된다. 비록 같은 지중 온도 조건에서

Table 3 Simulation results of DHW-only mode

Ground Temp'	Value	Heating capacity (kJ/hr)	Electricity consumption (kJ/hr)	COP
15℃	Average	18,884.74	987.81	3.82
	Max	20,196.80	1,008.18	4.01
	Min	18,631.86	983.53	3.79
20℃	Average	20,038.72	1,006.29	3.98
	Max	21,550.98	1,022.23	4.22
	Min	19,752.40	1,002.53	3.94
25℃	Average	21,269.11	1,019.28	4.17
	Max	23,007.78	1,036.07	4.44
	Min	20,944.36	1,015.95	4.12

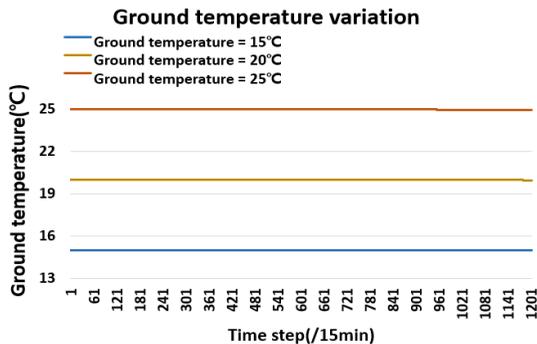


Fig. 8 Ground temperature variation in DHW-only mode

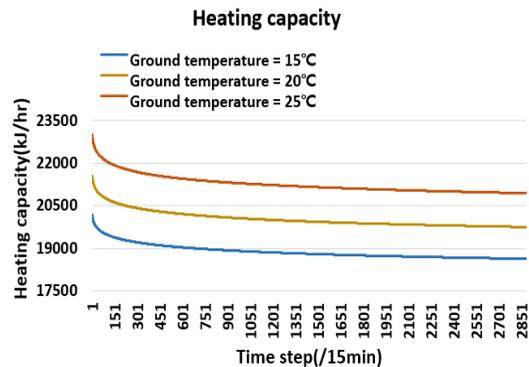


Fig. 9 Heating capacity in DHW-only mode

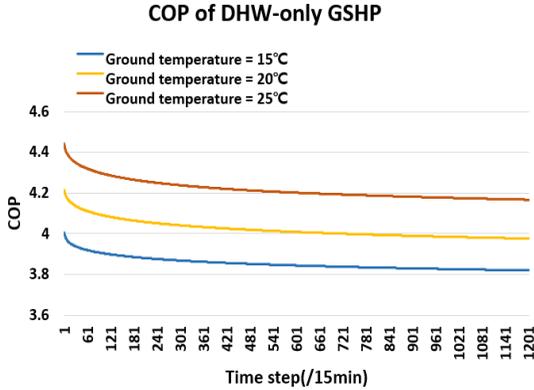


Fig. 10 COP of DHW-only GSHP

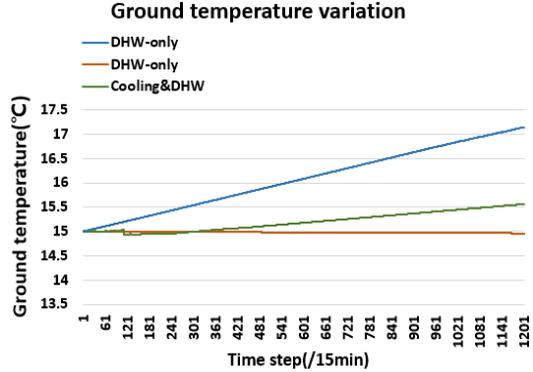


Fig. 11 Ground temperature variation in different simulation cases

급탕량과 전력소비량이 동시에 감소되었지만 급탕량의 감소율이 크기 때문에 COP 분석 결과는 감소 추세를 나타냈다. 지중 초기 온도 조건이 15°C, 20°C, 25°C로 변화시킬 때 히트펌프 COP는 평균 3.82, 3.97, 4.17로 나타났다. 지중 초기 온도 조건이 15°C일 때의 COP와 비교 시 지중 초기 온도 조건이 20°C와 25°C일 때의 COP 증가율은 각각 3.93%, 9.16%이다. 여기서 지중 온도가 증가될수록 COP도 증가되는데, 이는 높은 지중 온도 조건이 히트펌프 가열능력 증가에 유리하다는 것을 의미한다.

4.2 냉방-급탕 GSHP 시스템 성능 분석

냉방-급탕 GSHP 시스템의 성능을 평가하기 위하여 지중 초기 온도 조건을 15°C로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였고, 같은 지중 온도 조건에서의 단일 운전 모드인 냉방용 GSHP 시스템, 급탕용 GSHP 시스템의 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

Fig. 11은 3가지 운전 모드에서의 지중 온도변화를 나타낸 것이다. 냉방-급탕 GSHP 시스템 운전 시, 지중 온도는 초기 설정 온도 15°C에서 15.57°C로 약 0.57°C 증가하였다. 단일 운전 모드인 냉방용 GSHP 시스템과 같이 장시간 운전으로 인해 지중온도가 상승되었으나, 지중 온도의 증가량은 대폭 감소되었다. 그러므로 냉방시즌에 냉방-급탕 GSHP 시스템의 사용은 지중 온도 상승을 완화시킬 수 있다.

Table 4 Simulation results of cooling part (ground temperature = 15°C)

Mode	Cooling capacity (kJ/hr)	Electricity consumption (kWh)	COP
Cooling-only	-47,289.57	906.73	4.40
Cooling&DHW	-48,485.12	713.70	6.04
Change rate	+2.53%	-21.29%	+37.27%

Table 5 Simulation results of DHW part (ground temperature = 15°C)

Mode	Heating capacity (kJ/hr)	Electricity consumption (kWh)	COP
DHW-only	18,884.74	987.81	3.82
Cooling&DHW	22,573.32	1031.08	4.37
Change rate	+19.53%	+4.48%	+14.40%

Table 4와 Table 5는 냉방-급탕 GSHP 시스템 복합 운전 모드에서의 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 복합 운전 모드에서의 냉방량과 단일 냉방 운전 모드인 냉방용 GSHP 시스템의 냉방량을 비교한 결과, 복합 운전 모드에서 냉방량은 평균 -48,485.12 kJ/hr로 나타났는데, 이는 단일 냉방 모드에서의 냉방량 평균값 -47,289.57 kJ/hr보다 약 2.53% 증가된 수치이다. 복합 운전 모드에서의

급탕량과 단일 운전 모드인 급탕용 GSHP 시스템의 급탕량을 비교한 결과, 복합 운전 모드의 급탕량은 평균 22,573.32 kJ/hr로 나타났는데, 이는 단일 DWH 모드에서의 급탕량 평균값 18,884.74 kJ/hr보다 약 19.53% 증가된 것이다.

복합 운전 모드에서 냉방 및 DWH 히트펌프의 전력 소비량을 분석한 결과, 복합 운전 모드에서 냉방 히트펌프의 평균 소비된 전력량은 약 713.70 kWh, DWH 히트펌프의 평균 소비된 전력 소비량은 약 1,031.08 kWh로 나타났다. 복합 운전 모드에서의 냉방 히트펌프 전력량은 단일 운전 모드인 냉방용 GSHP에서 소비된 전력량 평균값 906.73 kWh보다 약 21.29% 감소되었고, 복합 운전 모드의 DWH 히트펌프 전력량은 단일 운전 모드인 급탕용 GSHP에서 소비된 전력량 평균값 987.81 kWh보다 4.48% 증가되었다.

복합 운전 모드에서의 각 히트펌프 COP를 분석한 결과, 복합 운전 모드에서 냉방용 히트펌프와 급탕용 히트펌프의 COP 평균값은 각각 6.04와 4.40로 나타났다. 복합 운전 모드에서의 냉방 히트펌프 COP는 단일 운전 모드 냉방용 GSHP의 COP 평균값보다 약 37.27% 증가되었고, 복합 운전 모드에서의 DWH 히트펌프 COP는 단일 운전 모드인 급탕용 GSHP의 COP 평균값보다 약 14.40% 증가되었다. 비록 전력 소비량 분석에서 복합 운전 모드에서의 DWH 히트펌프 전력량이 일부 감소되었지만, 급탕량의 증가로 인해 복합 운전 모드에서의 DWH 히트펌프의 성능은 증가되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 여름철 냉방용 히트펌프의 응축열을 회수하여 급탕용 히트펌프의 증발열에 이용하는 냉방-급탕 병합GSHP시스템을 제안하였다. 이 제안의 원리는 냉방용 히트펌프의 장시간 운전 때 따른 지중 온도 증가를 완화시키고 급탕용 증발기 순환수 온도를 높임으로써 냉방, 급탕 두 히트펌프의 성능을 동시에 개선한다는 것이다.

제안 시스템의 성능을 검증하기 위하여 냉방용, 급탕용 각각의 단일 운전모드와 병합 운전모드의 COP를 비교 분석하였다. 부가적으로 냉방용, 병합시스템의 장시간 운전 때 따른 지중 온도의 변화를 비교 분석하였다.

TRNSYS 18 프로그램을 이용하여 냉방, 급탕 단일 운전모드와 병합 운전모드의 COP를 비교 분석한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 냉방용 GSHP시스템을 단일 운전모드로 장시간 운전하였을 때, 지중 온도가 서서히 증가하였고 이에 따라 시스템의 냉방능력과 COP가 서서히 감소하는 경향을 보였다.

2) 급탕용 GSHP시스템을 단일 운전모드로 장시간 운전하였을 때, 지중 온도가 서서히 감소하였고 이에 따라 시스템의 급탕능력과 COP가 서서히 감소하는 경향을 보였다.

3) 제안된 냉방-급탕 병합GSHP시스템을 병합 운전모드로 장시간 운전하였을 때, 지중 온도 증가 폭은 냉방용 시스템의 단일 운전모드보다 낮게 나타났다. 이는 냉방용 히트펌프의 응축열이 급탕용 증발열로 바로 회수 이용됨으로써 나타난 것이라 할 것이며, 냉방-급탕 병합 운전모드에서 냉방용, 급탕용 각각 히트펌프의 COP를 증가시킨 원인으로 본다.

4) 냉방-급탕 병합GSHP시스템의 병합 운전모드에서 냉방용 히트펌프의 COP는 냉방용 GSHP 단일 운전모드보다 37.27% 증가하였고, 급탕용 히트펌프의 COP는 급탕용 GSHP의 단일 운전모드보다 14.40% 증가한 것으로 나타났다.

끝으로 본 연구의 결과가 시뮬레이션에 의하여 수행되었으므로 실제 시스템과 약간의 오차가 있을 수 있다. 이에 따라 앞으로 본 연구 제안시스템에 관한 Mock-up실험, 건물 적용 실험 등이 더 필요한 것으로 본다.

후 기

이 논문은 2017년도 한국연구재단 이공학개인 기초연구지원사업으로 지원을 받아 수행한 연구 과제임(과제번호 : 2017R1D1A1B03034349).

Author contributions

X. W. Zhang; Data curation, Formal analysis, Investigation, Writing - original draft. K. N. Rhee; Validation, Writing - review & editing. G. J. Jung; Conceptualization, Project administration, Supervision, Writing - review & editing.

References

1. B. S. Kim, 2009, "The Energy Performance Analysis of Ground Heat Source Heat Pump System Installed in Green Home", Architectural Institute of Korea, Vol 25, No. 9, pp. 339-346.
2. S. O. kim, M. S. Suh and C. H. Kwak. 2005, "Climatological Characteristics in the Variation of Soil Temperature in Korea", Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 26, No. 1, pp. 93-105.
3. L. I. Lubis, M. Kanoglu, I. Dincer and M. Arosen, 2011, "Thermodynamic Analysis of a Hybrid Geothermal Heat Pump System", Geothermic, Vol. 40, pp. 233-238.
(<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2011.06.004>)
4. Y. Yi, H. X. Yang and Z. H. Fang, 2008, "Study on Hybrid Ground-Coupled Heat Pump Systems", Energy and Buildings, Vol. 40, pp. 2028-2036
(<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.05.10>)
5. Y. J. Nam, 2012, "Study on the Optimum Design of a Heat Pump System Using Solar and Ground Heat", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No.6, pp. 509-514.
(<https://doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.6.509>)
6. Y. C. Park, L. Song and G. S. Ko, 2018, "Performance Analysis on a Heat Pump System using Waste Heat", Transactions of the Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 53-60.
(<http://doi.org/10.17664/ksgee.2018.14.4.053>)
7. N. C. Baek and U. C. Shin, 2003, "An Analysis of Heat Pump System for Hot Water Supply Using Hot Spring Watewater as a Heat Source", Architectural Institute of Korea, Vol. 19, No. 4, pp. 187-194.
8. H. K. Oh and C. H. Son, 2012, "Performance analysis of a R744 and R404A cascade refrigeration system with internal heat exchanger", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 38-43.
(<http://doi.org/10.9726/kspse.2012.16.1.038>)
9. P. H. Kim, B. H. Lee, H. M. Jeong, H. S. Chung and C. S. Kim, 2007, "The Characteristic of Propane(R290)-Ethane(R170) as Refrigerant in the Cascade Refrigeration System", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 50-55.
10. H. B. Jang and M. Choi, 2016, "Study on the Performance of a Cascade Heat Pump with Two-stage Water Heating Process", Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 12, No. 4, pp. 27-32.
z(<http://doi.org/10.17664/ksgee.2016.12.4.027>)
11. H. C. Park and M. Chung, 2009, "Building Load Models for Hotels in Korea", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 4, pp. 48-57.
12. H. C. Park and M. Chung, 2009, "Comparison of Energy Demand Characteristics for Hotel, Hospital, and Office Buildings in Korea", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 553-558.