

태양열 및 지중열원을 이용한 히트펌프 시스템의 최적이용법에 관한 연구

남 유 진[†]
청주대학교 건축공학과

Study on the Optimum Design of a Heat Pump System Using Solar and Ground Heat

Yujin Nam

Department of Architecture, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

(Received April 17, 2012; revision received May 2, 2012)

ABSTRACT: In this research, a heat pump system with a heat source network is suggested which utilizes solar heat and ground heat as heat source for cooling and heating. This paper describes the summary of the suggested system and the results of the annual energy simulation. The heating and cooling loads, the electric consumption and the COP were calculated by TRNSYS 16 and evaluated in the cases of different local conditions and different system compositions. In the results, the superiority of the suggested system has been quantitatively evaluated comparing with the conventional heat pump system using one heat source. Furthermore, it was more significant in cold climate, in which the heating COP was 146% increased compared the air source heat pump system, than it in subtropical climate, 119% increased.

Key words: Ground source heat pump(지열 히트펌프 시스템), Energy simulation(에너지시뮬레이션), Case study(케이스스터디)

1. 서 론

건축과 관련된 에너지소비량은 전 세계 에너지소비량의 약 40%를 차지하고, 그 중 절반 이상이 냉난방 및 급탕에서 사용되는 에너지가 차지하고 있어, 획기적인 에너지저감을 위해서는 고효율 냉난방 및 급탕 시스템의 개발이 절실하다. 이러한 배경에서 고효율 히트펌프와 신재생에너지 이용 기술이 주목을 받고 있고, 정부 또한 '그린에너지 전략 로드맵 2011'에서 히트펌프를 핵심적 역량 사업의 하나로 지정하여 연

구개발 사업을 추진하고 있다. 한편, 히트펌프의 이용에 있어 태양열이나 지열과 같이 공기열원에 비해 보다 효율적인 열원을 이용하는 기술은 히트펌프의 개발과 함께 진행되어 왔으며, 최근 시스템 개발 및 실용화 연구가 가속화되고 있다. 하지만, 태양열이용 시스템은 집열시간과 이용시간의 불일치, 외기 열손실로 인한 집열효율저하 등의 단점을 극복해야 하고, 지열시스템 또한 초기투자비 저감, 지중온도 회복 등의 과제를 가지고 있다.

이를 극복하기 위해, 태양열과 지열을 결합하여 효율적으로 이용하는 기술개발에 관한 연구들이 국내외에서 이루어지고 있다. Ozgener and Hepbasli⁽¹⁻³⁾는 태양열 및 지중열원을 이용한 히트펌프 난방시스템의 성능분석을 실시하였고, 실험결과를 통해 가장

[†] Corresponding author

Tel.: +82-43-229-8479; fax: +82-43-229-8475

E-mail address: namyujin@cju.ac.kr

효율적인 운전결합을 제시하였다. 또한, 엑서지 모델링을 이용한 파라미터 분석을 통해 태양열과 지열을 결합한 시스템의 우위성을 확인하였다. 더욱이, Yang et al.⁽⁴⁾은 수치시뮬레이션을 이용하여 태양열-지열 히트펌프 시스템의 다양한 설계 및 운전조건에서의 성능검토를 실시하였다. 한편, 저자는 Miyuchi 등과의 선행연구⁽⁵⁻⁷⁾에서 다열원 다목적 히트펌프 시스템을 개발하고, 실증실험을 통한 성능평가를 실시하였다. 하지만, 태양열과 지열을 동시에 이용하는 시스템에 대해 지역적 특성을 반영한 설계지침의 구축이 미비하고, 정량적 분석을 통한 경제성 평가에 대한 연구는 드물다. 다열원 다목적 히트펌프 시스템을 보다 효율적으로 설계하고 이용하기 위해서는 다양한 조건에서의 최적설계가 가능한 설계수법이 필요하다. 본 연구는, 공기열원 및 태양열, 지열을 동시에 이용하는 히트펌프 시스템을 위해, 시스템성능 해석모델을 구축하고 케이스스터디를 통해 최적설계 및 운전수법을 검토하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 동적 에너지 시뮬레이션 툴을 이용한 해석모델의 구축 및 태양열과 지열을 이용하여 건물의 냉난방을 담당하는 히트펌프 시스템의 성능검토에 대해 서술한다.

2. 대상 시스템의 개요

Fig. 1은 공기열원 및 태양열과 지열을 동시에 이용하는 다열원 다목적 히트펌프 시스템의 개념도를 나타낸다. 본 시스템은 열원기기로 태양열 집열판,

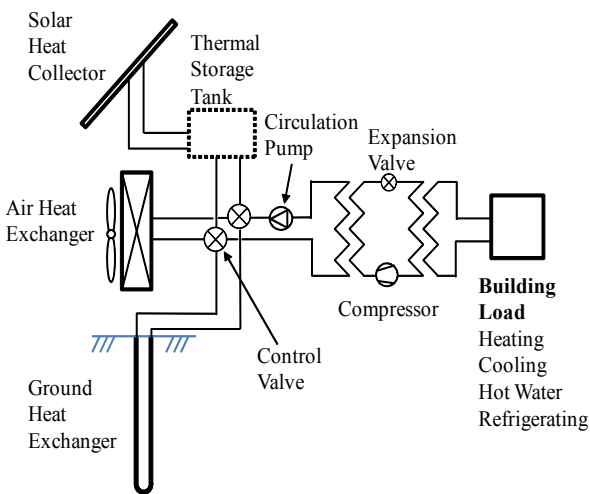


Fig. 1 Conceptual diagram of the heat pump system with heat source network model.

공기열(물-공기) 열교환기 및 지중열교환기를 가지고 있으며, 이것은 물 루프 배관으로 연결된다. 각각의 열원온도를 감지하여 가장 효율적인 열원을 제어 밸브와 순환펌프를 통해 히트펌프로 공급하는 구성으로 되어 있다. 또한, 운전스케줄, 열교환량, 온도레벨 등과 같은 조건에 따라 축열조를 추가적으로 설치하게 되는 시스템이다. 한편, 지중온도의 안정화를 위해, 본 시스템의 열원은 급탕, 냉방 및 냉난방 등 다목적으로 이용되어 연간 지열이용량의 밸런스를 확보를 가능하게 한다. 본 논문에서는 열원의 효율적 이용에 초점을 두어 운전방식에 따른 시스템 성능을 비교 분석하였다.

3. 해석 모델의 개요

3.1 해석개요

본 연구에서는 멀티존의 냉난방 계산과 함께 다양한 조건에서의 시스템 효율을 검토하기 위해, 동적 에너지 시뮬레이션 툴 TRNSYS 16(Transient Systems Simulation Program)을 이용하여 시스템 모델 구축 및 케이스스터디를 실시하였다. 물-물 히트펌프 모델(Type668)은 태양열 집열기 모듈(Type73)와 지중열교환기 모듈(Type557)을 연결하여, 건물의 냉방 및 난방 열원을 공급한다. 또한, 제어모듈을 통해 난방에서는 상대적으로 높은 온도의 열원을, 냉방에서는 낮은 온도의 열원을 선택하도록 시스템을 구성하였다. Fig. 2는 열원 제어 모듈의 흐름도를 나타낸다. 한

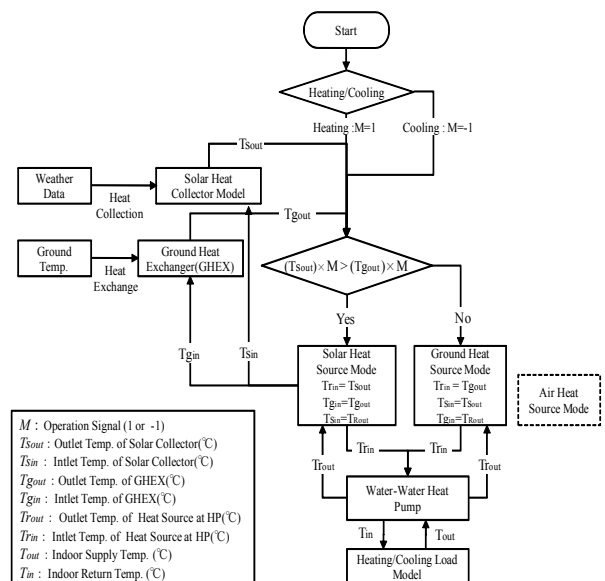


Fig. 2 Control flow of heat source.

편, 공기열원 시스템은 전체 열원시스템과 연결하지 않고, 같은 조건에서 공기열원 히트펌프 모듈(Type 665)을 이용하여 성능계산을 실시하였다. Fig. 3은 난방 및 냉방시의 열원온도조건에 따른 히트펌프의 성능변화 곡선을 나타낸다.

3.2 해석 조건

Fig. 4는 건물모델의 평면도와 기준층의 외피 단면도를 나타낸다. 냉난방 대상 건물은 연면적 6,600 m²의 지상 8층 오피스 건물로 가정하였다. 외벽은 판재(0.012 m), 폴리스틸렌(0.025 m), 일반콘크리트(0.35 m), 시멘트모탈(0.2 m)와 타일(0.008 m)로 구성되어 있고, 내벽은 시멘트모탈(0.02 m), 일반콘크리트(0.15 m)와 시멘트모탈(0.02 m)의 순으로 구성되어 있다. Table 1은 대상 건물의 냉난방부하 조건을 나타낸다. 재실자에 의한 내부발열은 ISO7730에 근거하여 현열 75 W, 잠열 75 W로 설정하였다. 본 계산에서 태양열집열판과 지중열교환기를 가진 히트펌프 시스템은 기준층 두 개 실의 냉난방을 담당하는 것으로 가정하였다. 또한 도입 지역은 온난기후지역으로서 서울(연평균온도 12.5°C)과 아열대지역으로서 일본 카고시마(연평균온도 18.9°C)를 선정하여 해석을 실시하였다. 케이스 스터디는 각 케이스의 시스

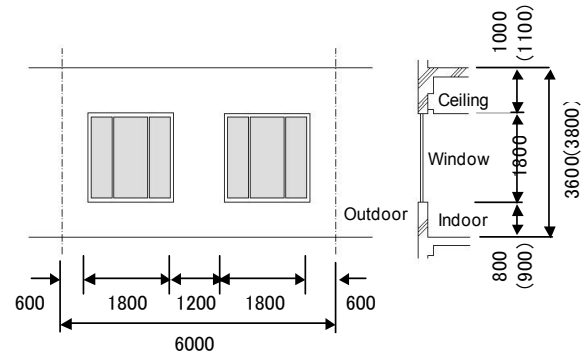
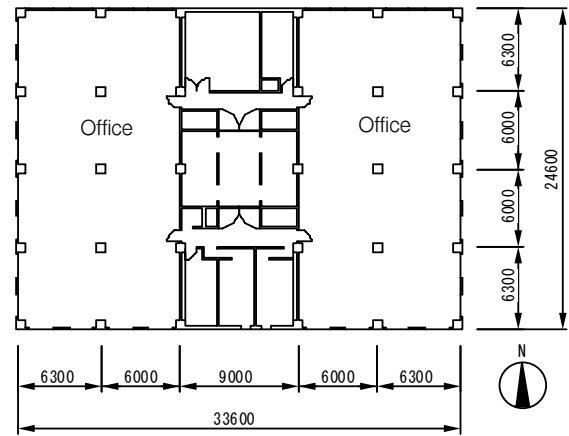
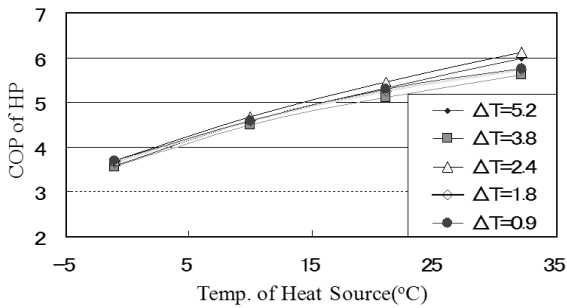
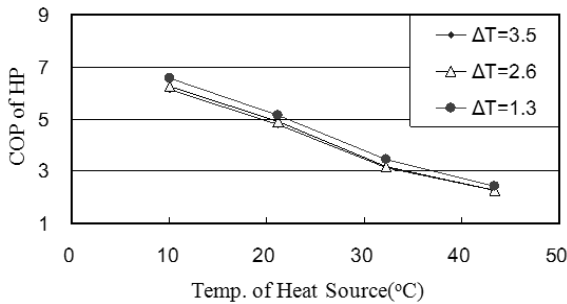


Fig. 4 Building model for simulation.



(a) Heating Mode



(b) Cooling Mode

Fig. 3 The performance curve of a Heat pump.

Table 1 Simulation condition

Design Temperature	Summer 26°C Winter 22°C
U-Value [W/m ² K]	External Wall 0.71 Glass 5.72 Internal Wall 3.70 Ceiling/Floor 3.08
Operation Time	9 A.M.~6 P.M.
Lighting Equipment	20 W/m ² 10 W/m ²
Density of Persons	0.20 person/m ²
Air Exchange Rate	1.2 Times/h

템성능을 파악하고 태양열 및 지열 이용 시스템의 우수성을 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 실시하였다. 한편, 태양열 집열기는 집열효율이 0.7, 열손실 계수가 0.28 W/m²K, 플레이트의 흡수율이 0.8, 집열기경사각 45도인 것으로 설정하였다. 또한 지중열교환기는 콘크리트 충전식의 싱글 U튜브 보어홀 타입(내경 27 mm, 깊이 100 m, 열전도율 0.41 W/mK)

으로 설정하고, 토양의 유효열전도율은 1.30 W/mK로 설정하였다.

4. 해석결과

4.1 단기운전 해석결과

Fig. 5와 Fig. 6은 Case 1과 Case 7의 난방 대표일(1월 14일)에 대한 계산결과로서, 지열 및 태양열원의 온도, 히트펌프의 전력소비량(E.C.), 히트펌프 COP의 변화를 나타낸다. 운전개시와 함께 지중열원과 태양열원 중 높은 온도를 유지하는 지중열원을 이용하게 되지만, 일사량이 많은 정오 부근에서 태양열원을 이용하게 되어, 결과적으로 히트펌프 COP가 상승하는 현상을 볼 수 있다.

하지만, 서울의 경우, 외기온에 의한 태양열집열판의 손실열량이 커서 태양열원에 의한 운전시간은 상대적으로 짧았다. 한편, 오후 14시 이후는 거의 지중열원으로 운전하게 되어 지중열원수의 온도저하가 현저하게 나타났고, 운전이 끝난 18시 이후에는 지중열원수 온도가 회복되는 것을 확인할 수 있었다. Case 1의 계산 결과, 본 시스템의 히트펌프 평균

COP는 5.34로서 동일 조건에서 실시한 공기열원의 평균 COP(2.17) 및 지중열원의 평균 COP(4.58)에 비해 각각 146%, 17%의 성능향상을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 한편, 아열대 기후에서 실시한 Case 6의 결과(Fig. 6)에서는 태양열 집열판의 면적을 Case 1의 절반으로 설정했음에도 불구하고, 카고시마의 높은 일사량(1일 일사량 8.55 MJ/m²)에 기인하여 상대적으로 높은 집열온도를 유지할 수 있었다. 그 결과, 태양열원과 지열원을 동시에 이용한 케이스의 평균 히트펌프 COP는 6.09로, 공기열원 이용시의 COP 2.78과 지열원 단독 이용시의 COP 5.61보다 높았다.

4.2 장기운전해석 및 케이스스터디 결과

본 연구에서는 태양열 집열판(Solar Heat Collector, SHC) 및 지중열교환기(Ground Heat Exchanger, GHE)의 설치용량 변경시의 시스템 성능을 비교검토하기 위해 케이스스터디를 실시하였다. Table 2는 각 케이스의 시스템 용량 조건을 나타낸다. 난방 운전은 1월 5일부터, 냉방운전은 7월 4일부터 각각 1개월간 실시하여 평균 히트펌프 COP를 산출하였다.

Fig. 7 및 Table 3은 시스템 용량을 변화시킨 케이스스터디의 결과로서 냉난방기간의 평균 COP를 각각 나타낸다. Case 1~Case 3은 서울에서의 도입을 가정한 결과로 동일 SHC의 면적에서 GHE의 길이를 변화시킨 결과를 나타낸다. 그 결과, GHE의 길이가 감소함에 따라, 난방과 냉방 COP가 동시에 감소되는 것을 볼 수 있으며, 냉방 COP의 감소가 현저한 것을 알 수 있다. 또한, Case 4, Case 5에서 SHC의 면적을 Case 1에 비해 절반으로 줄였음에도 불

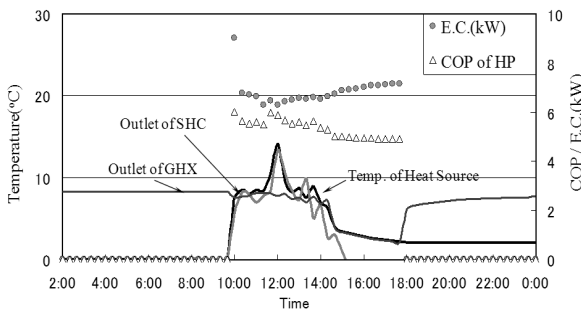


Fig. 5 Calculation result of heating (Seoul, 13th January).

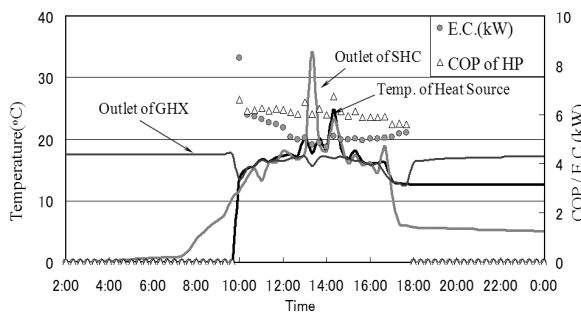


Fig. 6 Calculation result of heating (Kagoshima, 13th January).

Table 2 Calculation cases

Case	Location	Total Area of SHC[m ²]	Total Length of GHE[m]
1	Seoul	100	500
2	Seoul	100	300
3	Seoul	100	100
4	Seoul	50	500
5	Seoul	50	100
6	Kagoshima	100	500
7	Kagoshima	50	500
8	Kagoshima	20	500
9	Kagoshima	10	500
10	Kagoshima	10	100

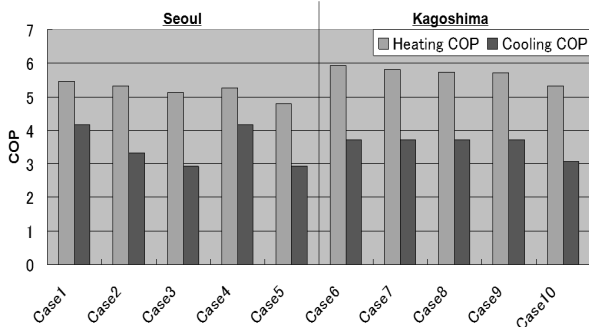


Fig. 7 Heating and cooling COP of all cases.

Table 3 Calculation results of heat pump COP

Case	Location	Heat Pump COP	
		Heating	Cooling
1	Seoul	5.45	4.17
2	Seoul	5.32	3.33
3	Seoul	5.12	2.93
4	Seoul	5.26	4.17
5	Seoul	4.80	2.92
6	Kagoshima	5.93	3.73
7	Kagoshima	5.82	3.73
8	Kagoshima	5.73	3.73
9	Kagoshima	5.72	3.73
10	Kagoshima	5.32	3.08

구하고 히트펌프 COP에 큰 영향이 없는 것으로 보아, 본 대상건물에서는 50 m² 이상의 태양열 집열판이 전체 시스템 성능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 오히려, 서울의 경우, GHE의 길이가 냉난방성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Case 1과 Case 4(GHE 길이 500 m)에서는 SHC의 면적 변화가 히트펌프 COP 변화에 큰 영향을 주지 못했으나, Case 3과 Case 5(GHE 길이 100 m)에서는 SHC 면적변화에 따른 COP 차이가 비교적 현저하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 지중열원이 일정량 이상 확보되어 있을 경우, 태양열원의 면적은 전체 시스템 성능에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 시사하고 있다.

한편, 카고시마의 경우, Case 6의 냉난방 COP가 가장 높은 것으로 나타났다. Case 1과 Case 6을 비교하면, 카고시마에서는 난방시 서울의 경우보다 높은 열원온도와 태양일사량을 확보할 수 있어, 난방 COP가 약 9% 높은 것으로 나타났다. 하지만, 냉방의 경우, 서울이 보다 낮은 지중온도를 유지하고 있어,

약 12% 높은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 Case 9는 Case 1에 비해 태양열 집열면적이 1/10에 지나지 않음에도 불구하고 난방 COP가 Case 1에 비해 약 5% 높은 것으로 나타났다. 이것은 태양일사량 및 연중 기온이 비교적 높은 지역에서는 지열로 냉난방의 베이스 부하를 담당하고, 태양열 집열면적을 작게 설치하는 것이 효율적일 수 있다는 것을 시사한다.

5. 결 론

본 연구에서는 태양열 및 지열을 이용한 히트펌프 시스템의 최적설계를 위해 동적 에너지 시뮬레이션을 통한 시스템 성능해석을 실시하였다. 기후 조건이 다른 두 지역에서 다양한 도입조건에 따른 시스템 성능 변화를 비교 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 시스템만으로 냉난방을 실시할 경우, 난방 COP는 태양열 집열판의 면적과 지중열교환기의 길이에 의존하며, 냉방 COP는 지중열교환기의 길이에만 좌우되는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 냉방부하가 비교적 많은 건물의 경우, 지열로 건물의 기본 부하를 담당하고, 태양열 집열면적을 작게 설치하는 것이 효율적일 수 있다.

(3) 본 시스템은 추운 기후일수록 기존 공기열원에 비해 상대적 우위를 가질 수 있으며, 부하 조건에 따른 최적 도입 용량을 결정할 수 있다.

본 연구에서는 태양열 및 지중열교환량, 히트펌프의 성능해석에 있어 예측 모델을 통한 검토를 실시하였으나, 보다 정확한 검토를 위해서는 실물 성능 실험과 연계한 성능 분석이 필요할 것으로 고려된다. 향후, 실증 실험을 통한 예측 모델의 개선과 다양한 열원을 복합한 히트펌프 시스템의 개발을 실시할 예정이다.

후 기

이 논문은 2010~2012학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

참고문헌

- Ozgener, O. and Hepbasli, A., 2007, A review on the energy and exergy analysis of solar as-

- sisted heat pump systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp. 482-496.
2. Ozgener, O. and Hepbasli, A., 2005, Performance analysis of solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating : an experimental study, *Building and Environment*, Vol. 40, pp. 1040-1050.
 3. Ozgener, O., Hepbasli, A., and Ozgener, L., 2007, A parametric study on the exergoeconomic assessment of a vertical ground-coupled(geothermal) heat pump system, *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 1503-1509.
 4. Yang, W. B., Shi, M. H., and Dong, H., 2006, Numerical simulation of the performance of a solar-earth source heat pump system, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, pp. 2367-2376.
 5. Miyauchi, K. Ooka, R., Nam, Y. J., Hino, T., and Harada, Y., 2010, Feasibility Study and Development of Multi-Source and Multi-Use Heat Pump System, 10th REHVA WORLD CONGRESS, Clima 2010, Antalya, Turkey, CD-Rom.
 6. Harada, Y., Ooka, R., Sato, H., Nam, Y. J., Hino, T., and Miyauchi, K., 2010, Real-scale Experiment of Multi-Source and Multi-Use Heat Pump System, 10th REHVA WORLD CONGRESS, Clima 2010, Antalya, Turkey, CD-Rom.
 7. Nam, Y. J., Kato, S., Ooka, R., and Lee, S. H., 2010, Study on a heat pump system using heat source network model with solar and ground source; Development of simulation model, Annual Conference of Architectural Institute of Japan, Toyama, Japan, CD-Rom.