

태양열 및 지열 이용 히트펌프 시스템의 성능예측 시뮬레이션에 관한 연구

Study on the Performance Prediction Simulation of the Heat Pump System using Solar and Geothermal Heat Source

남유진*† , 가오신양**
Nam Yu-Jin*† and Gao Xin-Yang**

(Submit date : 2014. 4. 28., Judgment date : 2014. 4. 28., Publication decide date : 2014. 06. 23.)

Abstract : Recently, the use of renewable energy has been attracted due to the interest in energy-saving and the reduction of CO2 emission. In order to reduce the energy consumption of the cooling and the heating in the field of the architectural engineering, heat pump systems using renewable energy have been developed and used in various applications. In many researches, integrated heat pump systems are suggested which use solar and geothermal heat as the heat source for cooling and heating. However, it is still difficult to predict the performance of the systems, because the characteristic of heat exchange in each system is complicated and various. In this system, the performance prediction simulation of the heat pump was developed using a dynamic simulation model. This paper describes the summary of the suggested systems and the result of the simulation. The average temperature of the heat source, heating loads and COP were calculated with the cases of different local conditions, different system composition and different operation time by TRNSYS 17.

Key Words : 태양열(Solar heat), 지열(Ground heat), 시뮬레이션(Simulation), 케이스스터디(Case study), 열원시스템 (Heat source system)

1. 서 론

최근, 고유가와 지구온난화로 인해 건물 에

너지 절약 및 탄소배출 저감에 대한 관심이 집중되고 있다. 또한, 건축과 관련된 에너지소비량은 전 세계 에너지소비량의 약 40%를 차

*† 남유진: 청주대학교 건축공학과
E-mail : namyujin@cju.ac.kr, Tel : 043-229-8475
**가오신양 : 청주대학교 석사과정

*† Nam Yujin : Department of Architectural engineering, Cheongju University.
E-mail : namyujin@cju.ac.kr, Tel : 043-229-8475
**Gao Xin-Yang : Department of Architecture Engineering, Cheongju University.

지하고, 그 중 50% 이상이 냉난방 및 급탕에서 사용되는 에너지가 차지하고 있다. 이러한 국내외 상황 속에 에너지 절약에 관한 관심이 지속되고 있는 가운데 신재생에너지와 고효율 히트펌프 이용 기술이 주목을 받고 있다. 하지만, 태양열시스템은 외기에 의한 열손실로 인한 집열효율저하, 집열시간과 이용시간의 불일치 등의 단점을 가지고 있고, 지열시스템은 지중온도 회복문제를 극복해야 한다. 이를 해결하기 위해, 국내외에서 태양열과 지열을 결합하여 효율적인 시스템에 관한 연구가 이루어지고 있다. Kang et al.(1)은 시뮬레이션을 이용하여 태양열-지열 하이브리드 히트펌프 시스템에 대한 성능분석을 실시했으며 일사량 및 히트펌프 작동온도는 시스템의 자동시간 및 성능계수에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

또한, Yang et al.(2)은 신재생 열원대응 하이브리드 히트펌프의 성능실험 실시하였다. 한편, Xu et al.(3)은 태양열과 공기열원 히트펌프의 성능실험을 통해 일사량이 부족한 날이라도 급탕온도가 55°C 이상을 지킬 수 있는 시스템을 개발하였다. 하지만, 태양열과 지열을 동시에 이용하는 하이브리드 시스템은 시공 및 설계 시 고려사항이 복잡하고 운전수법이나 지침이 확립되어 있지 않아 보급이 미진한 상황이다.

본 연구에서는 태양열 및 지열 이용 히트펌프 시스템의 설계 및 운전수법의 최적화를 위해 동적해석 시뮬레이션코드(TRNSYS 17)를 이용하여 시스템 성능예측 모델을 개발하였다. 또한, 태양열-지열 통합시스템의 다양한 조합을 고려하여 각 조합에 대한 동계 난방운전 성능검토를 실시하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션의 개요와 성능검토 결과에 대해 서술한다.

2. 연구 방법

2.1 대상 시스템 개요

Fig. 1은 본 연구에서 설정한 태양열원 및 지열 동시 이용 하이브리드 히트펌프 시스템의 개념도를 나타낸다. 시스템 1은 가장 단순한 시스템 구성으로서 태양열 컬렉터에 수집된 태양열과 지중열교환기를 통해 수집된 지열 중 보다 높은 열원을 감지하여 제어밸브와 순환펌프를 통하여 히트펌프의 열원으로 공급하는 시스템이다. 사용된 열원은 히트펌프를 통하여 다시 태양열 컬렉터 또는 지중열교환기로 환수되어 돌아간다. 본 연구에서는 태양열원의 집열시간과 난방시간의 불일치로 인한 문제를 해결하고자, 축열조를 추가하는 시스템 구성에 대한 성능 검토를 실시하였다. 시스템 2는 태양열원측에 축열조를 설치하고, 태양열 컬렉터에서 집열되는 열원의 온도가 60°C 이상일 경우에 펌프가 가동하여 축열되며, 축열조에 저장된 태양열과 지열 중 더 높은 열원의 온도를 채택하여 난방에 적용하는 시스템 구성이다. 한편, 시스템 3은 태양열 컬렉터에서 집열되는 60°C 이상의 태양열이 이용되며, 지열은 축열조 온도가 60°C 이하가 되면 운전하는 방식으로 구성되었다.

2.2 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 건물 난방부하 계산 및 시스템 성능 해석을 동시에 실시하기 위해, 동적 해석시뮬레이션(Trnsy17)을 이용하여 시스템 모델식을 구축하고 각 시스템 구성 및 운전 조건에서의 성능 검토를 실시하였다. 해석 모델은 관형 튜브 Solar Collector(Type 565), 수직형 지중열교환기(Type 557) 및 물-물 히트펌프 모델을 결합한 구성으로 하였으며, 각각의 모델은 미분방정식에 모듈화되어 있다. 또

한, 스템 2와 시스템 3의 해석에서는 축열조 모듈(Type4a)을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다.

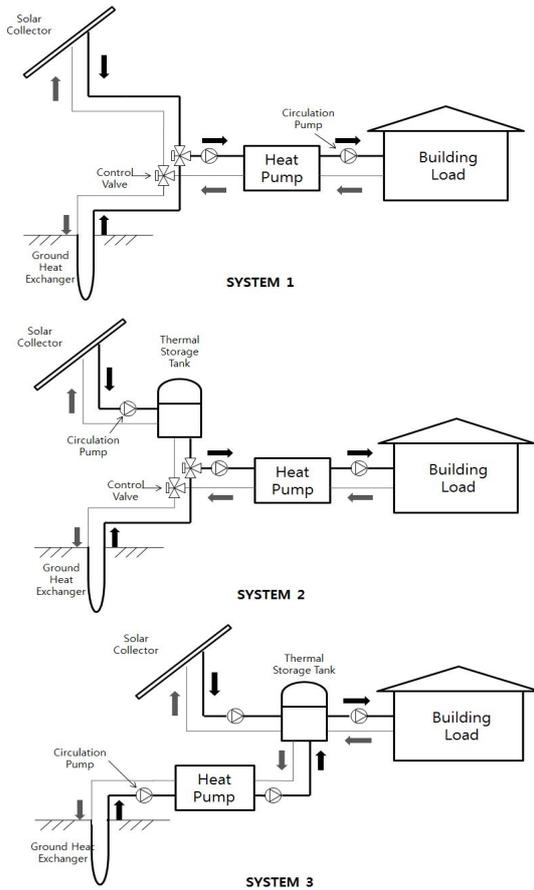


Fig. 1 Conceptual diagram of the heat pump system

2.3 시뮬레이션 조건

Table 1은 시뮬레이션 조건의 개요를 나타낸다. 주택의 면적은 10m×10m×3m으로 설정하였으며, 외벽 창문 및 바닥의 열관류율은 각각 0.418, 0.193, 0.583로 설정하였다. 겨울철 실내 설계 온도는 22℃로 설정하였다. 주택모델의 난방은 바닥복사난방시스템을 적용한 것으로 가정하였고, 파이프 간격은 0.2m, 파이프

Table. 1 Simulation conditions

Design Temperature	Winter 22℃	
	Summer 26℃	
Building Area(m ²)	10×10×3	
U-Value(W/m ² K)	External Wall	0.418
	Ceiling	0.193
	Floor	0.583
Operation Pattern	Op 1	6 P.M.-8 A.M.
	Op 2	9 A.M.-6 P.M.
	Op 3	all day
Calculation Time	1400hour	

의 관경은 0.02m로 설정하였다. 또한, 열원 측 유량은 2000Kg/hr, 부하 측 입구온도와 유량은 각각 60℃, 1000Kg/hr로 설정하며 해석을 실시하였다. 시스템의 운전 패턴은 야간 운전(Op 1), 주간 운전(Op 2), 종일 운전(Op 3)의 총 세가지 운전법을 검토하였다. 한편, 태양열 컬렉터는 플레이트의 흡수율 0.9, 열손실계수 0.3W/m²K, 경사각 45도로 설정하였으며, 지중열교환기는 콘크리트 충전식의 싱글 U튜브 보어홀 타입(내경 0.027m, 열전도율 0.42W/mK)으로 설정하고, 토양의 열전도율은 2.42W/mK으로 설정하였다. 또한, 축열조의 부피와 열손실계수는 50m³, 0.83W/m²K으로 설정하였다. Table 2는 케이스별 설정 조건을 나타낸다. 본 해석에서는 총 1400h의 동계난방기간에 대해 계산을 실시하였다.

3. 시뮬레이션 해석 결과

3.1 지역 및 열원설비의 차이에 따른 성능 검토

Fig. 2~7은 시뮬레이션 결과로서 Case1~8의 열원평균온도 및 에너지 이용량의 합계를 각각 나타낸다. Fig. 2와 Fig. 3은 각 지역별

Table. 2 Calculation cases

Case	Operation Pattern	Location	Area of SHC(m ²)	Length of GHE(m)	
1 (SYS 1)	Op 2	Seoul	10×10	1000	
2 (SYS 1)		Kangneung			
3 (SYS 1)		Ulsan			
4 (SYS 1)		Seoul	10×5		
5 (SYS 1)			20×10		
6 (SYS 1)			20×20		
7 (SYS 1)		Seoul	10×10		500
8 (SYS 1)					2000
9 (SYS 1)	Op 1	Seoul	10×10	1000	
10 (SYS 1)	Op 3				
11 (SYS 2)	Op 2				
12 (SYS 2)	Op 1				
13 (SYS 2)	Op 3				
14 (SYS 3)	Op 2				
15 (SYS 3)	Op 1				
16 (SYS 3)	Op 3				

계산결과를 나타낸다. 지역차이에 따른 태양열 및 지열이용량을 비교한 결과, 강릉에서 전체 에너지이용량 대비 태양열 이용의 비율이 높았으며 울산은 상대적으로 낮은 비율을 보였다. 한편, Fig. 4와 그림 5는 동일조건에서 태양열 컬렉터의 면적을 변화시킨 결과를 나타낸다. 태양열 컬렉터의 면적이 증가함에 따라 태양열원 평균온도와 채열량이 동시에 증가하는 것을 볼 수 있으나 비례관계에 있지 않음을 확인하였다. Fig. 6과 7은 지중열교환기 길이를 변화시킨 조건에서의 결과를 나타낸다. 지중열교환기의 길이가 길수록 더 높은 열원 온도의 확보 및 더 많은 지열 이용이 가능하나, 일정 길이 이상에서는 그 영향도가 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 본 논문의 해석 대상인 100m²의 주택의 경우(7.4kW) 300m를 설치하면 전체 부하를 담당할 수 있으므로⁽⁴⁾ 그 이상을

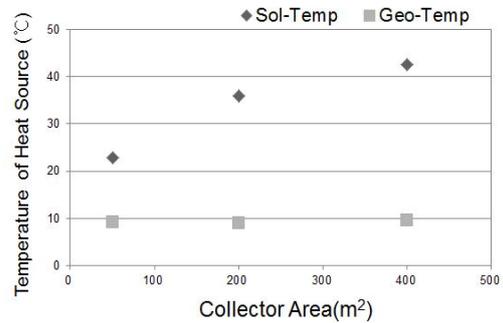


Fig. 2 Average temperature of heat source

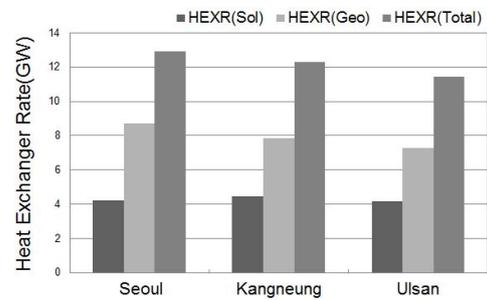


Fig. 3 Heat exchange rate

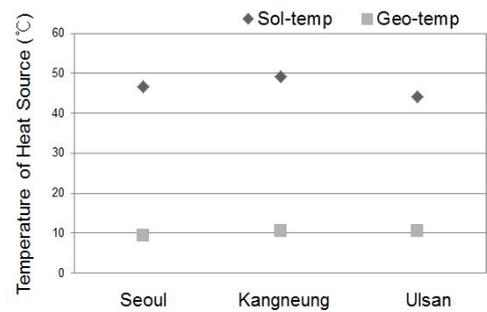


Fig. 4 Average temperature of heat source

설치할 경우 성능에는 큰 영향을 미치지 않음을 의미한다. 본 논문의 설정 조건에서는 태양열 컬렉터의 면적이 지중열원의 길이보다 열원온도에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났으나, 최적설계를 위해서는 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

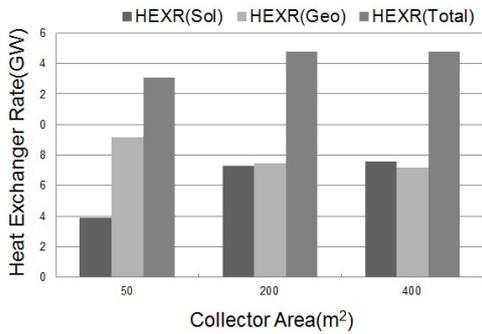


Fig. 5 Heat exchange rate

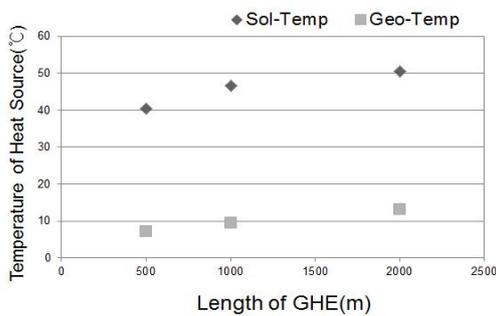


Fig. 6 Average temperature of heat source

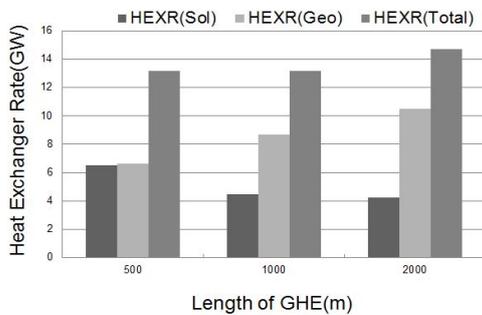


Fig. 7 Heat exchange rate

3.2 시스템 구성 및 운전시간에 따른 성능 검토

Table 3에서는 운전시간에 따른 각 시스템의 열원평균온도를 나타낸다. 운전시간 6 P.M.~8 A.M.일 때 시스템 1은 태양열과 지열의 평균온도는 각각 8.53°C와 5.85°C였다.

한편, 시스템 2에서는 태양열과 지열의 평균 온도는 각각 21.71°C와 17.18°C으로 나타났다. Fig. 8은 시스템 3, 야간운전 모드(Op 1)의 난방 대표일(1월 3일)에 대한 계산결과로서, 태양열 및 지열원의 온도, 히트펌프COP의 변화를 나타낸다. 야간 운전시 주로 지열로 운전이 되고 있으며, 주간의 태양열은 축열조에 저장되는 양상을 알 수 있다. 운전시간 9 A.M.~6 P.M일 때 나온 열원평균온도는 운전시간 6P.M.~8A.M.일 때 나타난 결과에 비해 각 시스템의 태양열 평균온도가 비교적 높은 수준의 온도가 나타났다. 또한 시스템 3의 운전시간을 하루 동안 계속 작동시킬 때 지열원의 평균온도 1.76°C으로 가장 낮게 나온 것을 알 수 있다.

Table. 3 Simulation Results

Operation Time	System Type	Solar(°C)	Ground(°C)
6 P.M.-8 A.M.	SYS 1	8.53	5.84
	SYS 2	21.71	17.18
	SYS 3	66.34	2.85
9 A.M.-6 P.M.	SYS 1	46.57	9.40
	SYS 2	18.18	16.75
	SYS 3	65.03	4.37
all day	SYS 1	34.50	7.96
	SYS 2	22.01	17.13
	SYS 3	65.23	1.76

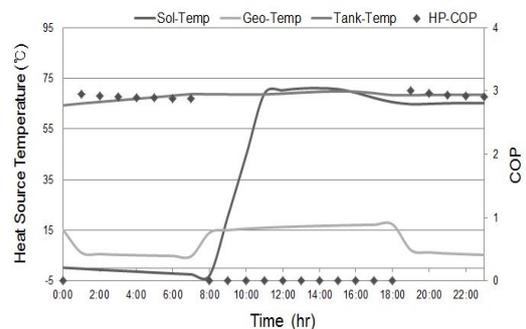


Fig. 8 Calculation result of heating (3rd January)

시스템 에너지 이용가능량 분석결과는 Fig. 9과 같다. 축열조가 없는 시스템 1에서 운전시간에 따른 에너지 이용가능량은 각각 18.76GW, 13.75GW, 18.82GW 로 나타났으며, 시스템 2의 에너지 이용가능량은 각각 25.04GW, 17.32GW, 36.71GW 로 나타났다. 그리고 시스템 3에서는 각각 24.26GW, 16.85GW, 31.20GW 이의 결과가 나타났다.

Fig. 10는 운전시간 및 시스템의 구성에 따른 시스템 COP 결과를 나타낸다. 운전시간 9A.M.~6P.M일 때 각 시스템의 COP는 가장 높지만 다른 운전시간보다 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 또한, 축열조에 저장된 태양열원과 지열원을 비교하여 높은 열원을 히트펌프의 열원으로 이용하는 시스템(SYSTEM 2)이 가장 효율적이라는 것을 판단할 수 있다.

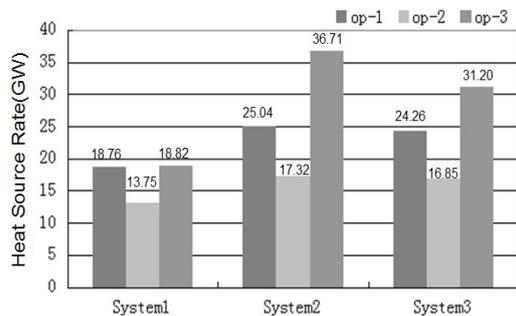


Fig. 9 Energy rate of all systems

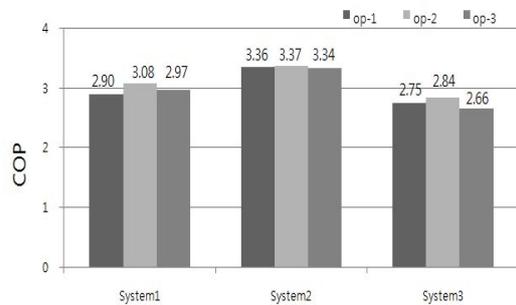


Fig. 10 Heating COP of all systems

4. 결 론

본 연구에서는 태양열과 지열을 통합하여 이용하는 히트펌프시스템의 성능예측을 위해 동적 에너지 시뮬레이션을 통한 시스템 성능 해석을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 다양한 기후조건 및 열원설비 차이에 따른 태양열 및 지열이용량, 열원온도특성, 시스템성능 등을 파악하였다. 태양열 및 지열원을 실시간으로 히트펌프 열원으로 이용하는 System 1의 경우, 태양열 컬렉터의 면적이 지중열교환기의 길이보다 열원온도에 더 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.
- (2) 케이스스터디 결과, 운전시간에 따른 건물 난방부하차이에 때문에 시스템의 성능 변화가 나타났으며, 태양열 축열과 지중열원을 동시에 히트펌프 열원으로 이용하는 System 2에서 가장 높은 효율을 얻을 수 있었다.
- (3) 따라서, 본 시스템의 시스템 최적 설계 및 운전 수법 결정을 위해서는 축열조를 포함한 개별 시스템의 용량 설계와 열원 온도를 고려한 효율적 운전수법이 중요하다는 것을 파악하였다.

본 연구에서는 예측 모델을 통한 태양열 및 지열의 열교환량, 히트펌프의 성능에 대한 검토를 실시하였다. 향후, 정확한 검증을 위해서 실물 성능실험과 연계한 성능 분석이 필요할 것으로 고려된다. 그리고 다양한 Case Study를 통해 본 시스템의 최적 설계법을 구축할 계획이다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20133030110900)

Reference

1. Byun Kang and Honghyun Cho, Theoretical Study on the Performance in a Solar-Geothermal Hybrid R22 Heat Pump During Winter Season according to Heat Source Temperature, Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol.8, No.4, pp.24~31,2012
2. Yang, W.B., Shi,M.H., and Dong, H., Numerical simulation of the performance of a solar-earth source heat pump system, Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 2367~2376. 2006
3. Xu Guoying et al., A Simulation Study on the Operating Performance of a Solar-air Source Heat Pump Water Heater, Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 1257~1265. 2006
4. Nam YuJin, Oh JinHwan, Study on the characteristic of heat exchange for vertical geothermal system using the numerical simulation, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 34, pp. 66~72, 2.14
5. Yujin Nam, Study on the Optimum Design of a Heat Pump System Using Solar and Ground Heat, Journal of SAREK, Vol.24, pp.509~514, 2012
6. Inju Hwang et al., A Study on Performance Evaluation of Hybrid Energy System with Geothermal and Solar Heat Sources, Journal of SAREK, Vol18, pp.279~286, 2006
7. Ozgener, O. and Hepbasli, A. A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump system, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, pp.482~496, 2007