

가정용 지열원 열펌프 시스템의 냉난방 성능 특성 연구

An Experimental Study on the Cooling and Heating Performance of a Residential Ground Source Heat Pump System

공형진(Hyoung Jin Kong)¹, 강성재(Sung Jae Kang)², 윤경식(Kyoung Sik Yun)³,
임호재(Hyo Jae Lim)^{4†}

¹지열인력양성센터, ²신성엔지니어링 신재생환경사업부, ³호서대학교 기계공학과 대학원, ⁴호서대학교 기계공학과

¹Geothermal Energy Education Center, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

²Renewable Environmental Division, Shinsung Engineering, Seoul 157-927, Korea

³Graduate School of Mechanical Engineering, Hoseo University, Asan, 336-795, Korea

⁴Department of Mechanical Engineering, Hoseo University, Asan, 336-795, Korea

(Received August 2, 2012; revision received January 28, 2013)

Abstract Ground Source Heat Pump (GSHP) systems utilize geothermal energy as a thermal source or sink, for heating, cooling and domestic hot water. It is well known that GSHP is environmentally friendly, and saves energy dramatically. For this reason, many investigative researches have been conducted on commercial and governmental buildings. However, studies on residential GSHP are few, because of the small capacity and cost. In this study, we experimented with the characteristic performance of heating, cooling and seasonal performance factor for a residential GSHP system, which consisted of two 180 m deep u-tube ground heat exchangers, a heat pump and measurement instruments. The installed capacity of the heat pump was 5RT, and the conditioning area was 62.23 m². From the experimental results, the cooling COP of the heat pump was 4.13, and the system COP was 3.51, while the CSPF was 3.32. On the other hand, the heating COP of the heat pump was 3.87, and the system COP was 3.39, while the HSPF was 3.39. Also, in-situ cooling COP and capacity were 93.7% and 96.4% compared with the EWT certification data, respectively, and that of heating were 98.3% and 95.7%, respectively.

Key words Ground source heat pump(지열원 열펌프), Coefficient of performance(성능계수), Seasonal performance factor(계절성능계수), Heat rejection rate(지중 방열량), Heat extraction rate(지중 취득열량)

† Corresponding author, E-mail: hjlim@hoseo.edu

기호설명

COP : 성능계수
 C_p : 비열 [J/kg °C]
 \dot{m} : 질량 유량 [kg/s]
 Q : 생산 열량 [kW]
SPF : 계절성능계수
 T : 온도 [°C]
 W : 소비전력 [kW]

hp : 열펌프
 in : 입구
 out : 출구
 p : 순환펌프
 r : 지중 방열량
 sys : 시스템
 w : 물

1. 서 론

범지구적인 화석연료 고갈과 이에 따른 가격 상승으로 인해 신·재생에너지의 활용 및 기술개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 여기서 신·재생에너지란 석탄, 석유 및 천연가스 등 화석연료의 연소과정을 통해

하첨자

c : 냉방
 e : 지중 취득열량
 h : 난방

에너지를 취득하지 않고, 지열, 태양, 풍력 등 자연에서 얻는 청정한 에너지를 말한다. 이러한 신·재생에너지 중에서 지열원 열펌프 시스템(Ground Source Heat Pump system, GSHP)은 외기 온도 변화에 영향을 받지 않고, 일정한 온도를 유지하는 지중열을 냉난방 시스템의 열원으로 활용한다. 그래서 기존에 이용되었던 연소형 에너지 생산 방식에 비해 환경 친화적이며, 성능이 우수한 에너지 절약형 시스템으로 알려져 있다.

Lund et al.⁽¹⁾에 따르면 지열원을 이용한 에너지 사용량 중 미국, 중국 그리고 북유럽 국가가 전 세계 지열 에너지 생산량의 60%를 차지하고 있으며, 세계적으로 2005년 이후 매년 10% 이상의 시스템 설치 증가율을 보이고 있다. 특히 국내에서는 신·재생에너지 기술개발과 지열원 열펌프 시스템 보급이 활발하게 이루어진 결과, 과거 5년간 시스템 설치율이 영국, 스페인 등과 함께 크게 증가하였다.

국내의 경우, 에너지관리공단 신·재생에너지 보급 통계에 의하면 2009년까지 144,760 kW(4만 USRT) 정도의 지열원 열펌프가 설치된 것으로 집계되고 있다. 그중 그린홈 100만호 보급사업으로 주거용 건물에 신재생 에너지 적용은 더욱 확대되고 있는 추세다.⁽²⁾

Hepbasli⁽³⁾와 Hepbasli et al.⁽⁴⁾은 수직 밀폐형 지중 열교환기(ground heat exchanger)를 적용한 지열원 열펌프 시스템 성능 특성에 관한 연구를 수행하였으며, Zhao et al.⁽⁵⁾은 대체냉매를 적용한 지열원 열펌프 시스템의 성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다.

국내에서는 Shin et al.⁽⁶⁾의 연구를 통해 지열에너지 이용 가능성이 확인된 후, Lim et al.^(7, 8)의 열원의 다양성 확보와 지중 열교환기 요소 기술 개발 연구가 진행되었다.

Choi et al.⁽⁹⁾은 국내에 설치된 지열원 열펌프 시스템의 실증 연구를 통해 공기열원 열펌프(Air source heat pump)대비 성능이 41% 우수함을 검증하였고, Shon et al.^(10, 11)은 소용량 지열원 열펌프 시스템의 실증 연구를 통한 성능 분석으로 지열원 열펌프 시스템의 우수성을 입증하였다. Kim⁽¹²⁾은 그린홈 100만호 사업이 적용되는 주거용 건물에 냉·난방 시스템을 지열원으로 적용할 경우 기존 시스템 대비 63%의 에너지 절감 효과가 있는 것으로 분석하였다.

이와 같이 기존의 연구는 대형 상업용 건물에서 지열 시스템의 성능 연구, 시뮬레이션을 통한 경제성 분석이 주로 수행되었으나, 가정용 지열 시스템은 장기간 수행된 시스템 운전 성능 평가는 부족한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 물 대 물 방식의 가정용 지열원 열펌프 시스템을 설치하고, 장기에 걸친 냉난방 운전 연구로 외기온도에 따른 실내온도변화와 지중 입출구 온도측정을 통한 열전달을 분석을 수행하여 열펌프 제조사가 제공하는 성능 데이터와 비교함으로써 가정용

지열 시스템의 현장 적용 적정성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

가정용 지열원 열펌프 시스템의 냉난방 시스템 성능을 분석하기 위해 Fig. 1과 같이 호서대학교 외국인 기숙사(37° 78'N, 127° 73'E)에 지열원 열펌프 시스템을 설치하여 분석하였다.

대상 건물의 설치용량 분석을 위한 설계부하 분석은 난방시 -12℃, 냉방시 33℃의 설계온도를 적용하여, 실내외 및 건물 구조 입력을 통해 냉방부하는 8월 16일 오후 3시에 9.2 kW, 난방부하는 1월 25일에 9.5 kW, 급탕부하는 5.2 kW로 계산되었다. 또한 에너지부하량은 냉방시 3,103.9 kWh, 난방시 3,923.6 kWh이다. Fig. 2는 상용 프로그램(EnergyPlus)로 분석한 월별 최대 냉난방



Fig. 1 Building installed the residential GSHP.

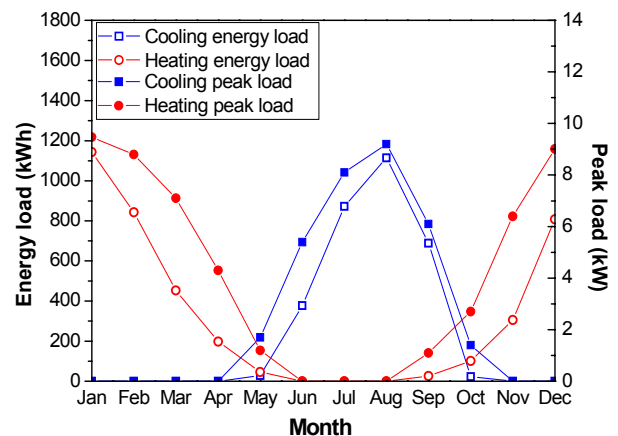


Fig. 2 Monthly energy load and peak load.

부하와 에너지부하를 도시한 것이다. 이를 GLD로 분석하면 냉방시 345.4 m 난방시 205.2 m로 분석된다.⁽¹³⁾

따라서 현장에 설치된 가정용 지열원 열펌프 시스템은 5 RT 용량의 열펌프와 180 m 깊이의 지중 열교환기를 2홀 설치하였다. 그리고 시스템 세부사양은 Table 1에 정리하였다. 본 현장에 설치된 열펌프는 물 대 물 방식으로 R-22 냉매를 사용하며, 관형 열교환기, 압축기, 팽창밸브 그리고 사방밸브로 구성되어 있다. 부하 시설은 지상 1층에 위치하고 있으며, 냉난방 면적은 61.23 m²이다. 실내 열원공급은 D사의 냉방용량 4,700 kcal/h인 FCU(Fan Coil Unit) 2대를 설치하였다. 그리고 바닥 난방배관은 모세관 튜브(Capillary tube), 6 mm, 12 mm 폴리부틸렌 관(Polybutylene pipe, PB)을 각각 26.8 m², 15.9 m², 17.5 m²의 면적으로 설치하였다.

Fig. 3에 현장에 설치된 가정용 지열원 열펌프 시스템 사이클을 개략적으로 도시하였다. 열펌프를 구성하

는 관형 열교환기는 지중층, 부하층 그리고 급탕층 열교환기가 각각 하나씩 설치되어 있으며, 냉난방은 실내 부하 발생에 따라 운전되고, 급탕은 과열저감기(de-superheater)를 통해 연중 공급한다. 그리고 열펌프 빈번운전을 방지하고 냉난방과 급탕 공급수 보관을 위해 200 liter 용량의 냉온수 및 급탕탱크를 설치하였다.

지중 순환수는 정격출력 750 W의 펌프를 통해 순환 유량 0.95 liter/sec로 설정하였으며 지중 열교환기와 열펌프 내의 열교환기를 순환한다. 이때 순환수는 물(80%)와 에틸알콜(20%)을 혼합하여 지중 순환수로 이용하였다.

Table 2는 지열원 열펌프 시스템의 데이터 수집을 위한 계측장비를 정리한 것이다. 소비전력 측정은 전력량계(Yokogawa, CW240)을 사용하였다. 그리고 지중 순환수와 급탕 그리고 실내 부하 순환수의 입출구 온도 측정을 위해 측온 저항체(Resistance temperature detector, RTD)와 K형 열전대(K-type thermocouple)를 이용하였다. 지중 순환수 유량은 초음파 유량계(Portaflo SE)로 측정하였다. 지중 순환수 입출구, 실내의 온도와 소비전력 그리고 부하층 유량 등의 데이터는 데이터 로거형 기록계(Yokogawa, MV1000)를 이용해 1분 간격

Table 1 Specification of geothermal heat pump system

Unit	Specification
Heat pump	Compressor ZR61KS 3500 rpm, 17.34 m ³ /h
	Heat exchanger Plate heat exchanger 3.4 m ³ /h, 0.5 bar
	Expansion valve TGEX 6TR PS 46 bar, MWP 667
GHEX	180 m×2 hole 32 mm, single U-tube FCU 4,700 kcal/h×2
	12 mm, PB pipe 6 mm, PB pipe Capillary tube
Load equipment	

Table 2 Measuring instruments

Item	Instruments
Electric power	CW-240 (Yokogawa, Japan)
	Portaflo SE (Fuji electric, Japan)
Flow meter	FLOW-150 (Iljin flow system)
	K-type thermocouple RTD 100Ω
Recorder	MV1000 (Yokogawa, Japan)

Table 3 Parameters and uncertainties

Parameters	Uncertainties(%)
Temperature, T	0.21
Flow rate, \dot{m}	2.00
Heat transfer rate, Q	2.01
Voltage, V	2.06
Ampere, I	0.60
Power, W	2.14
COP and SPF, COP	2.94

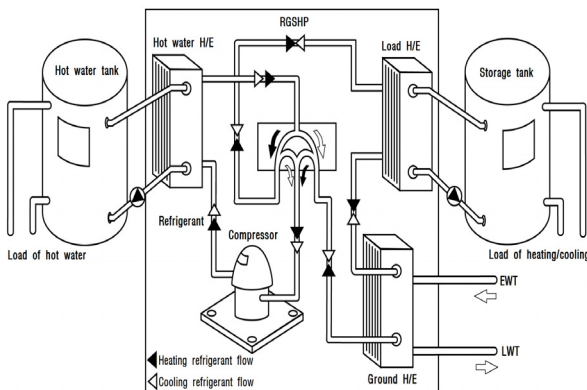


Fig. 3 Schematic diagram of residential GSHP.

으로 측정하여 성능분석에 이용하였다.

측정 결과에 영향을 미치는 변수와 데이터들의 오차를 이용하여 불확실성 확대계수 분석⁽¹⁴⁾을 통한 생산열량과 성능계수의 불확도를 Table 3과 같이 분석하였다.

2.2 실험결과 처리 방법

지열원 열펌프 시스템의 성능을 나타내는 방법은 일반적인 열펌프나 냉동기와 같이, 성능계수(Coefficient of Performance, COP)로 표시하고, 식(1), 식(2)와 같이 계산한다.

열펌프 성능계수는 냉난방 운전 시 열펌프에서 생산되는 열량(Q_{hp})을 열펌프에 투입된 전력(W_{hp})으로 나눈 값이며, 시스템 성능계수는 냉난방 운전 시 생산된 열량을 지열원 열펌프와 지중 순환펌프에 투입된 전력(W_p)의 합으로 나뉘 계산한다.

$$COP_{hp,c,h} = \frac{Q_{c,h}}{W_{hp}} \quad (1)$$

$$COP_{sys,c,h} = \frac{Q_{c,h}}{W_{hp} + W_p} \quad (2)$$

이때, 열펌프에서 생산된 열량은 식(3)과 같이 계산하였다.

$$Q = \dot{m}_w \times C_{p,w} \times (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

위 식에서 \dot{m}_w 는 순환수의 질량유량을 나타내며, $C_{p,w}$ 는 물의 비열로서 열교환기 입·출구 온도 평균값을 이용한 물성치 표로 결정된다.

본 연구에서 생산 열량 계산은 지중 측에서 측정된 입·출구 온도를 이용하였다. 이때, 지중에서 방열하거나 취득한 열량을 냉난방용량으로 이용하기 위해서는 식(4), 식(5)로 계산한다.

$$Q_c = Q_r - W_{hp} \quad (4)$$

$$Q_h = Q_c + W_{hp} \quad (5)$$

냉방 운전 시 열펌프에서 생산한 냉방용량은 지중 열교환기에서 지중으로 방열하는 열량(Q_r)에서 열펌프에 투입된 전력을 빼고 계산하였다. 반면 난방용량은 지중에서 취득한 열량과 열펌프에 투입된 전력을 실내로 공급하므로, 지중 열취득량(Q_c)에 열펌프 투입전력을 더한 값으로 계산하였다.

시스템 성능계수와 별도로 시스템의 실제 운전시간

조건을 반영한, 계절별 성능계수(Seasonal Performance Factor, SPF)는 다음과 같이 계산한다.

$$SPF = \frac{\Sigma Q_{h,c}}{\Sigma W_{hp} + \Sigma W_p} \quad (6)$$

연간 열펌프에서 생산된 냉난방 에너지 합을, 시스템 운전기간 중 열펌프와 순환펌프에 투입된 전력의 합으로 나뉘 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열펌프 운전 성능 분석

가정용 시스템의 냉방 성능 분석을 위한 열펌프 운전은 실내로 유입되는 냉방 공급수 온도가 4℃일 때 열펌프는 정지되고, 열펌프로 유입되는 실내 순환수 온도가 9℃면 재가동되는 조건이며, 열펌프 가동중 실내온도는 제한하지 않았다.

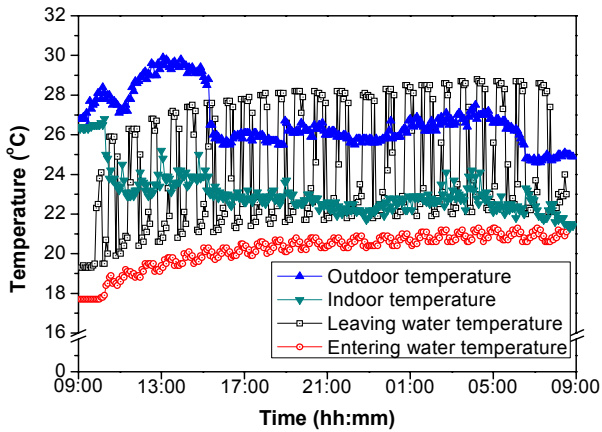
Fig. 4은 외기온도가 최고 30.3℃에서 최저 24.5℃ 분포를 보이는 설계일 8월 16일의 실내온도와 열펌프 성능계수(Fig. 4(a)) 그리고 지중 순환수 입출구 온도, 지중 열교환기 열전달량(heat rejection rate) 및 냉방부하(Fig. 4(b))를 정리한 것이다.

시스템 냉방운전은 오전 10시경 가동되어 익일 오전 10시까지, 24시간 운전 되었고, 지중 열교환기와 열펌프를 순환하는 지중 순환수 유량은 평균 57 liter/min으로 비교적 일정하게 측정되었다.

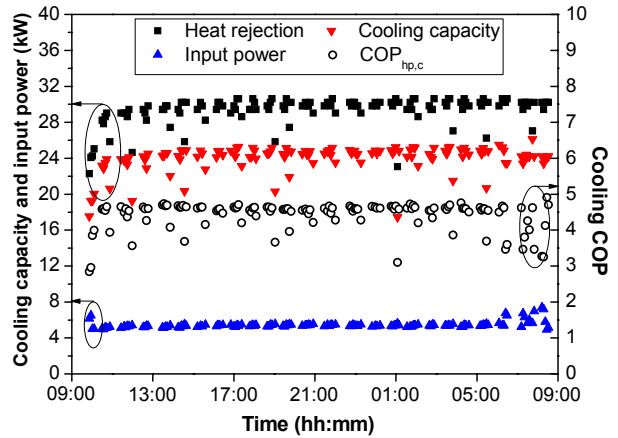
열펌프가 운전되고, 30분 경과 후, 실내온도는 26℃를 보이며, 24시간 후 최저 21.4℃까지 하락하였고, 외기온도와는 최대 4.8℃ 차이를 보이고 있다. 우천으로 외기온도가 29.5℃에서 25.5℃로 4℃하락시 실내온도는 26.5℃에서 24.8℃로 1.7℃ 떨어지는 것을 알 수 있다. 이때 열펌프 냉방성능계수(COP_{hp,c})는 외기 영향 없이 평균 4.8로 분석되었다.

냉방 설계일에 지중 열교환기를 순환하고 열펌프 유입되는 순환수 온도는 최저 17.7℃, 최고 21.37℃로 평균 20.3℃를 나타내고 있으며, 출구온도는 평균 27.1℃로 6.9℃의 온도차를 보이고 있다. 또한 열펌프에서 생산되는 냉방용량은 평균 24.4 kW로 계산되었으며, 이때 지중 열교환기에서 지중으로 전달되는 열량은 평균 29.3 kW로 지중 열교환기에서 발생하는 열전달량은 81.3 W/m으로 분석되었다.

Fig. 5는 외기온도가 최저 -12.4℃에서 최고 -3℃ 분포를 보이는 설계일 1월 25일의 난방운전시 외기온도에 따른 실내온도와 열펌프 성능계수 분석 결과(Fig. 5(a)) 그리고 지중 순환수 입출구 온도, 지중 열교환기

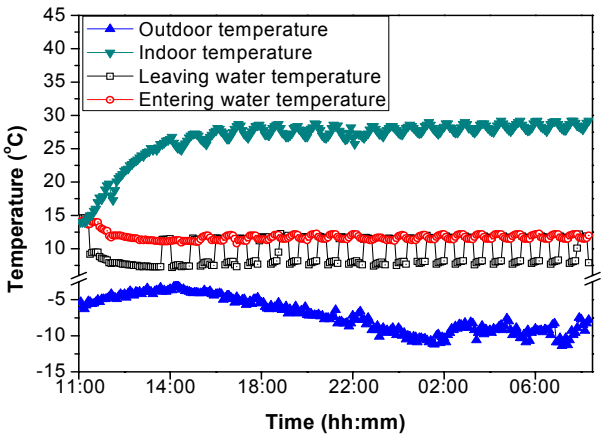


(a) Outdoor/indoor temperature and EWT, LWT

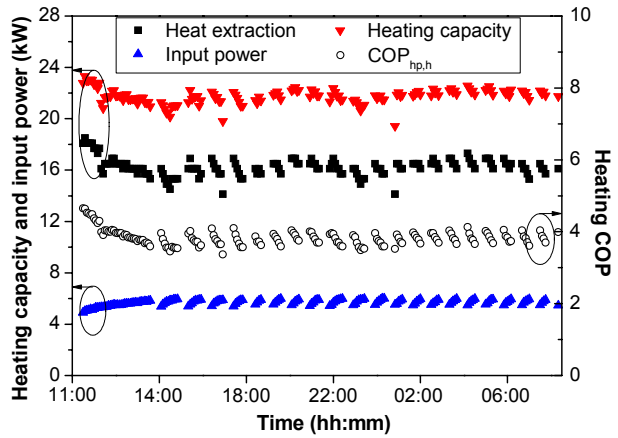


(b) Cooling performance

Fig. 4 Performance characteristics of a GSHP system in cooling design day(Aug. 16~17).



(a) Outdoor/indoor temperature and EWT, LWT



(b) Heating performance

Fig. 5 Performance characteristics of a GSHP system in heating design day(Jan. 25~26).

열전달량(heat extraction) 및 난방공급열량(Fig. 5(b))을 나타냈다.

난방시 실내 설정온도는 냉방과 동일하게 제한하지 않았으며, 열펌프로 투입되는 순환수 입구온도가 42°C 일 때 정지하고, 열펌프 내부의 열교환기에서 입출구 온도차가 9°C가 되면 재 운전되는 조건으로 난방 성능 연구를 수행하였다. 난방시 지중 순환수 유량은 냉방과 비슷한 57 liter/min으로 측정되었다.

열펌프가 운전되고 2시간 경과 후, 실내온도는 5.9°C에서 22°C까지 상승하였고, 5시간 이후 평균 27°C로 비교적 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 실내외 온도차는 시간 차이는 있지만 평균 33.7°C를 보이고 있으며, 이때 열펌프 난방성능계수는 3.30에서 4.64 범위로 운전되어, 일평균 3.83으로 분석되었다. 또한 열펌프로 유입되는 순환수 온도는 평균 11.9°C, 출구측 온도는 평균 7.8°C로서 4.1°C의 온도차를 보이고 있다. 그

리고 실내로 공급하는 난방용량은 평균 21.7 kW, 지중 열교환기에서 취득하는 열량은 평균 16.2 kW로 계산되었으며 단위 길이당 열전달율은 44.7 W/m로, 냉방 대비 54.9% 수준이다. 지열 열펌프 시스템의 난방 운전시 실내로 공급하는 에너지는 지중 열교환기를 통해 흡수한 에너지와 열펌프에 투입되는 전기에너지를 더하여 실내로 공급하고, 냉방시에는 실내에서 취득한 열량과 열펌프로 투입된 전기에너지를 더하여 지중으로 방열함으로서, 난방 운전시 냉방 운전에 비해 적은 열전달율을 보이고 있다.

3.2 시스템 성능 평가

Fig. 6은 전체 냉방 기간(2011년 7월 1일~9월 14일) 동안 열펌프 및 시스템 성능계수 분석결과를 정리한 것이다. 시스템 점검과 운전 데이터 분석 등으로 데이

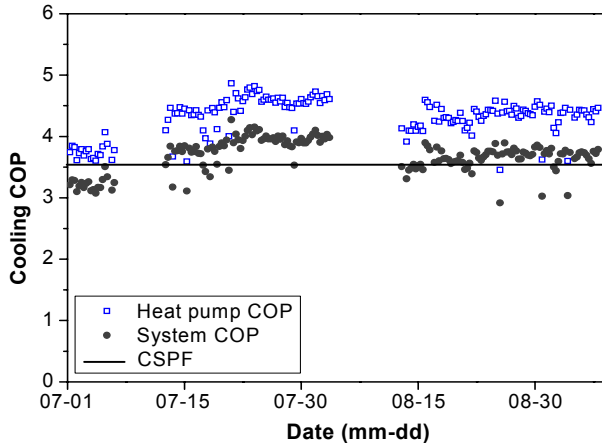


Fig. 6 COP_c from Jul. 1 to Sep. 14, 2011.

터가 없는 구간이 발생하였다.

운전 초기 열펌프 성능계수는 투입전력 증가와 지중 순환수의 낮은 입출구 온도차로 3.76으로 분석되었으며, 운전이 연속될수록 증가하여 평균 4.45를 보이고 있다. 그러나 8월 16일 이후에는 EWT가 증가하여 성능계수는 3.71로 하락하였다. 그 결과, 냉방기간 열펌프 성능계수는 평균 4.13으로 분석되었다. 또한 동기간 일별 시스템 성능계수는 2.69에서 4.27의 범위를 보이고 있으며, 평균 3.51로 열펌프 성능계수 대비 85.0% 수준임을 알 수 있다.

냉방운전 기간 중, 하절기 계절성능계수는 3.32로 분석됨에 따라, 열펌프 성능계수대비 80.3%, 시스템 성능계수대비 94.6%로 분석되었다. 열펌프 운전특성상 열펌프 작동전 순환펌프가 먼저 운전되고, 열펌프 종료 후 순환펌프 운전이 정지됨으로서 소비전력량이 증가한다. 따라서 시스템 성능계수대비 하절기 계절성능계수가 하락하였음을 알 수 있다.

Fig. 7은 전체 난방 기간(2011년 1월 19일~3월 16일)동안 열펌프 및 시스템 성능계수를 분석한 것이다. 지열 시스템 설치와 시운전 수행으로 1월부터 성능분석이 진행되었다. 그리고 시스템 확인과 데이터 분석을 위해 난방 운전을 수행하지 않아 데이터가 없는 구간이 발생하였다.

운전초기 열펌프 성능계수는 비교적 높은 지중온도로 평균 4.23을 보이고 있으나, 연속 운전에 따른 열펌프 투입전력 증가와 지중 순환수 온도가 하락하여 평균 3.77로 10% 하락하였다. 그 결과 전체 난방 기간 중 열펌프 성능계수는 평균 3.87, 시스템 성능계수는 3.39로 열펌프 성능계수 대비 87.5% 수준으로 분석되었다.

전체 난방기간 동안 분석된 동절기 성능계수는 3.29로서 열펌프 성능계수 대비 85%, 시스템 성능계수 대

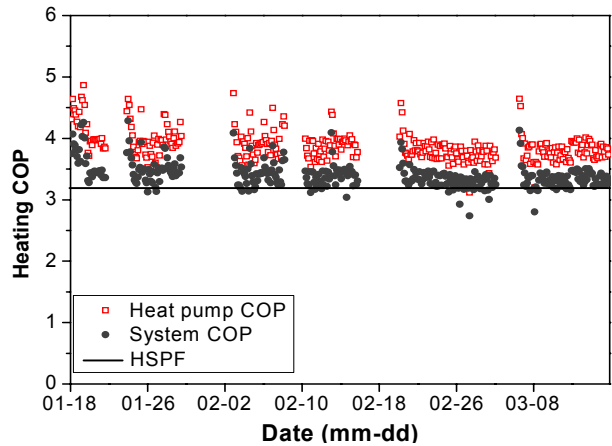


Fig. 7 COP_h from Jan. 21 to Mar. 13, 2011.

비 97% 수준을 보이고 있다. 하절기 성능계수와 마찬가지로 순환펌프 운전시간의 영향으로 동절기 계절성능계수가 시스템 성능계수 대비 낮은 수준을 보인다.

3.3 지중 순환수 온도에 따른 성능 분석

Fig. 8은 냉방시 EWT 변화에 따른 냉방용량과 성능계수 변화를 현장 측정 결과와 제조사 데이터를 비교한 것으로서, 제조사 제공 데이터는 EWT가 7℃일 때 성능계수 5.45, 냉방용량 17.9 kW이고, EWT가 22℃로 상승할 경우 성능계수는 11% 하락한 4.8, 냉방용량은 3.6% 하락한 17.4 kW를 나타낸다. 이때 현장에서 측정된 냉방용량은 +9.4%에서 -6.4% 범위로 운전되어, 정격용량대비 평균 96.4% 수준으로 분석되었다. 또한 냉방 성능계수는 최소 0.4%에서 최대 10.5% 낮은 성능을 보이며, 전체 구간에서 제조사 데이터 대비 평균 6.3% 낮은 성능을 나타냈다.

Fig. 9는 난방시 EWT 변화에 따른 난방용량 및 성능계수 변화를 현장 분석 결과와 제조사 데이터를 비교한 것이다. 제조사에서 제공한 난방용량 및 성능계수는 EWT가 9℃일 때 난방용량은 20.1 kW, 성능계수는 3.9로 분석되었으며, EWT가 14℃로 5℃(35%)상승하면, 성능계수는 11.5% 증가한 4.4, 난방용량은 2.5% 증가한 22.6 kW로 분석되었다. 이때 현장에서 측정된 난방용량은 EWT가 낮을수록 평균 4.2% 적은 용량을 나타냈으며, 입구온도 10.3℃부터는 최대 7.2% 큰 것으로 분석되어, 전체 구간에서 +4.1%에서 -2.6% 운전되었다. 따라서 난방운전시 입구온도 상승에 따라 난방용량과 성능계수는 증가하였다. 따라서 히트펌프 제조사에서 제공한 정격용량 대비 평균 4.3% 적은 수준을 보이며, 성능계수는 1.7% 낮은 수준으로 분석되었다.

위와 같이 열펌프 운전시, EWT 변화에 따라 냉난방

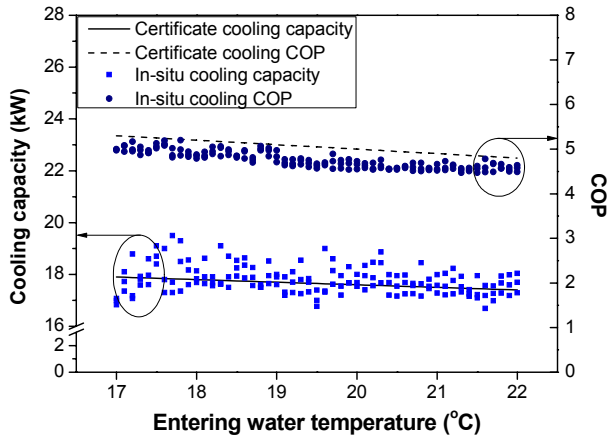


Fig. 8 Cooling capacity and $COP_{hp,c}$ with EWT.

성능계수와 용량이 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, EWT는 성능계수 및 생산용량과 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 호서대학교에 설치된 5RT급 가정용 지열원 열펌프 시스템을 대상으로 지중 및 부하 순환수의 입출구 온도와 유량, 그리고 에너지 소비량 등을 측정 한 후, 시스템의 냉난방 운전 성능을 분석하고, 제조사에서 제공하는 데이터와 비교함으로써 시스템의 적정성을 평가하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 가정용 지열원 열펌프 운전 특성을 파악하기 위한 냉방설계일 운전시 실내온도는 평균 23.2°C, 성능계수는 4.8, 난방설계일 운전시 실내온도는 평균 26.7°C, 성능계수는 3.83이다.

(2) 냉방설계일에 지중 열전달량은 81.3 W/m이고, 난방설계일 지중 열전달량은 44.7 W/m로 분석되어 냉방대비 54.9% 수준의 열전달량을 보이는 것으로 분석되었다.

(3) 냉방기간 중 열펌프 성능계수는 평균 4.13, 시스템 성능계수는 평균 3.51로 열펌프 성능계수 대비 85% 수준이다. 그리고 하절기 계절성능계수는 3.32로 시스템 성능계수 대비 5.4% 차이를 나타냈다.

(4) 난방 기간중 열펌프 성능계수는 평균 3.87, 시스템 성능계수는 3.39로 열펌프 성능계수 대비 87.5% 수준이다. 또한 동절기 계절성능계수는 3.29로 열펌프 성능계수대비 85%, 시스템 성능계수 대비 94.6% 수준이다.

(5) EWT에 따른 제조사 데이터 대비 현장 분석 결과를 비교하면 냉방시 성능계수는 93.7%, 냉방용량은 96.4% 수준이고, 난방운전시 성능계수는 제조사 데이

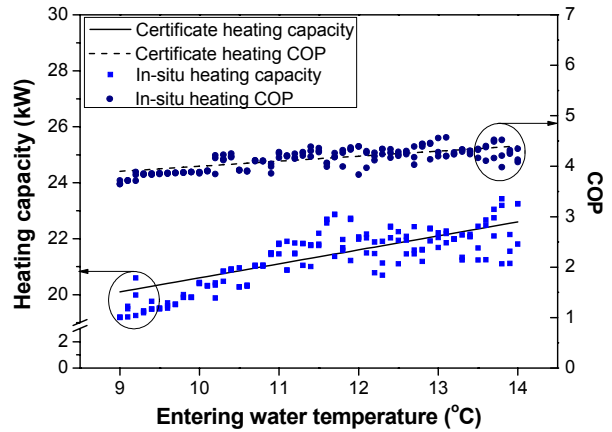


Fig. 9 Heating capacity and $COP_{hp,h}$ with EWT.

터 대비 1.7%적인 수준을 보이고 있으며, 난방용량은 95.7% 수준이다.

후 기

이 논문은 2011학년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원(과제번호 2011-0012)을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Lund, J. W., 2010, Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, World Geothermal Congress 2010.
- Korea Energy Management Corporation, 2011, New and Renewable Energy Statistics 2010..
- Hepbasli, A., 2002, Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir, Turkey, Int., Journal of Energy Res., Vol. 26, pp. 1121-1139.
- Hepbasli, A., Akdemir, O., and Hancioglu, E., 2003, Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system, Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 527-548.
- Zhao, P. C., Zhao, L., Ding, G. L., and Zhang, C. L., 2002, Experimental research on geothermal heat pump system with nonazeotropic working fluids, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, No. 15, pp. 1749-1761.
- Shin, H. J., Ahn, C. H. and Cho, C. S., 1995, Overview for the effective use of geothermal ene-

- rgy, Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 409-419.
7. Lim, H. J., Kwon, J. T., Kim, C. E., Kong, H. J. and Park, S. K., 2009, An experimental study of ground water source two well type geothermal heat pump system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 8, pp. 468-474.
 8. Lim, H. J., Kong, H. J., Kang, S. J. and Choi, J. H., 2011, The effects of the installation conditions of ground loop heat exchanger to the thermal conductivity and borehole resistance, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 95-102.
 9. Choi, J. M., Lim, H. J., Kang, S. H., Moon, J. M. and Kim, R. H., 2009, Daily Heating performance of a Ground Source Multi-heat Pump at Heating Mode, Proceedings of the SAREK, pp. 527-535.
 10. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and An, H. J., 2005, Cooling and heating performance evaluation of a GSHP system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 71-81.
 11. Sohn, B. H., Choi, J. M. and Choi, H. S., 2011, Performance simulation of ground- coupled heat pump(GHP) system for a detached house, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 392-399.
 12. Kim, B. S., 2009, The Energy Performance Analysis of Ground Heat Sources Heat Pump System Installed in Green Home, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 9, pp. 339-346.
 13. Gaia geothermal, 2011, Ground loop design instructor edition, Gaia geothermal, pp. 10-25.
 14. Han, H. T., 2007, Mechanical measurements, Koo-mibook, Seoul, Korea. pp. 41-55.