

지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 일일 난방 운전 특성에 관한 실증 연구

최 종 민, 임 효 재*, 강 신 형**, 문 제 명***, 김 록 회***

국립한밭대학교 기계공학과, *호서대학교 기계공학과, **건양대학교 기계공학과, ***삼성전자 생활가전 사업부

Daily Heating Performance of a Ground Source Multi-heat Pump at Heating Mode

Jong Min Choi, Hyo-Jae Lim*, Shin-Hyung Kang**, Jemyung Moon***, RockHee Kim***

Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

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

***Department of Mechanical Engineering, Konyang University, Chungnam 320-711, Korea*

****Air-conditioning R&D Group, Samsung Electronics Co. Ltd., Suwon 442-742, Korea*

(Received July 23, 2009; revision received September 2, 2009)

ABSTRACT: The aim of this study is to investigate the daily heating performance of ground source multi-heat pump system with vertical single U-tube type GLHXs, which were installed in a school building located in Cheonan. Daily average COP of heat pump unit on Jan. 12th, 2009 at heating mode was lower than it on Nov. 10th, 2008 and Dec. 15th, 2008, because of lower EWT of the outdoor heat exchanger and relatively smaller size of condenser and evaporator. But, the system COP on the former was higher than it on the latter because ground loop circulating pump was operated in rated speed. It is suggested that the new algorithms to control the flow rate of secondary fluid for GLHX according to load change have to be developed in order to enhance the performance of the system COP.

Key words: GSHP(지열원 히트펌프), GLHX(지중열교환기), Multi-heat pump(시스템 히트펌프), COP(성능계수), Heating mode(난방모드)

기 호 설 명

COP_{HP} : 히트펌프 유닛 성능계수
 COP_{sys} : 히트펌프 시스템 성능계수
 C_p : 비열 [J/kg · K]
 \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 Q_{id} : 실내기 난방 용량 [kW]
 Q_{od} : 실외기 흡수 열량 [kW]

T_i : 실외열교환기 입구 온도 [°C]
 T_o : 실외열교환기 출구 온도 [°C]
 W_{cp} : 히트펌프 유닛 소비전력 [kW]
 W_{pump} : 지중 순환펌프 소비전력 [kW]

1. 서 론

지열은 건물의 냉·난방 에너지원으로 효과적으로 활용될 수 있는 자원이지만,^(1~3) 국내에서 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이다. 이에 대한 원인으로 대체 열원에 대한 관심 부족, 지열을 회수

† Corresponding author

Tel.: +82-41-730-5192; fax: +82-41-736-4079

E-mail address: shkang@konyang.ac.kr

하기 위한 열교환 기술의 부족, 기존 냉·난방 설비에 비해 상대적으로 큰 초기 투자비, 관련 기준의 부재 등을 들 수 있다.⁽⁴⁾ 최근에는 시스템 설치가 해마다 증가하고 있지만, 대부분 물대물 히트펌프 시스템을 중심으로 개발 및 보급되었으며, 물대공기 등의 다양한 지열원 히트펌프 시스템 보급과 성능 분석 및 신뢰성 확보와 경제성 분석 등은 현재도 미비한 실정이다. 특히, 현대인의 생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 생활을 영위하고자 하는 욕구 증가와 주거 및 사무공간의 대형화, 고급화 추세에 따라 공조기 사용이 점차 확대되고 있다. 이에 따라 건물의 공조 방식도 개별 공간의 기능과 각 공간의 거주자 요구에 부합하는 개별 공조 방식으로 변화하고 있는 추세이다. 이와 함께 에너지 절약 및 환경 문제 등의 해결 방안으로 각 개별공조공간의 부하에 따라 독립적으로 용량 조절이 가능한 용량 가변형 공조 시스템으로 물대공기 방식의 지열원 멀티 히트펌프 도입 및 수요가 증가하고 있다.^(5, 6)

현재 미국 및 캐나다 그리고 북유럽 국가 등이 지열원 히트펌프 시스템의 보급 및 연구활동의 중심에 있다. 2000년을 기준으로 이들 국가는 51만 2000여대의 시스템을 설치하였으며, 특히 지난 10년 동안 매년 10% 이상의 증가율을 보이고 있는 것으로 추산되고 있다.⁽⁷⁾ 국내에서 지열원 히트펌프에 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이지만, 신·재생에너지 이용에 대한 관심도가 증가하고 보급 활성화를 위한 제도적인 장치가 마련되면서 설치 사이트가 증가하고 있다.⁽⁴⁾

Hepbasli⁽⁸⁾와 Hepbasli et al.⁽⁹⁾는 수직 밀폐형 지중 열교환기를 적용한 지열원 히트펌프 시스템의 성능 특성에 관한 연구를 수행하였으며, Zhao et al.⁽¹⁰⁾은 대체냉매를 적용한 지열원 히트펌프 시스템의 성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 국내에서는 Shin et al.⁽¹¹⁾에 의해 지열 에너지의 이용 가능성이 확인된 후, 지열원 히트펌프의 성능 분석 및 요소기술 개발에 대한 관심도가 증가하고 있다. 지열원 히트펌프 보급 초창기에 Kim et al.⁽¹²⁾은 국내에 설치된 일부 지열원 시스템에 대해 성능을 측정하고, 지열원 히트펌프의 국내 적용 타당성을 제시하였다. 수직 밀폐형 지열원 히트펌프의 장기간 운전에 따른 성능 분석 및 지중 온도 변화에 대한 실증연구가 Sohn et al.^(13, 14)에 의해 수행되었다. 지금까지 대부분의 지열원 히트펌프 시스템은 수직밀폐형 지중열교환기를 채

용한 정속형 물대물 지열 히트펌프 시스템을 중심으로 개발 및 보급되고 있다.⁽¹⁵⁾ 개별공조 시스템으로서 에너지 절약 및 쾌적성 증가 측면에서 많은 장점을 갖는 멀티 히트펌프 시스템은 첨단 차세대 공조 시스템으로 많은 연구 및 개발이 진행되고 있지만,⁽⁵⁾ 대부분 공기열원 시스템으로 개발되었으며 지열원을 이용한 물대공기 멀티 히트펌프에 관한 연구성과는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 물대공기 방식의 복수의 실내기를 갖는 지열원 멀티 히트펌프 시스템의 일일 난방 성능에 관한 실증연구를 수행하여 지열원 멀티 히트펌프 시스템의 국내 적용 타당성과 신뢰성 확보를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실증 설비 및 성능 평가 방법

2.1 사이트 개요

지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템의 난방 성능분석을 위한 대상 건물은 천안에 소재한 H 대학교 학군단 건물이다. 지하 1층과 지상 3층으로 구성되며, Fig. 1과 Table 1에 대상 건물과 난방부하량을 나타내었다. 실내기는 대상 건물의 2층과 3층에 설치하였으며, 각각 행정실과 강의실로 사용된다.

2.2 지열원 시스템 개요

본 연구에서는 에너지관리공단 신재생에너지 센터의 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준⁽¹⁶⁾ 중에서 지열원 히트펌프 시스템 설치 및 설계 기준에 따라 상용 지중열교환기 설계 프로그램인 GLHEPRO⁽¹⁷⁾를 이용하여 지중열교환기를 설계하였으며, 천공깊이 150m의 싱글 U-tube 방식 지중 열교환기 5개를 설치하였다. 이때, 지중 열교환기 설계의 필수 자료인 지중열전도도는 지경부 고시 제 2008-3호⁽¹⁶⁾에 따른 절차 및 방법에 따라 측정하였다. 지열원 멀티 히트펌프 유닛은 20 RT급(53.5kW) 실외기와 8대의 실내기로 구성된다. 실내기는 7개실에 설치하였으며, 실내기는 105%의 조합비를 갖고, 지중 순환펌프는 2.2kW급 정속형 인라인 펌프가 설치되었다. Fig. 2는 본 지열원 멀티 시스템의 계통도를 나타내며, Table 2는 본 연구에 사용한 지열원 물대공기 멀티 히트

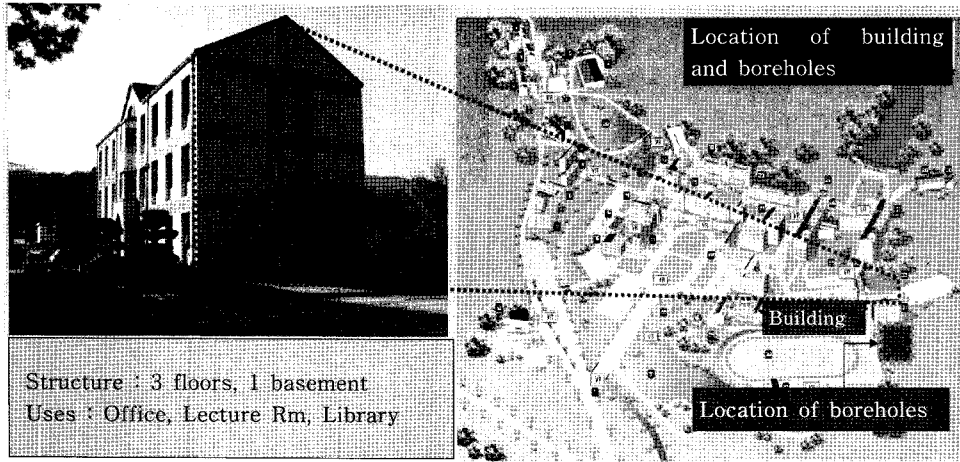


Fig. 1 Site view of the building.

펌프 유닛 및 지중열교환기와 보어홀의 설치 사양을 나타낸다.

2.3 실증 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템의 실제 사용에 따른 실증 데이터 확보 및

성능 분석을 수행하고자 각 실별로 재실자의 사용에 따라 지열원 히트펌프 제조사의 운전 제어 알고리즘에 따라 작동하였다. 시스템의 실내 부하 조건에 따라 시스템 가동시에는 지중 순환펌프가 정속 운전되며, 각 부하량에 따라 히트펌프의 실외기 유닛의 압축기가 가변운전을 한다.

현장 성능 평가를 위하여 지경부 고시 제 2008-3호의 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준⁽¹⁶⁾에 따라 지열원 물대공기 히트펌프의 주요 부위에 온도 센서와 유량계 등을 설치하였

Table 1 Loads and areas of the building

Location	Cheonan	Heating load(kW)
2nd floor area	96 m ²	14.3
3rd floor area	158.4 m ²	31.3
Building Use	Office, Class Rm.	

Table 2 Specifications of GSHPs

Parameters		System 1
Heat pump unit	Type	Water to air
	OD unit	20RT
	ID unit	2way × 2, 4way × 6
	Refrigerant	R410A
	Manufacturer	Samsung Electronics Co.
GLHX	Type	Single U-tube
	Borehole diameter	150 mm
	Borehole depth	150 m
	Distance between boreholes	6 m
	No. of boreholes	5
Tube diameter	32 mm	

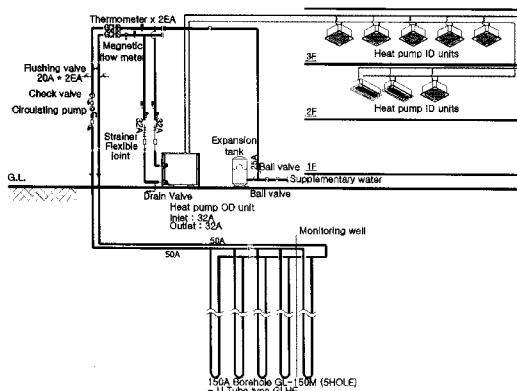


Fig. 2 Schematic diagram of ground source multi-heat pump system.

다. K형 열전대를 이용하여 지중 순환수의 실외 열교환기 입·출구 온도와 지중 열교환기의 표면 온도를 측정하였으며, 열전대의 정확도는 $\pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 히트펌프 유닛의 소비전력은 적산전력계(WT 230, Yokogawa Co., 정확도 : $\pm 0.5\%$)로 측정하였으며, 지중 순환수의 유량은 체적유량계(LF 600, Toshiba, 정확도 : $\pm 2\%$)를 설치하여 측정하였다. 지중 온도의 안정성 평가를 위하여 천공홀의 중간에 1개의 모니터링 홀을 천공하고, K형 열전대를 지중에 매설하였다. 데이터 로거와 센서로 구성된 데이터 취득 시스템을 가동하고, 시스템 2차 유체 순환부와 지중 열교환부의 주요 데이터를 5초 간격으로 취득하여 컴퓨터에 저장하였다.

본 연구에서는 다수의 실내기의 용량을 직접 측정하는 것이 현실적으로 곤란하였다. 따라서, 지중 순환수의 실외 열교환기 입출구 온도와 유량을 측정하여 실외 열교환기 용량을 산출하고(식(1)), 히트펌프의 소비전력을 이용하여 실내기 용량을(식(2)) 계산한다. 아울러 식(3)을 이용하여 히트펌프 유닛의 COP를 계산하였다.⁽¹⁸⁾ 지중 순환펌프의 소비동력을 고려한 전체 시스템의 COP 계산에는 식(4)를 적용하였다.

$$Q_{od} = \dot{m} C_p (T_i - T_o) \quad (1)$$

$$Q_{id} = Q_{od} + W_{cp} \quad (2)$$

$$COP_{HP} = Q_{id} / W_{cp} \quad (3)$$

$$COP_{sys} = Q_{id} / (W_{cp} + W_{pump}) \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

본 실측은 2008년 11월 10일부터 2009년 1월 29일까지 수행되었다. 본 연구에서는 기존에 널리 사용되어온 정속형 압축기를 채용한 물대물 지열원 히트펌프 시스템과 달리 용량가변형 압축기가 채용된 물대공기 멀티 시스템의 용량 가변에 따른 성능을 분석하고자, 주요 일자별로 시스템 가동 시간 동안의 일일 난방 성능을 분석하였다.

Fig. 3은 11월 10일과 12월 15일의 일일 중 히트펌프 가동 시간 동안 시간의 변화에 따른 지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 난방용량 변화를 나타낸다. 시스템은 오전 8시 30분경에 가동을 시작

하여 오후 4시 35분경까지 주로 운전되었다. 본 지열원 멀티 히트펌프 설치 대상 건물은 대학교의

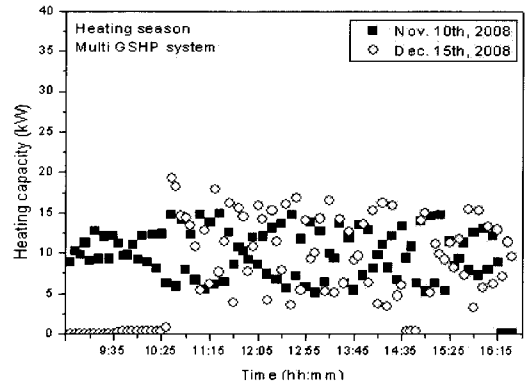


Fig. 3 Variation of heating capacity with time (Nov. 10th and Dec. 15th).

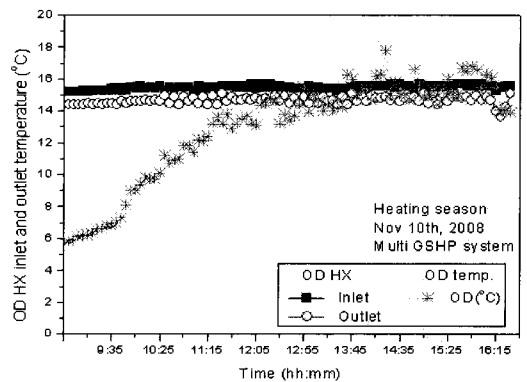


Fig. 4 Variation of inlet and outlet temperature of OD HX with time(Nov. 10th).

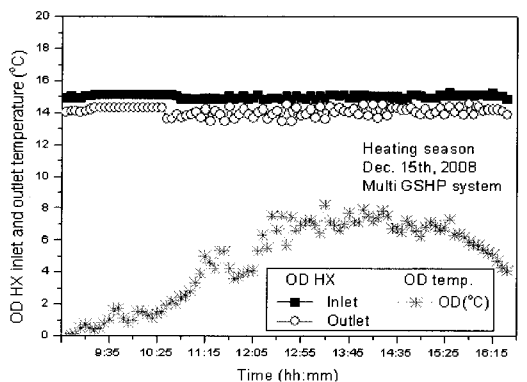


Fig. 5 Variation of inlet and outlet temperature of OD HX with time(Dec. 10th).

학군단 건물로서 각 재실 공간의 용도가 다양하여 동시 사용율이 낮고, 실별 사용 변화에 따라 시스템이 부분부하로 운전되면서 난방 용량이 지속적으로 변동하였다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보여지듯이 11월 10일 대비 12월 15일에는 시스템 가동 중의 평균 외기온도가 9.6℃ 감소하여 전체적으로 건물의 난방부하는 증가하였을 것으로 평가되나, 각 재실공간의 용도가 다양하여 각 실별 가동율이 달라서 평균 난방용량은 감소하였다. 히트펌프 유닛의 시스템 정격용량대비 11월 10일과 12월 15일의 평균 난방용량은 각각 16.2%와 8.1%의 낮은 부하율을 나타냈다. 본 지열원 멀티 히트펌프 시스템은 용량 가변형 압축기를 채용하고, 다수의 실내기로 구성되어 Fig. 3과 같이 각 실별 부하에 따라 부분 부하 운전이 가능하므로 기존 시스템 대비 축열 및 단속 운전에 따른 에너지 손실을 줄일 수 있을 것으로 평가된다.

Fig. 4~Fig. 5에서 보여지듯이 11월 10일과 12월 15일 모두 시스템 운전에 따라 실외열교환기 입구의 지중순환수 온도는 변화폭이 미소하였으나, 출구온도는 입구온도에 비하여 변화폭이 다소 크게 나타났다. 이는 지중순환수가 시스템 부하량에 따라 실외열교환기를 통과하며 시스템으로의 열전달량이 변화되지만, 실외열교환기를 통과한 후에 지중열교환기를 통과하면서 지중으로부터 열을 충분히 회복하였기 때문이다. 11월 10일과 12월 15일 실외열교환기 최대 입구온도 변화는 각각 0.5℃, 0.4℃이었으며, 출구온도변화는 1.5℃, 1.1℃를 나타냈다. 실외열교환기 입구 온도 변화는 일일 중 0.5℃ 이하이었으나, 외기온도는 11월

10일과 12월 15일에 각각 최대 12℃와 8.3℃의 변화를 나타냈으므로 본 시스템은 공기열원 히트펌프 대비 성능이 안정적인 것으로 평가된다.

Fig. 6은 히트펌프 유닛의 COP 변화를 나타낸다. 압축기의 소비전력은 압축기의 용량 가변에 따라 빠르게 변화된다. 하지만, 난방용량은 압축기 용량 변화 시에 히트펌프 유닛의 냉매 유량과 압력 및 온도 등이 안정화 된 후에 안정된다. 특히, 본 지열원 히트펌프 시스템은 디지털 스크롤 압축기를 채용하고 있으므로, 소비 전력량은 일정 기간 적산에 의해 산정하는 것이 타당하다. 따라서, 히트펌프 유닛의 COP 산정 시에 난방용량과 압축기 소비전력을 2초 간격으로 측정하고 10분간 적산하여 계산하였다. 11월 10일과 12월 15일의 히트펌프 유닛 일일 최대 COP는 각각 6.8, 7.5를 나타냈으며, 일일 평균 COP는 각각 4.8과 4.2를 나타내어 지열원 히트펌프 인증 기준⁽¹⁶⁾ 대비 우수한 성능을 나타냈다. 11월 10일의 평균부하량이 12월 15일의 평균부하량보다 크지만, 11월 10일의 평균 COP가 12월 15일보다 크게 나타났다. 이는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 12월 15일의 부하 변동율이 커서 압축기의 작은 용량 가변에 따른 손실이 다소 크게 나타났기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 8은 지중열교환기 표면온도 변화를 나타낸 것이다. 난방 운전 시 히트펌프 유닛의 실외 열교환기는 증발기로 작동되며, 지중순환수는 실외열교환기를 통과하면서 냉매에 열을 전달하고 온도가 낮아진 뒤에 지중열교환기를 순환하면서 지중

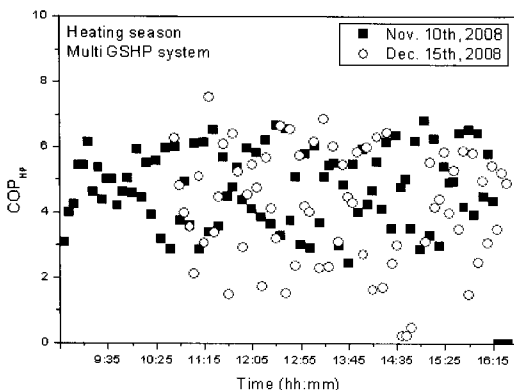


Fig. 6 Variation of COP of heat pump unit with time(Nov. 10th and Dec. 15th).

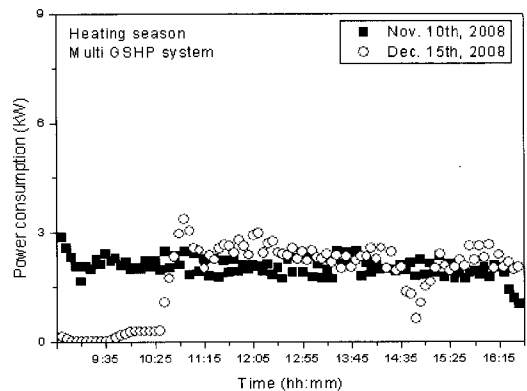


Fig. 7 Variation of power consumption of heat pump unit with time(Nov. 10th and Dec. 15th).

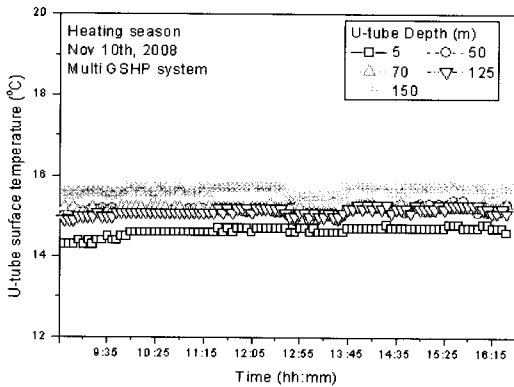


Fig. 8 Variation of surface temperature of GLHX with time(Nov. 10th).

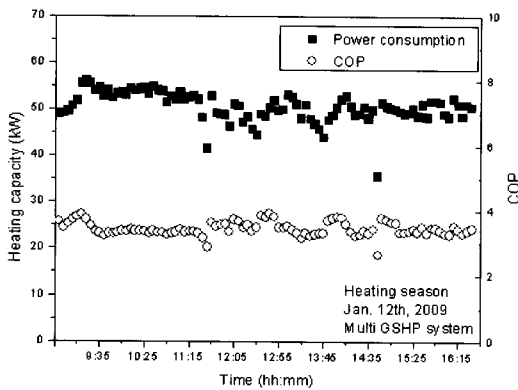


Fig. 9 Variation of heating capacity and COP with time(Jan. 12th).

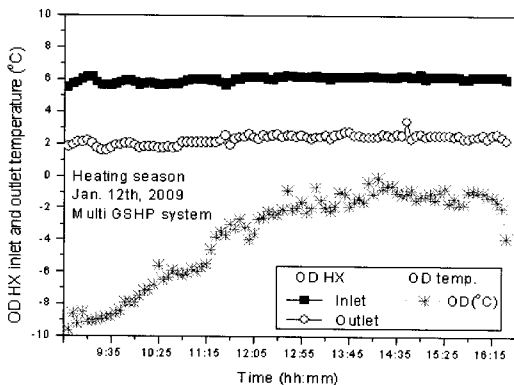


Fig. 10 Variation of inlet and outlet temperature of OD HX with time(Jan. 12th).

으로부터 열을 흡수한다. 지중 순환수가 실외열교환기를 나와 지중으로 순환하므로 지중 심도가

깊어짐에 따라 온도가 회복되었다. 특히, Fig. 4의 외기온도와 비교하여 각 위치별 지중온도 변화가 매우 적어서 지열원 히트펌프 시스템이 매우 안정적으로 운전되고 있는 것으로 평가된다.

Fig. 9는 지열원 멀티형 히트펌프의 난방 성능 측정기간 중에 히트펌프가 가동되는 주간 시간에 대하여 외기온도가 영하 9.6 °C에서 영하 0.1 °C로 가장 낮고 부하량이 가장 크게 발생한 1월 12일에 대한 난방용량과 히트펌프 유닛 COP 변화를 나타낸다. 평균 50.4kW의 난방용량을 나타냈으며, 시스템 정격 용량 대비 94%의 부하량을 나타냈다. 11월 10일과 12월 15일 대비 부하량이 크고, 압축기의 용량 가변율이 작아서 난방용량과 COP 변화율이 작게 나타났다. 히트펌프 유닛 COP는 일일 평균 3.5로 12월 15일 대비 17% 감소하였는데, 이는 Fig. 10과 Fig. 5에서 보여지듯이 지중 순환수의 실외열교환기 유입온도가 12월 15일보다 감소하고, 시스템의 난방용량 증가로 상대적으로 응축기와 증발기 크기가 감소한 효과 때문이다. 하지만, 본 지열원 히트펌프 제조사에서 생산하고 있는 본 지열원 시스템과 동일한 압축기 등을 채용한 동일 용량의 공기열원 히트펌프의 외기온도 -10 °C의 히트펌프 유닛 COP⁽¹⁹⁾ 대비 41.3% 우수한 성능을 나타냈다. 특히, 동절기 난방 운전 시에 공기 열원 히트펌프 시스템과 달리 본 지열원 멀티 히트펌프 시스템은 실외열교환기에의 적상에 의한 난방 능력 상실 및 저감이 없고, 제상을 위한 에너지 투입이나 손실이 없으므로 공기열원 대비 난방 운전 시의 에너지 절감효과는 더욱 클 것으로 예상된다.

Fig. 11은 천공홀 사이의 중간 위치에 설치된 지중온도 모니터링 홀의 1월 12일에 대한 지중심도별 시간에 따른 온도변화를 나타낸다. 11월 10일부터 1월 29일까지의 기간 중에 외기온도가 가장 낮고 평균 운전부하가 가장 높지만, 모니터링 홀의 지중온도는 큰 변화가 없었다. 특히, 50 m 이하의 지중 심도별 온도차이는 매우 작게 나타났다. 특히, 외기온도가 매우 높고, 난방 운전이 시작된 11월 10일의 모니터링 홀의 지중 심도별 온도 변화(Fig. 12)와 비교하여 50 m 이하 지점의 온도차이는 1 °C 이하로 작게 나타났으며, 하절기 냉방 운전 시 충분히 회복될 것으로 예상된다. 따라서, 동절기 기간 중에 지중 열원의 안정성으로 인하여 본 지열원 멀티 히트펌프는 공기열원

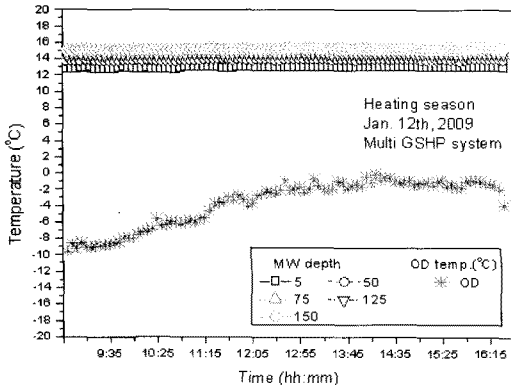


Fig. 11 Variation of monitoring well temperature with time(Jan.12th).

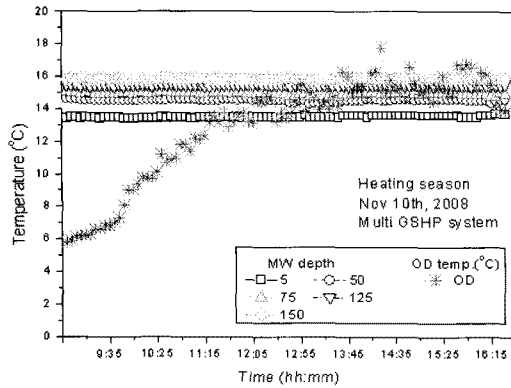


Fig. 12 Variation of monitoring well temperature with time(Nov.12th).

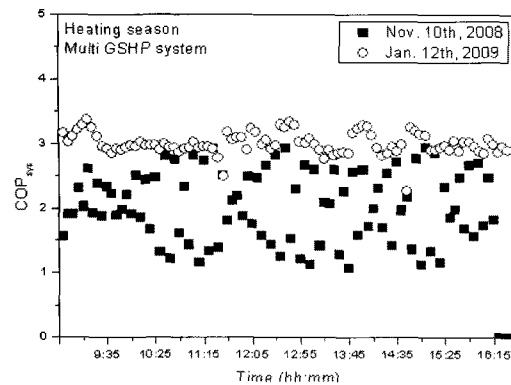


Fig. 13 Variation of system COP with time(Nov. 10th and Jan.12th).

히트펌프 시스템 대비 매우 큰 에너지 절감을 이룰 수 있을 것으로 평가된다.

Fig. 13은 전체 시스템의 COP를 나타낸 것이다. 11월 10일의 일일 평균 히트펌프 유닛 COP는 1월 12일 일일 평균 히트펌프 유닛 COP 대비 37% 높게 나타났으나, 시스템 COP는 11월 10일이 1월 12일보다 매우 낮게 나타났다. 이는 지중 순환펌프는 시스템 가동 중에 항상 정격 용량으로 운전되므로 부하량이 작은 경우에 히트펌프 유닛에서 요구되는 실외열교환기 유닛의 지중순환수 유량보다 커서 히트펌프 유닛의 성능은 증가하지만, 시스템 용량 증가 대비 순환펌프 소비동력 증가량이 커서 전체 시스템 COP는 감소하기 때문이다. 11월 10일과 1월 12일의 시스템 COP는 각각 2.0과 3.0을 나타내으며, 히트펌프 유닛 COP 대비 58.3%와 14.2%씩 감소하였다. 그러므로, 본 시스템과 같이 용량 가변형 지열원 멀티 히트펌프의 전체 성능(시스템 COP)을 향상시키기 위해서는 부하 변동 등으로 인한 히트펌프의 용량 변화 시에 지중순환펌프의 순환 유량 최적화를 위한 효율적 운전 제어 알고리즘이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 복수의 실내기를 갖고 가변속 압축기를 채용한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템을 현장에 설치하여 제조사의 운전 제어 알고리즘에 따라 주요 일차별 일일 난방 실증 성능 특성을 분석하였으며 다음의 결론을 얻었다.

2008년 11월 10일 대비 2008년 12월 15일에는 시스템 가동 중의 평균 외기온도가 9.6°C 감소하였으나, 각 재실공간의 용도별 부하특성으로 11월 10일보다 난방 요구량이 작게 나타났다. 이로 인해 12월 15일에는 11월 10일보다 잦은 압축기 가변에 따른 손실로 일일 평균 COP가 낮게 나타났다.

2009년 1월 12일에는 정격 용량대비 94%의 부하율로 11월 10일과 12월 15일 대비 4배 이상의 부하량으로 압축기 용량 가변율이 작아서 난방용량과 COP 변화율이 작게 나타났다.

2009년 1월 12일에는 지중순환수의 실외열교환기 유입온도가 2008년 12월 15일보다 감소하고, 시스템의 난방용량 증가로 상대적으로 응축기와 증발기 크기가 감소한 효과로 히트펌프 유닛 COP가 감소하였으나, 본 지열원 히트펌프 제조사에서 생산하고 있는 본 지열원 시스템과 동일한 압축기 등을 채용한 동일 용량의 공기열원 히트펌프

프의 1월 12일 외기온도 -10°C 의 히트펌프 유닛 COP 대비 70% 우수한 성능을 나타냈다.

본 지열원 히트펌프의 2008년 11월 10일의 일일 평균 히트펌프 유닛 COP는 외기온도가 낮고 일일 부하량이 크게 나타난 1월 12일의 일일 평균 히트펌프 유닛 COP 대비 37% 높게 나타났으나, 지중순환펌프의 정속운전으로 시스템 요구 지중순환수 유량 증가에 따른 성능 향상보다 소비전력 증가 영향이 커서 1월 12일의 시스템 COP 보다 33.3% 작은 값을 나타냈다.

본 연구의 용량 가변형 압축기를 채용한 지열원 멀티 히트펌프 유닛을 지열원 냉난방 시스템의 히트펌프 유닛으로 사용할 경우 시스템 최적화를 통한 시스템 COP 향상과 연간에너지 절감을 이루기 위해서는 히트펌프의 용량 변화 시에 지중순환펌프의 순환 유량 최적화를 위한 효율적 운전 제어 알고리즘이 필요하다.

부하량과 외기온도 차이가 큰 2008년 11월 10일과 2009년 1월 12일의 시스템 가동 중의 모니터링 홀의 지중온도는 큰 변화가 없었다. 특히, 50 m 이하의 지중 심도별 온도차이는 매우 작게 나타났으므로 동절기 기간 중에 지중 열원의 안정성으로 인하여 본 지열원 멀티 히트펌프는 공기열원 히트펌프 시스템 대비 매우 큰 에너지 절감을 이룰 수 있을 것으로 평가된다.

후 기

본 연구는 (주)삼성전자의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- DOE, 2001, Ground-source heat pumps applied to federal facilities-second edition, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245 (PNNL-13534), US Department of Energy.
- Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., 2007, A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications, Renew Sustainable Energy Rev. Vol. 11, pp. 1675-1697.
- Spitler, J., 2005, Ground-source heat pump system research-past, present and future, HVAC&R Res. Vol. 11, pp. 165-167.
- Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and An, H. J., 2004, Heat exchanger performance of vertical u-tube ground heat exchangers, Proceedings of the SAREK, pp. 1323-1328.
- Song, I. S., Joo, J. J., Chung, H. J., Kang, H., Kim, Y., and Choi, J. M., 2007, The performance of capacity modulation and MIMO control for system heat pump, Proceeding of the SAREK 2007 Winter Annual Conference, pp. 364-369.
- Song, I. S., Choi, J. M., Joo, J. J., Chung, H. J., Kang, H. and Kim, Y., 2008, The performance of a simultaneous heat and cooling heat pump at various charging conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 492-499.
- Lund, J. W. and Freeston, D. H., 2001, World-wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, Vol. 30, pp. 29-68.
- 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., 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, GIL. and Zhang, C. L., 2002, Experimental research on geothermal heat pump system with non-azeotropic 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 energy, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 409-419.
- Kim, B. C., Shin, H. J. and Cho, C. S., 2003, The measurement and analysis of performance of ground source heat pump system in winter, Proceedings of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 1086-1093.
- Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J., An, H. J.,

- and Yim, S. K., 2003, Performance evaluation of a closed loop vertical ground-source heat pump system, Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 56-61.
14. 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.
 15. Shin, H. J., Cho, J. S., Hwang, I. J., Kim, J. Y., Lee, S. W., Sohn, B. H., Lim, H. J., Park, S. G., Lee, C. and Song, Y. S., 2005, Construction of performance evaluation methods and technical standards for ground source heat pump systems, Final Report, Ministry of Knowledge Economy.
 16. Ministry of Knowledge Economy, 2008, Standards of support, installation, and management for new and renewable energy system, Ministry of Knowledge Economy Announcement 2008.
 17. IGSHPA, 2007, GLHEPRO 4.0 for windows user's guide, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University.
 18. Stoecker, W. F. and Jones, J. W., 1982, Refrigeration and Air conditioning, McGraw-Hill.
 19. Samsung, 2008, Samsung DVM. Technical Manual, Samsung Co.