

지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 냉방 운전 특성에 관한 실증 연구

최 종 민, 강 신 형*, 최 재 호**, 임 효 재****, 문 제 명****,
권 영 석****, 권 형 진****, 김 록 희****

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

Verification Experiment of a Ground Source Multi-heat Pump at Cooling Mode

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

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

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

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

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

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

(Received March 10, 2009; revision received March 26, 2009)

ABSTRACT: The aim of this study is to investigate the cooling performance of ground source multi-heat pump systems with a vertical single U-tube GLHX(U-tube system) and a vertical double tube GLHX(double tube system), which were installed in a school building located in Cheonan. All systems were operated in a part load conditions for all day, and the maximum COP of the single U-tube system and the double tube system were 6.2 and 5.2 at cooling mode, respectively. The double tube GLHX designed by the GLHEPRO, commercial program, was estimated to have the same performance as the U-tube GLHX, because the inlet temperatures of each outdoor unit heat exchanger for the former was similar to the latter. However, it is needed to prove the long term performance. It is suggested that the new algorithms to control the flow rate of secondary fluid for GLHX according to load variation have to be developed in order to enhance the performance of the system.

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

† Corresponding author

Tel.: +82-41-540-5802; fax: +82-41-540-5582

E-mail address: hjlim@hoseo.edu

기 호 설 명

COP : 히트펌프 유닛 성능계수
 C_p : 비열 [J/kg · K]
 \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 Q_{id} : 실내기 냉방 용량 [kW]
 Q_{od} : 실외기 방출 열량 [kW]
 T_i : 실외열교환기 입구 온도 [°C]
 T_o : 실외열교환기 출구 온도 [°C]
 W : 히트펌프 유닛 소비전력 [kW]

1. 서 론

무한 지속 가능한 지열 에너지를 활용한 공조 시스템인 지열원 히트펌프 시스템은 기존의 공조 시스템보다 열원이 안정적이기 때문에 높은 효율과 우수한 성능을 가지며, 대기 중에 노출되는 기기가 없다는 장점을 가지지만 초기 설치비가 크다는 단점을 가지고 있다.⁽¹⁻³⁾

국민의 소득증대와 더불어 생활수준이 향상되어 주거환경의 쾌적성에 대한 욕구가 점차 높아져 에어컨과 같은 공조기기의 보급이 1가구 1대에서 1실 1대로 되어가는 추세이다. 따라서, 설치공간과 공사비의 절감 및 에너지 절약적 차원에서 한 대의 실외기에 다수의 실내기가 접속되는 개별공조형 멀티 히트펌프에 관한 연구 및 개발이 증가되고 있다.⁽⁴⁻⁵⁾

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.⁽⁶⁾ 국내에서 지열원 히트펌프에 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이지만, 근래 들어 신·재생에너지 이용에 대한 관심도가 증가하고 보급 활성화를 위한 제도적인 장치가 마련되면서 설치 사이트가 증가하고 있다.⁽⁷⁾

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 성능분석 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 성능분석 및 지중 온도 변화에 대한 실증연구가 Sohn et al.⁽¹³⁻¹⁴⁾에 의해 수행되었다. 지금까지 대부분의 지열원 히트펌프 시스템은 수직밀폐형 지중열교환기를 채용한 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,⁽⁴⁾ 대부분 공기열원 시스템으로 개발되었으며 지열원을 이용한 물대공기 멀티 히트펌프에 관한 연구성과는 매우 미흡한 실정이다. 또한, 시공비 절감 측면에서 장점을 가진 것으로 알려진 이중관식 지중열교환기를 적용한 지열원 히트펌프 시스템에 대한 국내 연구 성과는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 U-tube 수직 밀폐형 지중열교환기와 이중관식 지중열교환기를 적용한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템의 냉방 성능에 관한 실증 연구를 수행하여 지열원 멀티 히트펌프 시스템과 이중관식 지중열교환기의 국내 적용 타당성 및 신뢰성 확보를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실증 설비 및 성능 평가 방법

2.1 사이트 개요

본 연구에서 선정한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 실증 성능 평가를 위한 시스템 설치 대상 건물은 천안에 소재한 H 대학교 학군단 건물이다. 지하 1층과 지상 3층으로 구성되며, 지하 1층은 기계실로 사용되며, 공조 공간은 지상 3층이며, 행정반, 도서관, 강의실 등으로 구성된다. Fig. 1과 Table 1은 대학 내의 시스템 설치 현장의 위치와 건물 개요를 나타내며, Table 2는 시스템 설치 대상 건물의 부하량을 나타낸다.

2.2 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템

상용 지중열교환기 설계프로그램인 GLHEPRO⁽¹⁶⁾

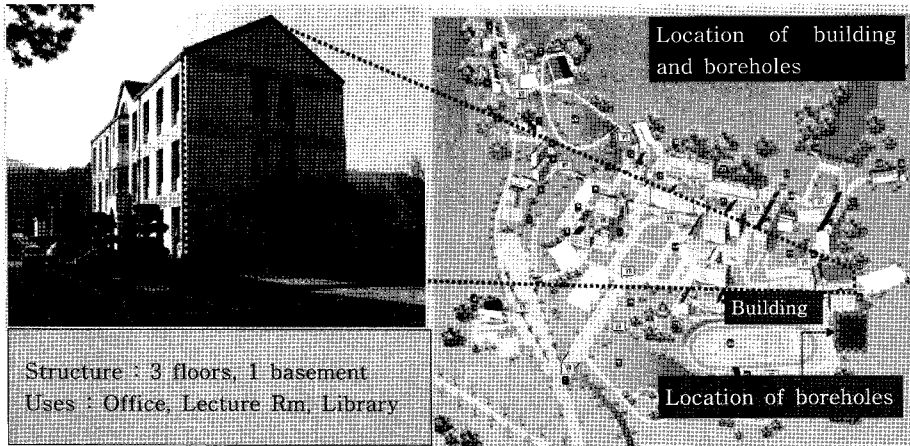


Fig. 1 Site view of the building.

를 이용하여 지중열교환기를 설계하였으며, 천공 깊이가 150m의 싱글 U-tube 방식 지중 열교환기 5개와 천공 깊이가 100 m의 이중관 방식 지중 열교환기 3개를 설치 및 시공하였다. 지열원 멀티 히트펌프 유닛은 20 HP급 2대를 설치하였으며, 각각의 히트펌프 실외기 유닛은 동일하며, 실내기 유닛은 실내공간 크기 및 부하에 따라 8대와 7대의 실내기를 조합하여 각각의 실외기 유닛에 냉매 배관으로 연결 및 설치하였다. 또한, 각각의 히트펌프 유닛에 대하여 U-tube 방식과 이중관 방식 지중열교환기를 각각 독립적으로 연계하여 각 시스템의 냉방 운전 성능을 평가하였다. Table 3은 본 연구에 사용한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프

프 유닛 및 지중열교환기와 보어홀의 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 사

Table 1 Outline of building

Location	Cheonan
1st floor area	211.2 m ²
2nd floor area	129.6 m ²
3rd floor area	158.4 m ²
Building Use	Office, Class Rm., Library

Table 2 Loads of the building

Building	Load(kW)	
	Cooling	Heating
1st floor	44.5	36.3
2nd floor	27.1	19.3
3rd floor	36.3	31.1
Total	107.9	86.7

Table 3 Specifications of GSHPs

Parameters		System 1	System 2	
Heat pump unit	Type	Water to air	Water to air	
	OD unit	20HP	20HP	
	ID unit	2way×2 4way×6	1way×1 4way×6	
	Refrigerant	R410A		
	Manufacturer	Samsung Electronics Co.		
GLHX	Type	Single U-tube	Double tube	
	Dia. of borehole	150 mm	150 mm	
	Depth of borehole	150 m	100 m	
	Distance between boreholes	6 m	6 m	
	No. of boreholes	5	3	
	Tube diameter	32 mm	Inner	50.8 mm
			Outer	85.3 mm

용에 따라 지열원 히트펌프 제조사의 운전 제어 알고리즘에 따라 작동하였다.

현장 성능 평가를 위하여 산업자원부 고시 제 2008-3호의 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준⁽¹⁷⁾에 따라 지열원 물대공기 히트펌프의 주요 부위에 온도 센서와 유량계 등을 설치하였다. K형 열전대를 이용하여 지중 순환수의 실외 열교환기 입·출구 온도와 지중 열교환기의 표면온도를 측정하였으며, 열전대의 정확도는 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 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. 데이터 로거와 센서로 구성된 데이터 취득 시스템을 가동하고, 시스템 2차 유체 순환부와 지중 열교환부의 주요 데이터를 5초 간격으로 취득하여 컴퓨터에 저장하였다.

본 연구의 지열원 물대공기 멀티 히트펌프는 부하측 열교환기가 실내의 공기와 직접 열교환하고, 실내기가 다수 장착되어 있으며, 실내 팬 풍속이 변화되므로 실증 사이트의 현장에 설치된 다수의 실내 측 열교환기의 냉방용량 측정이 현실적으로 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 지중 순환수의 실외 열교환기 입출구 온도와 유량을 측정하여 실외 열교환기 용량을 산출하고(식(1)), 히트펌프의 소비전력을 이용하여 실내 용량을(식(2)) 계산하였으며, 식(3)을 이용하여 히트펌프 유닛의 COP를 계산하였다.⁽¹⁸⁾ U-tube 지중 열교환기 적용 히트펌프 시스템(이하 U-tube 시스템)과 이중관식 지중 열교환기 적용 히트펌프(이하 이중관식 시스템) 각각에 대하여 성능을 계산하였다.

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

$$Q_{id} = Q_{od} - W \quad (2)$$

$$COP = Q_{id} / W \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

본 실측은 2008년 9월 27일(토요일)부터 2008년 9월 30일(화)까지 수행되어 냉방 부하가 적어서 시스템의 가동율이 매우 낮았다. 또한, 각 실내는 교관실, 강의실, 도서관, 행정반 등으로 동시에 재실자가 있는 경우는 발생하지 않았으며,

이에 따라 시스템은 대부분 부분부하로 운전되었다. 따라서 본 연구에서는 가장 큰 부하가 발생한 9월 30일에 대하여 시스템 가동 시간 동안의 일일 냉방 성능을 분석하였다.

Fig. 2는 일일 중 히트펌프 가동 기간 동안 시간의 변화에 따른 지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 냉방용량을 나타낸다. 지열원 멀티 히트펌프 설치 대상 건물은 대학교의 학군단 건물로서 각 재실 공간의 용도가 다양하여 동시 사용율이 낮아 대부분 부분부하로 운전되어 냉방 용량이 지속적으로 변화하였다. U-tube 시스템과 이중관 시스템 모두 8시 30분경에 운전을 시작하여 21시경에 운전이 종료되었다. 또한, 두 시스템 모두 14시경 부근에서 냉방용량이 가장 크게 나타났으며, 이는 일사량 증가와 외기 온도 증가에 따른 실내부하량 증가 때문인 것으로 판단된다. 일일 평균 냉방용량은 U-tube 시스템과 이중관 시스템은 각각 26.4 kW와 20.0 kW를 나타내어 제조사의 정격 용량 대비⁽¹⁸⁾ 약 59.3%와 45.1%로 운전되었다. 본 지열원 멀티 히트펌프 시스템은 지금까지 널리 사용되어온 정속형 압축기를 채용한 물대공기 지열원 히트펌프 시스템⁽¹⁵⁾과 달리 용량 가변형 압축기를 채용한 물대공기 방식의 다수의 실내기로 구성된 멀티형 지열원 히트펌프로써 단속운전에 의하여 부하 변동에 대응 가능한 물대공기 시스템과 달리 용량 가변에 의하여 부분부하에 대응 가능하므로 Fig. 2와 같이 부하 대응 능력이 우수하게 나타났으며, 히트펌프의 에너지 소비량을 감소시킬 수 있다고 평가된다.

Fig. 3과 Fig. 4는 시간에 따른 지중열교환기가 지중으로 방출하는 열량과 열펌프 유닛의 실외

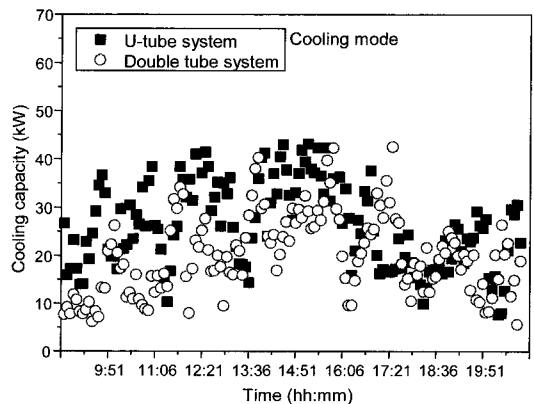


Fig. 2 Cooling capacity according to time.

열교환기 입·출구의 지중 순환수 온도를 나타낸다. 지중으로 방출하는 열량은 시간에 따라 냉방 용량과 유사한 변화를 나타냈으며, 이는 재실 공간의 부하량 변화에 따라 압축기의 용량이 가변되었기 때문이다. 오전에 히트펌프가 운전을 시작한 후 점차적으로 실외 열교환기 입·출구 온도 모두 증가하다가 4시 이후에는 점차적으로 감소하였다. 이는 일사량 증가 및 감소 등으로 부하량이 증가 및 감소함에 따라 지중으로의 방출 열량이 증가 및 감소하였기 때문이다. 이때, 실외 열교환기 입구 온도보다 출구온도의 변화폭이 크게 나타났으며, 이는 지중 열원의 안정성으로 인하여 히트펌프의 열방출량이 빈번히 변화되어도 지중 순환수가 지중열교환기를 통과한 후에 다소 안정적으로 히트펌프 실외 열교환기로 유입되었으나, 실외 열교환기 출구 온도는 압축기 등의 용량 가변에 따라 열교환기의 열방출량 변화가 출구온도에 직접적인 영향을 주었기 때문이다.

Fig. 5는 U-tube 및 이중관 시스템의 시간의 변화에 따른 히트펌프 유닛의 COP 변화를 나타낸다. 압축기의 소비전력은 압축기의 용량 가변에 따라 빠르게 변화된다. 하지만, 냉방용량은 압축기 용량 변화 시에 히트펌프 유닛의 냉매 유량과 압력 및 온도 등이 안정화 된 후에 안정된다. 따라서, 히트펌프 유닛의 COP 계산 시에 압축기 소비전력 변화와 냉방용량 변화와의 시간 차이로 인하여 주의가 요구된다. 특히, 본 지열원 히트펌프 시스템은 디지털 스크롤 압축기를 채용하고 있으므로, 소비 전력량은 일정 기간 적산에 의해 산정하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 히트펌프 유닛의 COP 산정 시에 냉방용량과 압축기 소비전력을 10분간 적산하여 계산하였다. U-tube 시스템의 히트펌프 유닛 일일 최대 COP는 6.2, 이중관 시스템의 히트펌프 유닛 COP는 5.2를 나타냈으며, 일일 평균 COP는 각각 4.5와 4.2를 나타내어 지열원 히트펌프 인증 기준⁽¹⁷⁾을 만족하였다. 특히, 압축기 용량 증가 시에 압축기 소비전력은 급격히 증가되지만, 냉방용량의 열지연 현상으로 용량 증가가 늦게 나타나므로 실제 정상 상태 COP는 더욱 클 것으로 분석된다. 부분 부하에서의 운전으로 시스템의 용량이 변화됨에 따라 이중관식 시스템의 COP가 전체적으로 U-tube 시스템보다 낮게 나타났는데, 이는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 이중관식 시스템이 U-tube 시스템의

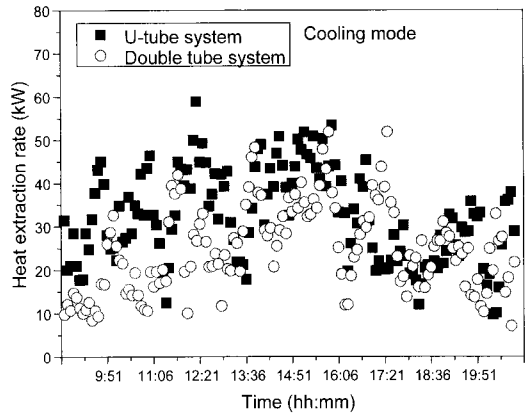


Fig. 3 Heat extraction rate according to time.

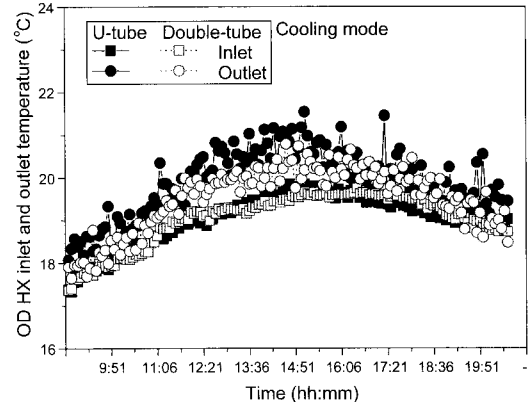


Fig. 4 Inlet and outlet temperature of OD HX according to time.

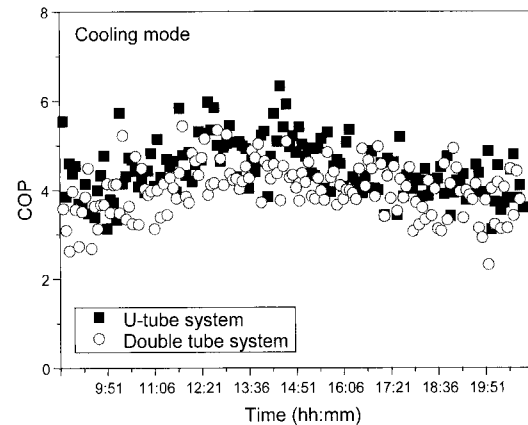


Fig. 5 COP of heat pump unit according to time.

부하량보다 전체적으로 작아서 압축기의 운전율

가변에 따른 손실이 다소 크게 나타났기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 6과 Fig. 7은 냉방 운전 시 시간에 따른 지중 열교환기 파이프 표면의 온도변화를 나타낸다. 냉방 운전시 히트펌프 유닛의 실외 열교환기에서는 냉매가 응축하는 과정에서 온도가 높아진 지중 순환수는 지중 열교환기를 순환하면서 지중으로부터 열을 방출한다. U-tube는 지상으로부터의 유입관쪽에 온도 센서가 설치되어 지중으로 순환수가 진행함에 따라 온도가 회복되었으며, 75m 이하 지점에서 온도는 유사하였다. 이중관 표면온도는 전체 지중부에 대하여 깊이가 변화되어도 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 이내로 온도가 유사하게 나타났다. 이는 지중 순환수가 이중관의 내측관으로 유입된 후 지중 최저 지점에 이른 후 다시 외측관을 흐르는 대향류로 구성되어 지중으로 열전달을 하기 때문인 것으로 분석된다. 두 시스템 모두 부하가 변동하여도 실외열교환기 입구 온도는 실외열교환기 출구온도와 COP 및 냉방용량 변화에 비하여 안정적으로 나타났으므로, GLHEPRO⁽¹⁶⁾ 프로그램 설계에 의하여 국내에서 처음 적용된 이중관식 지중 열교환기가 U-tube 지중 열교환기와 대등한 성능을 갖는 것으로 평가되나, 지중 열용량 차이 등에 대한 장기적인 성능 데이터 확보를 통한 신뢰성 확보가 필요하다고 판단된다.

Fig. 8은 시간에 따른 지중 순환수의 유량 변화를 나타낸다. 시스템 가동 기간 동안 히트펌프는 부하에 따라 용량 가변 운전을 하였으나, 지중 순환수의 유량은 일정하였다. 이는 히트펌프 유닛 제조사의 운전제어 알고리즘⁽¹⁹⁾에 따라 압축기 기동 전에 정속으로 순환펌프를 기동하고, 압축기 정지 후에도 일정 시간 정속으로 순환펌프를 운전하기 때문이다. 따라서, 부분 부하 운전시에 압축기는 가변운전을 하지만, 순환펌프는 지속적으로 운전되었기 때문이다. 이중관식 시스템과 U-tube 시스템의 지중 순환수의 평균 유량은 각각 175.1 LPM과 145 LPM을 나타내어 이중관식 시스템의 유량이 U-tube 시스템보다 크게 나타났는데, 이는 Table 3에 나타난 바와 같이 이중관식 지중 열교환기의 배관길이가 짧고, 내측의 직경이 U-tube 직경보다 크기 때문이다. 일반적으로 지중 순환수의 유량이 설계점보다 증가한 경우 소비 전력 증가에 비하여 히트펌프의 용량 증가폭은 작게 나타난다.⁽²⁰⁾ 따라서, 용량 가변

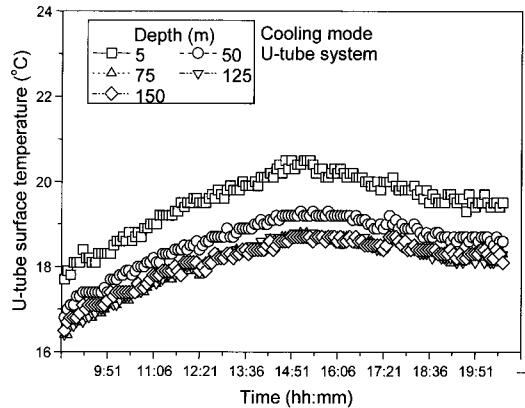


Fig. 6 Surface temperature of U-tube heat exchanger according to time.

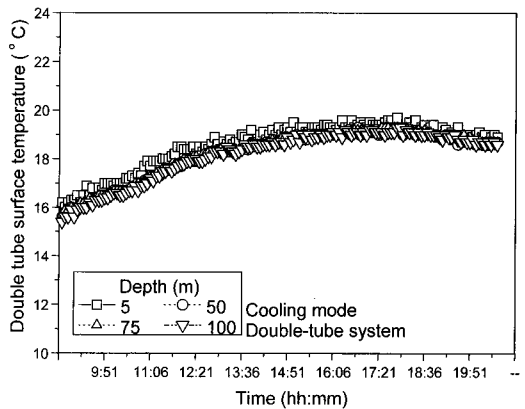


Fig. 7 Surface temperature of double-tube heat exchanger according to time.

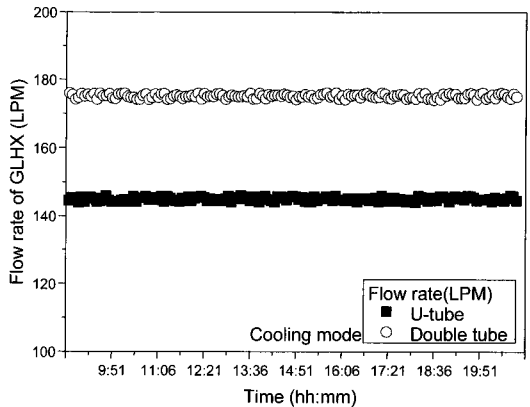


Fig. 8 Flow rate according to time.

이 가능한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 연간

성능 향상을 위해서는 부분 부하 운전 시의 순환 펌프의 효율적 제어 알고리즘 개발이 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 복수의 실내기를 갖고 가변속 압축기를 채용한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 시스템을 현장에 설치하여 제조사의 운전 제어 알고리즘에 따른 냉방 실증 성능을 평가 분석하였다.

9월 30일에 대한 실측 데이터로서 각 재실공간의 용도가 다양하고, 외기온도에 따른 냉방 부하가 작아서 U-tube 시스템과 이중관시스템은 각각 정격 용량 대비 일일 평균 59.3%와 45.1%의 냉방용량으로 운전되었다. 두 시스템 모두 부하가 변동하여도 실외열교환기 입구 온도는 실외열교환기 출구온도와 COP 및 냉방 용량 변화에 비하여 안정적으로 나타났으므로, GLHEPRO⁽¹⁶⁾ 프로그램 설계에 의하여 국내에서 처음 적용된 이중관식 지중 열교환기가 U-tube 지중 열교환기와 대등한 성능을 갖는 것으로 평가되나, 지중 열용량 차이 등에 대한 장기적인 성능 데이터 확보 및 신뢰성 확보가 필요하다.

시간에 따른 부하 변동에 따라 압축기의 용량이 변으로 실내기 냉방 용량이 변화되었으나, U-tube 시스템의 히트펌프 유닛 일일 최대 COP는 6.2, 이중관 시스템의 히트펌프 유닛 COP는 5.2로 높게 나타났다. 일일 평균 COP는 지열원 히트펌프 인증 기준⁽¹⁷⁾을 만족하였으며, 소비전력 변화에 따른 냉방용량의 열지연 현상을 고려한다면 실제 COP는 더욱 클 것으로 평가된다.

본 실증 연구에서는 이중관 시스템과 U-tube 시스템 모두 히트펌프 유닛의 정격 용량 대비 약 60% 이하에서 운전되었으나, 지중 순환펌프는 정속으로 최대 용량으로 운전되었다. 따라서, 용량 가변이 가능한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 연간 성능 향상을 위해서는 부분 부하 운전시의 순환펌프의 효율적 제어 알고리즘 개발이 요구된다.

후 기

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

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. Spitler, J., 2005, Ground-source heat pump system research-past, present and future, *HVAC&R Res.* Vol. 11, pp. 165-167.
4. 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.
5. 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.
6. Lund, J. W. and Freeston, D. H., 2001, World-wide direct use of geothermal energy 2000, *Geothermics*, Vol. 30, pp. 29-68.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

10. Zhao, P. C., Zhao, L., Ding, G.L. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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. IGSHPA, 2007, *GLHEPRO 4.0 for windows user's guide*, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University.
17. Ministry of Knowledge Economy, 2008, *Standards of support, installation, and management for new and renewable energy system*, Ministry of Knowledge Economy Announcement 2008-3.
18. Stoecker, W. F. and Jones, J. W., 1982, *Refrigeration and Air conditioning*, McGraw-Hill.
19. Samsung, 2007, *Samsung DVM water system airconditioner; Technical data book*, Samsung.
20. Han, J. S., Han, G. S., Han, H. S. and Han, C., 2005, Geothermal heating and cooling system, *Hanrimwon*, Seoul, pp. 10.2-10.4.