

지열원 멀티 히트펌프의 동절기 난방성능에 관한 실증 연구

최종민[†], 임효재*, 강신형**, 최재호***, 문제명****, 권영석****,
권형진****, 김록희****

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

Verification experiment of a ground source multi-heat pump at heating season

Jong Min Choi[†], Hyo-Jae Lim*, Shin-Hyung Kang**, Jae Ho Choi***,
Jemyung Moon****, Youngseok Kwon****, HyungJin Kwon****, 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*

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

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

ABSTRACT: This paper describes the multi-heat pumps applied in an ground source heat pump system for an actual building. The performance of a ground source multi-heat pump installed in the field was investigated at heating season. The average COP of the systems with single U-tube and double tube type GLHXs were 4.8 and 5.0, respectively. It is needed to investigate the long term performance of double tube type GLHX, because the reduction of inlet temperature of OD HX for this GLHX was larger than it for U-tube GLHX.

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

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 효율

[†] Corresponding author

Tel : +82-42-821-1731; fax: +82-42-821-1462

E-mail address :jmchoi@hanbat.ac.kr

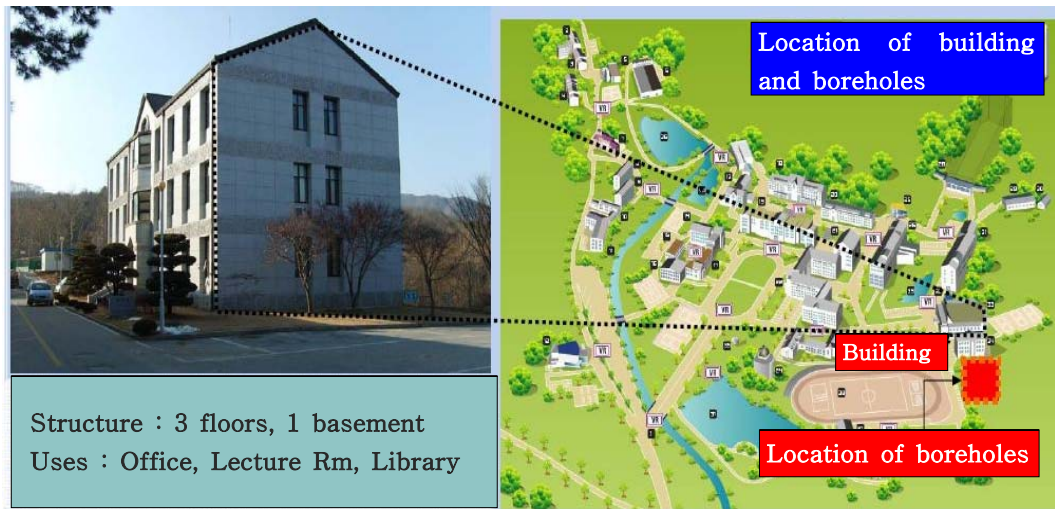


Fig. 1 Site view of the building.

과 우수한 성능을 가지며, 대기 중에 노출되는 기기가 없다는 장점을 가지지만 초기 설치비가 크다는 단점을 가지고 있다.

국민의 소득증대와 더불어 주거환경의 쾌적성에 대한 욕구가 점차 증가하고, 설치공간과 공사비의 절감 및 에너지 절약적 차원에서 한 대의 실외기에 다수의 실내기가 접속되는 개별공조형 멀티 히트펌프에 관한 연구 및 보급이 증가되고 있다.⁽¹⁾

Hepbasli⁽²⁾와 Hepbasli et al.⁽³⁾는 수직 밀폐형 지중 열교환기를 적용한 지열원 히트펌프 시스템의 성능 특성에 관한 연구를 수행하였으며, Zhao et al.⁽⁴⁾은 대체냉매를 적용한 지열원 히트펌프 시스템의 성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다.

지열원 히트펌프 국내 보급 초창기에 Kim et al.⁽⁵⁾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.⁽⁶⁾에 의해 수행되었다. 개별공조 시스템으로서 에너지 절약 및 쾌적성 증가 측면에서 많은 장점을 갖는 멀티 히트펌프 시스템은 첨단 차세대 공조 시스템으로 많은 연구 및 개발이 진행되고 있지만⁽¹⁾, 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 난방 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 선정된 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 실증 성능 평가를 위한 시스템 설치 대상 건물은 천안에 소재한 H 대학교 학군단 건물이다. Fig. 1과 Table 1은 대학 내의 시스템 설치 현장의 위치와 건물 개요를 나타낸다.

상용 지중열교환기 설계프로그램인 GLHEPRO를 이용하여 지중열교환기를 설계하였으며, 천공 깊이 150m의 싱글 U-tube 방식 지중 열교환기 5개와 천공깊이 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 지중열

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 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	100m
	Distance between boreholes	6 m	6 m
	No. of boreholes	5	3
	Tube diameter	32 mm	Inner 50.8 mm Outter 85.3 mm

교환기를 각각 독립적으로 연계하여 각 시스템의 난방 운전 성능을 평가하였다. Table 2는 본 연구에 사용한 지열원 물대공기 멀티 히트펌프 유닛 및 지중열교환기와 보어홀의 사양을 나타낸다.

2.2 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.

현장 성능 평가를 위하여 산업자원부 고시 제 2008-3호의 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준⁽⁷⁾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 ±0.2°C이다. 히트펌프 유닛의 소비전력은 적산전력계(WT 230, Yokogawa Co., 정확도: ±0.5%)로 측정하였으며, 지중 순환수의 유량은 체적유량계(LF 600, Toshiba, 정확도: ±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 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. U-tube 지중 열교환기 적용 히트펌프 시스템(이하 U-tube 시스템)과 이중관식 지중 열교환기 적용 히트펌프(이하 이중관식 시스템) 각각에 대하여 성능을 계산하였다.

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

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

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

3. 결과 및 고찰

본 실측은 2008년 11월 10일부터 2009년 1월 31일까지 수행되었으며, 각 실내는 교관실, 강의실, 도서관, 행정반 등으로 동시에 재실자가 있는 경우는 발생하지 않았으며, 이에 따라 시스템은 대부분 부분부하로 운전되었다.

본 연구의 지열원 멀티 히트펌프 시스템 적용 대상 건물은 전술한 바와 같이 재실공간의 다양한 용도로 인하여 외기온도보다는 재실 공간 사용에 따른 난방 부하특성으로 전 난방 기간에 대하여 부분부하 운전되었으며, 일일 난방 부하가 거의 유사한 패턴을 나타냈다. 또한, 본 히트펌프

시스템은 기존에 널리 사용되어 온 물대물 시스템과 달리 히트펌프의 용량 가변이 가능하여 건물 재실 공간의 부하 변화에 따라 일일 중의 히트펌프의 용량변화가 빈번하게 발생하였다. 따라서, 일자별로 시간에 따른 시스템 성능 보다는 일일 평균 난방 용량 등을 이용하여 난방 기간에 대한 분석을 수행하였다.

Fig. 2는 물대공기 멀티 지열원 히트펌프 시스템의 일자별 평균 난방 용량을 나타낸다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 일일 평균 외기온도가 매우 낮은 경우에 U-tube 시스템과 이중관 시스템의 운전율 증가로 일일 평균 난방 용량은 전체적으로 증가하였으나, 외기 온도 감소에 따라 난방 부하가 항상 증가하지는 않았다. U-tube 시스템의 경우 2009년 1월 29일의 시스템 가동 시간 동안의 외기 평균온도는 2.2°C로 2008년 11월 28일의 평균 외기온도 4.9°C보다 낮게 나타났으나, 1월 29일의 난방용량은 15.4 kW로 11월 28일의 난방용량 20.2 kW보다 낮게 나타났다. 일반적으로 외기온도가 하강하면 건물의 난방 부하가 증가하지만, 본 연구의 히트펌프 설치 대상 건물은 학군단 건물로서 재실공간의 용도가 다양하고, 동시 사용율이 작으며, 재실자의 수가 매우 가변적이어서 일반적인 건물의 난방 부하 패턴을 나타내지 않았다. Fig. 4는 일자별 U-tube 시스템과 이중관 시스템의 일일 평균 COP를 나타낸다. 영상의 외기온도 조건에서는 부하변화에 따라 시스템의 난방용량이 변화되어도 COP 변화량이 미소하였으나, 외기 평균온도가 영하로 매우 낮은 경우에는 시스템 COP가 U-tube 시스템과 이중관 시스템 모두 감소하였다. 외기온도가 영하로 낮은 경우 시스템의 난방용량 증가로 지중으로부터의 열흡수량이 증가하여 지중 순환수의 히트펌프 유입온도가 감소하여 시스템 성능이 감소하고 소비전력이 증가하였기 때문이다. 하지만, 2008년 11월 10일과 비교하여 평균 외기온도가 11°C 및 6.9°C 감소한 2008년 12월 22일과 2009년 1월 29일의 이중관 시스템의 시스템 COP 감소폭은 크지 않았다. 본 난방 성능 측정 기간에 대하여 평균 난방 COP는 U-tube 시스템과 이중관 시스템은 각각 4.8과 5.0을 나타내어 매우 우수한 성능을 나타냈다.

Fig. 5은 U-tube 시스템의 U-tube 지중 열교환기의 지표면으로부터 125 m 지점과 150 m

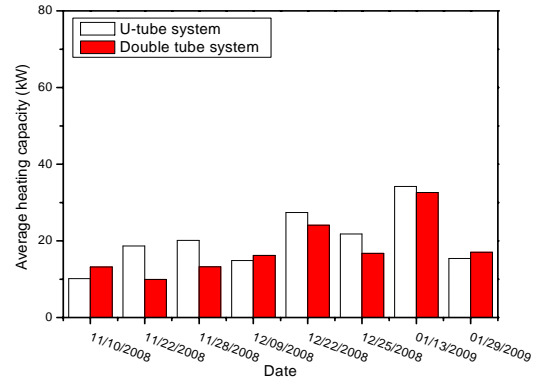


Fig. 2 Daily average heating capacity.

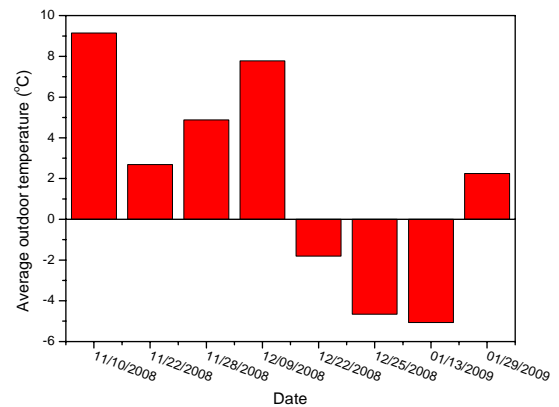


Fig. 3 Daily average OD temperature.

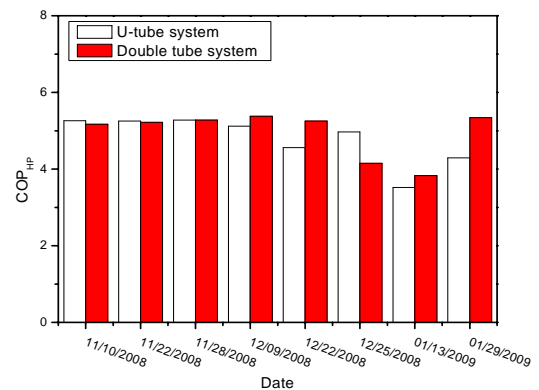


Fig. 4 Daily average COP.

지점의 열교환기 표면온도와 실외 열교환기로 유

입되는 지중 순환수 온도 변화를 나타내며, Fig. 6은 이중관 시스템의 이중관식 지중 열교환기의 지표면으로부터 75 m와 100 m 지점의 표면온도를 나타낸다. 본 지열원 멀티 히트펌프 시스템은 11월에 가동을 시작하여 그림 Fig. 7에 나타난 바와 같이 외기 온도가 변화되었으며, 1월 중에 최저 외기 온도를 나타내는 기간이 발생하였다. 시스템의 가동율이 변화됨에 따라 실외 열교환기 유입 온도가 변화되었다. 11월과 12월 중순까지는 비교적 U-tube와 이중관 열교환기의 표면온도 및 실외 열교환기 유입 지중 순환수 온도 변화가 크지 않았으나, 외기온도가 대부분 0°C 이하를 나타낸 1월에는 지중열교환기 표면온도와 실외 열교환기 유입 온도가 다른 기간에 비해 감소하였다. 특히, 이중관 시스템의 열교환기 표면온도와 실외 열교환기 유입 지중 순환수 온도의 감소폭이 U-tube 시스템보다 크게 나타났다. 하지만, 외기온도가 다소 상승한 1월 하순에는 지중열교환기 표면온도와 실외 열교환기 유입온도가 다시 회복되었다. 외기온도가 -14.4°C부터 17.4°C로 동절기에 변화됨에 따라 U-tube 시스템의 실외 열교환기 유입온도는 4.2°C부터 15.1°C의 범위에서 변화되었으며, 이중관 시스템의 실외 열교환기 유입온도는 -0.6°C부터 16.2°C의 범위에서 변화되었다. 외기온도가 낮은 경우 이중관 시스템의 실외 열교환기 유입온도가 U-tube 시스템보다 낮은 값을 나타냈으나, 이는 부하량 차이 때문이며, 정격조건대비 악조건에서도 두 시스템 모두 지열 히트펌프 유닛 난방 인증 기준을 만족하였다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 시스템 열용량 변화에 따른 지중 온도 변화를 고찰하기 위하여 U-tube 시스템의 중간에 설치된 모니터링 홀 (monitoring well)의 온도는 평균 15.5°C를 나타냈으며, 평균온도 대비 -0.6°C에서 +0.4°C 범위 내에서 변화되었다. 외기온도 변화에 따라 U-tube 시스템과 이중관 시스템의 부하량 증가로 U-tube 시스템과 이중관 시스템의 실외 열교환기 유입 온도는 유사한 경향을 나타냈으나, 모니터링 홀의 온도 변화는 미소하였고, 1월 하순의 온도 분포에서 보여지듯이 이중관 시스템과 U-tube 시스템 모두 온도는 회복되었다. 하지만, 외기온도가 낮은 경우에 시스템의 가동율이 증가함에 따라 이중관식 시스템의 실외 열교환기 유입 온도 변화폭은 U-tube 시스템보다 매우 크게

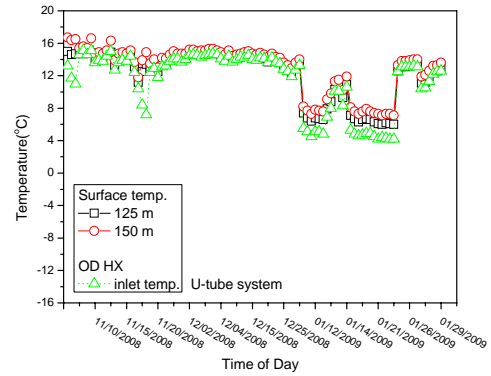


Fig. 5 Surface temperature of U-tube GLHX and inlet temperature of ODHX.

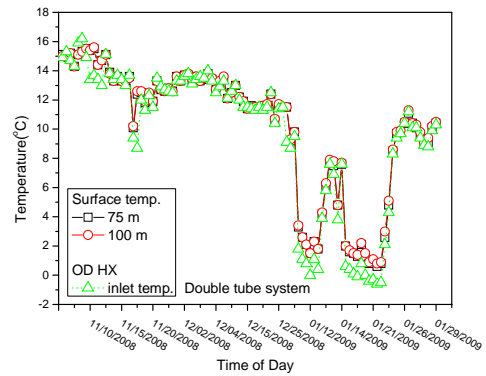


Fig. 6 Surface temperature of Double-tube GLHX and inlet temperature of ODHX.

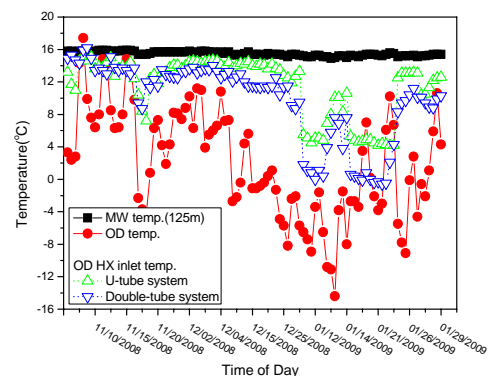


Fig. 7 Ground temperature and OD temperature.

나타났다. 그러므로, 국내에 처음 적용된 이중관 시스템의 신뢰성에 대해서는 좀 더 장기적인 성능 평가 및 분석을 통한 신뢰성 확보가 요구된다.

4. 결 론

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

일일 평균 외기온도가 매우 낮은 경우에 U-tube 시스템과 이중관 시스템의 운전을 증가로 일일 평균 난방 용량은 전체적으로 증가하였으나, 외기 온도 감소에 따라 난방 부하가 항상 증가하지는 않았다.

2008년 11월 10일부터 2009년 1월 31일까지의 본 연구의 난방 성능 측정 기간에 대하여 평균 난방 COP는 U-tube 시스템과 이중관 시스템은 각각 4.8과 5.0을 나타내어 매우 우수한 성능을 나타냈다.

외기온도가 -14.4°C 부터 17.4°C 로 동절기에 변화됨에 따라 U-tube 시스템의 실외 열교환기 유입온도는 4.2°C 부터 15.1°C 의 범위에서 변화되었으며, 이중관 시스템의 실외 열교환기 유입온도는 -0.6°C 부터 16.2°C 의 범위에서 변화되었다. 외기온도가 낮은 경우 이중관 시스템의 실외 열교환기 유입온도가 U-tube 시스템보다 낮은 값을 나타냈으나, 이는 부하량 차이 때문이며, 정격 조건대비 약조건에서도 두 시스템 모두 지열 히트펌프 유닛 난방 인증 기준을 만족하였다.

시스템의 가동율이 증가함에 따라 이중관식 시스템의 실외 열교환기 유입 온도 변화폭은 U-tube 시스템보다 매우 크게 나타났다. 그러므로, 국내에 처음 적용된 이중관 시스템의 신뢰성에 대해서는 좀 더 장기적인 성능 평가 및 분석을 통한 신뢰성 확보가 요구된다.

후 기

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

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.