

복사패널이 적용된 건물일체형 지열원 시스템의 난방성능 분석

김상진*, 이진욱**, 김태연***, 이승복***

*연세대학교 대학원 건축공학과 (sangjin722@gmail.com), **포항산업과학연구원 연구원,
***연세대학교 건축공학과 교수

Heating Performance Analysis of Building Integrated Geothermal System With Radiant Floor Heating

Jin, Shangzhen* Lee, Jin-Uk** Kim, Taeyeon*** Leigh, Seung-Bok***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Yonsei University (sangjin722@gmail.com),
**Research Institute of Science and Technology of POSCO, POSCO Global R&D Center
***Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University

Abstract

Ground source heat pumps(GSHPs) are among the most efficient and comfortable heating and cooling technologies currently available, because they use the earth's natural heat to provide heating, cooling, and often, water heating. And Building Integrated Geothermal System(BIGS) is one of GSHPs which install ground heat exchanger(GHE) in energy pile without borehole to save the investment cost. Therefore, the experiment is to evaluate the heating performance of BIGS in Korea. The experimental results indicate that the average heat pump COP and overall system's COP values are approximately 4.4 and 3.0 in one week. This study shows that the BIGS could be used for heating in Korea.

Keywords : 건물일체형 지열시스템(Building Integrated Geothermal System), 지열히트펌프 시스템(Ground Source Heatpump System), 에너지 파일(Energy Pile), 지중열교환기(Ground Heat Exchanger), 성적계수 COP(Coefficient of Performance)

기 호 설 명

\dot{m} : Mass flow rate (kg/s)

C_p : Specific heat (kJ/kg · K)

ΔT : Temperature difference between inlet into heat pump and outlet from heat pump

Submit date : 2012. 6. 19, Judgment date : 2012. 7. 1, Publication decide date : 2012. 10. 12
Communication author : Leigh, Seung-Bok(sbleigh@yonsei.ac.kr)

Q_h : Heating capacity (kW)
 W_h : Electricity consumption by heat pump (kW)
 COP : Coefficient of performance

1. 서 론

유가의 불안정과 기후변화협약의 규제 등에 대응함에 있어서 신재생에너지의 중요성이 커지고 있다. 이중 특히 지열원을 이용한 냉난방기술이 주목을 받고 있다. 미국 환경보호청은 지열원 히트펌프 시스템 (GSHP : Ground Source Heat Pump)은 현존하는 열원 중에서 가장 에너지 효율적이고 환경 친화적이며, 비용 효과가 우수한 시스템이라고 보고하고 있다. 또한 일반적인 공기열원 히트펌프 시스템 대비 최대 44%, 전기난방을 겸비한 에어컨 시스템 대비 최대 72%의 에너지를 절약 가능하다고 말하고 있다.

해외에서는 지열원 히트펌프시스템을 사용한 많은 실험과 연구가 진행되어 왔다. C.Montagud et al¹⁾은 스페인에 위치한 건물에 지열원 히트펌프 시스템을 적용하여 2005년부터 5년동안 지속적으로 작동한 후 전체기간의 성능을 분석하였고 Kadir Bakirci²⁾은 터키에 위치한 주거용 건물을 대상으로 가장 추운 한 달의 난방성능을 분석하였다. 위의 실험에서 사용한 지중열교환기는 수직 U자형으로 현재 가장 많이 사용되면서 열 교환 효율도 가장 좋다. 그러나 지중열교환기는 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 설치비가 전체 초기 설치비용의 30-50%를 차지하며 기존 냉난방 설비보다 큰 것이 단점이다³⁾.

이와 같은 단점을 해결하고자 경제성과 적용성을 고려한 건물일체형 지열원 히트펌프 시스템(BIGS: Building Integrated Geothermal System)이 독일을 시작으로 영국, 오스트리아, 스위스 등 유럽 전역에 다양하게 적용되고 있다. Christopher J.Wood et al⁴⁾은 U자형

지중열교환기를 삽입한 에너지 파일을 주거용 건물에 적용하여 겨울철 난방 성능을 분석하였고 Yasuhiro Hamada et al⁵⁾은 마찰 말뚝에 열교환기를 설치하여 주거용 겸 오피스 건물의 겨울철 난방 성능을 분석하였다. 하지만 위의 실험에서처럼 에너지 파일에 U자형 지중열교환기를 삽입하였을 시 기초물의 얇은 매설 깊이 때문에 충분한 열 교환을 진행할 시간이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 나선형 파이프를 에너지 파일에 삽입하여 지열원 히트펌프 시스템의 지중열교환기로 사용하여 이러한 문제점들을 개선하였다. 실험에서는 현재 국내 주거용 건물에서 대부분 사용하고 있는 바닥 복사 난방과 결합하여 이와 같은 시스템의 국내 주거 건물에서의 난방성능과 적용성을 분석하였다.

2. 지중열교환기 개요

본 실험에서 사용된 지중열교환기는 나선형 파이프를 건물의 기초로 사용되는 PHC 파일에 삽입한 것으로 초기설치비를 절약하였고 또한 기초물의 얇은 설치 깊이에서도 충분한 열 교환을 진행할 수 있도록 파이프의 길이를 길게 하였다. 파일의 그라우팅재료로 모래를 사용하여 열전달 효율을 향상시켰다.



그림 1. 나선형 파이프 지중열교환기 설치

나선형 파이프는 열전달이 우수하고 내식성에 대한 저항성이 뛰어나고 연성이 좋은 폴리부틸렌을 원료로 하여 만든 것으로 1분당 총 길이는 196m이고 두께는 25A이다. 또한 온도가 비교적 높은 지표보다는 지중 깊은 곳

과 열 교환이 잘 이루어지도록 하기 위하여 열교환기의 하단 피치간격은 조밀하고 상단의 간격은 성기계 설계하였다.

본 실험에서는 실내 난방 부하를 충분히 만족시킬 수 있도록 하기 위해 2분의 지중열 교환기를 선정하여 진행하였다.

3. 실험 개요

3.1 실험 대상

본 실험에서 사용된 건물은 인천시 Y대학교에 위치한 저에너지 친환경 공동주택으로 총 다섯 세대로 구성되었다. 그 중 2008년 신규 개정된 법규에 의해 설계한 베이스 모델 대비 에너지 절감 80% 모델을 선정하여 실험용 세대로 하였다. 표1은 실험 대상 건물에 대한 설명이다.

표 1. 실험 대상

대상	Y대학교 실험용 공동주택
위치	인천광역시, Y대학교 송도캠퍼스
준공년도	2010년
연면적	1,860.70m ²
건축면적	968.76m ²
방향	동남향
용도	1층 - 홍보전시실, 모니터링실, 기계/전기실, 시청각실 2-4층 - 실험용 공동주택(5세대)

80% 모델은 거실과 침실 4개로 구성되었고 침실3을 제외한 나머지 실들은 남면을 향하도록 위치하여 있다. 본 실험 세대는 PVC 단창 52mm 3중 일면로이유리와 외단열을 통해 열손실과 실내 부하를 최소화 하였다. 그림2는 실험용 세대의 평면과 각 실의 위치를 표시하였다.

3.2 실험에 적용된 시스템

그림3은 본 실험에서 사용된 시스템의 계통도이다. 실험에서 사용한 히트펌프의 난방능력은 9,501kcal/h이고 전력소비량은 2.06kW이다. 순환펌프의 전력소비량은 각각 350W, 550W이다.

온수버퍼탱크는 700L의 용량을 가지고 있다.

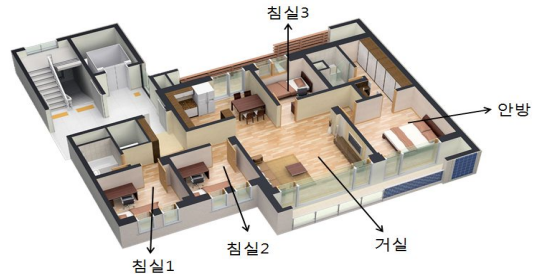


그림 2. 실험용 세대 평면도

실험기간동안 실내 설정온도인 20℃를 유지하기 위하여 세대내로의 온수 공급 온도를 40℃로 설정하였고 관내 열손실을 고려하여 실외기인 온수 버퍼탱크내의 온수 온도를 45℃로 설정하였다. 버퍼탱크내의 온수 온도에 따라서 열원 측 히트펌프와 순환펌프가 자동제어 된다. 실내로 공급되는 온수는 실내에 위치한 분배기에 의하여 각 실로 수송되고 또한 각 실의 실내온도에 의해 분배기의 개폐가 자동제어 되도록 설계하였다.

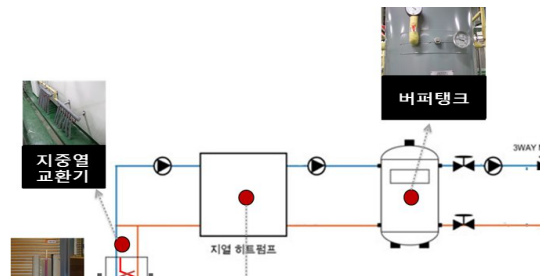


그림 3. 시스템 계통도

3.3 난방 실험 개요

본 실험은 2012년 2월 15일에 시작하여 한 주간의 난방 운전을 진행하였다. 부하를 최소로 하여 시스템 성능의 최고치를 검증하기 위하여 실험기간동안 재실자는 없는 상태에서 조명설비도 전부 끄고 창호와 문도 모두 닫았다. 세대내의 유일한 전기설비로는 측정을 위한 노트북컴퓨터 한 대가 있다.

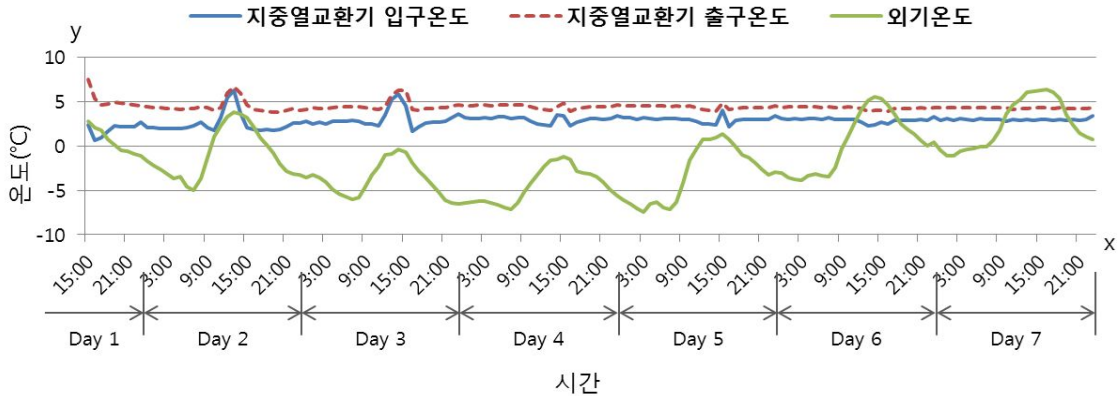


그림 4. 지중열교환기 입·출구온도와 외기온도의 그래프

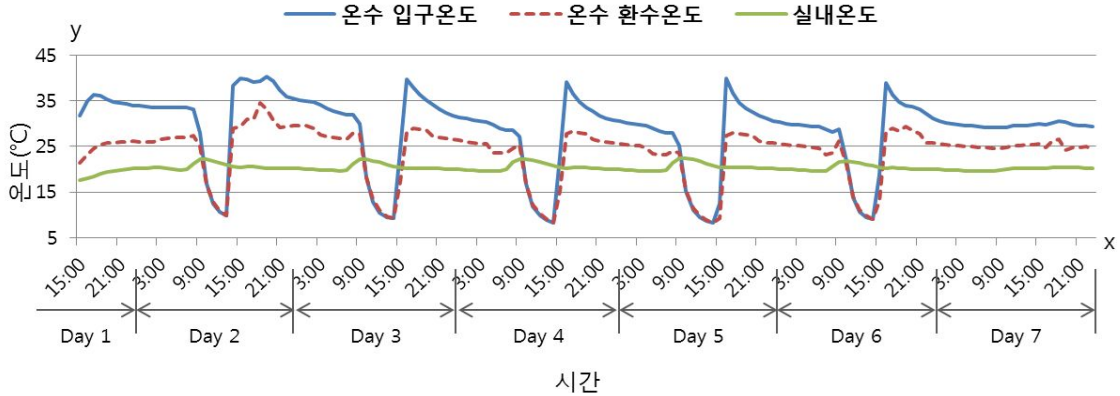


그림 5. 세대내 온수 공급온도, 환수온도와 거실 실내온도

실험을 통하여 지중열교환기 입·출구 온도, 세대내 입·출구 온도, 외기온도, 세대내 각방의 실내 온도 등을 측정하였다. 이 중 배관온도는 관내에 설치한 RTD 온도 센서를 이용하여 측정하여 모니터링 시스템을 통하여 데이터를 얻었고 실내온도는 각 방에 설치된 열전대를 통해 데이터를 측정하였다. 외기온도는 실외에 설치한 기상 스테이션을 통하여 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 열원 측 실험 결과

그림4는 지중열교환기의 입·출구 온도와

외기온도를 나타낸 그래프이다. 외기온도는 영하 7°C에서부터 7°C 까지 큰 변화가 있었지만 지중열교환기 입·출구 온도는 0-3°C, 4-5°C로 일정한 범위를 유지하였다. 이로서 건물 기초물에 열교환기를 설치하였을 때 매설 깊이가 기존의 수직형 열교환기보다는 얇지만 외기온도의 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있다.

정오기간에는 지중열교환기 입·출구 온도가 상승되면서 온도차이도 아주 적은 것을 볼 수 있는데 이는 이때의 외기온도가 높은 이유로 난방 공급을 하지 않아도 실내온도가 설정 온도를 초과하여 히트펌프의 작동이 멈추었기 때문이다.

4.2 부하 측 실험 결과

그림5는 실험 세대로의 온수 공급, 환수온도와 거실온도를 나타낸 그래프이고 그림6은 각 실의 실내온도를 나타낸 그래프이다.

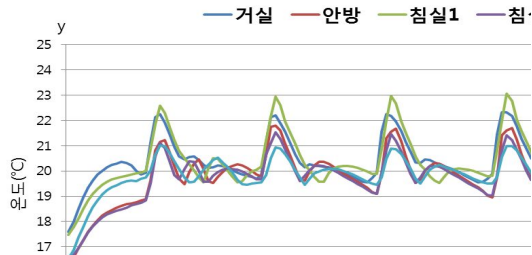


그림 6. 각 실의 실내온도

각 실의 실내온도는 난방 실험기간 동안 설정온도인 20°C 정도를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 앞선 분석을 통해 온수 공급 온도는 최고로 설정온도인 40°C까지 상승되지만 대부분의 시간대에는 온도가 40°C보다 낮은 온수가 공급되는 것을 볼 수 있다. 그리고 정오에는 공급온도와 환수온도가 동일한 수치를 나타내는데 이는 실내온도가 설정온도에 달하였기 때문에 온수분배기가 모두 OFF상태로 되어 온수 공급을 멈춘 상태이기 때문이다. 이로 인하여 에너지 소모를 감소할 수 있었다.

온수 온도와 실내온도의 7일째의 패턴이 다른 날과 다르게 나타났는데 그 이유는 이날의 흐린 날씨 때문에 실내로 유입되는 일사가 적어서 일정한 온도의 온수를 계속 공급하여야만 실내 설정온도를 유지할 수 있었기 때문이다.

4.3 지열원 히트펌프 시스템 난방 성능

지열원 히트펌프 시스템의 부하 측 열량은 다음 식(1)에 의해 계산하였다.

$$Q_h = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

질량유량과 온도차는 실험을 통하여 측정

하였고 비열은 상온에서의 물의 비열을 사용하여 계산하였다. 그림 7은 부하 측 열량, 히트펌프 전력소모량과 순환펌프 전력소모량을 나타낸 그래프이다.



그림 7. 히트펌프와 순환펌프 전력사용량과 부하 측 열량

산출해낸 난방 능력과 히트펌프에 의해 소모된 전력량을 이용하여 히트펌프의 난방 성적계수를 계산하였다. 그리고 히트펌프와 순환펌프의 전력소모량의 합을 이용하여 전체 시스템의 성적계수를 계산하였다. 난방 성적계수는 식(2)에 의해 구해진다.

$$COP = Q_h / W_h \quad (2)$$

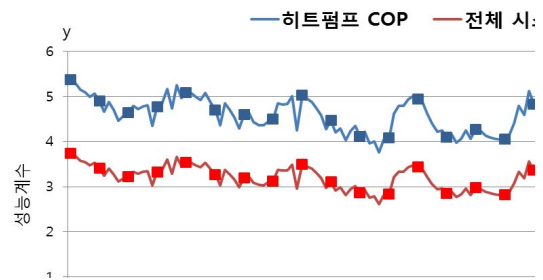


그림 8. 히트펌프와 전체 시스템의 COP

실험기간 내의 지열원 히트펌프와 전체 시스템의 난방 성적계수는 그림8에서 표시하였다. 난방시작 직후에 열량이 커지면서 COP가 매우 높게 나타났다. 그 후 실험이 진행되면서 지열원의 온도가 감소됨에 따라 COP도 감소되는

것을 확인할 수 있다. 히트펌프 COP는 전체 실험기간동안 3.8~5.4의 범위로 나타났고 전체 시스템의 COP는 2.5~3.7의 범위로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 나선형 지중열교환기를 이용한 지열원 히트펌프 시스템의 성능을 분석하였다. 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) PHC파일의 얇은 매설 깊이에서도 그 속의 지중열교환기는 외기온도의 영향을 적게 받고 입·출구온도를 일정한 범위로 유지하였다. 입구온도는 0-3℃, 출구온도는 4-6℃ 범위로 측정되었다.
 - (2) 실험 세대는 난방이 시작된 후에 얼마 지나지 않아서 설정 온도인 20℃를 안정적으로 도달하고 전체 실험기간 지속적으로 유지하는 것을 확인할 수 있다.
 - (3) 난방 운전기간 동안 실내온도는 외부로부터 유입되는 일사의 영향을 많이 받으며 이는 온수의 공급에도 영향을 미친다.
 - (4) 지열원 히트펌프 시스템의 난방 성적계수는 시간당 최대 5.4, 최소 3.8로 나타났고 전체 시스템의 난방 성적계수는 최대 3.7, 최소 2.5로 나타났다. 이들 모두 난방이 진행되면서 지열원의 온도가 감소함에 따라 성능이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.
- 본 연구를 통해 건물일체형 지열원 히트펌프 시스템의 국내 주거용 건물에서 충분히 적용 가능한 것이 검증되었다고 사료된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.20120000734).

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비지원(11첨단도시G03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. C.Montaguda, J.M.Corberana, A. Monteroa, J.F.Urchueguiab. Analysis of the energy performance of a ground source heat pump system after five years of operation, *Energy and Building* 43 (2011) 3618-3626, 2011
2. Kadir Bakirci, Evaluation of the performance of a ground-source heat-pump system with series GHE(ground heat exchanger) in the cold climate region, *Energy* 35 (2010) 3088-3096, 2010
3. 유형규, 이병석, 건물일체형 지열시스템의 동·하절기 모니터링 연구, *대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집* pp. 420-423, 2011
4. Christopher J.Wood, Hao Liu, Saffa B.Riffat, An investigation of the heat pump performance and ground temperature of a piled foundation heat exchanger system for a residential building, *Energy* 35 (2010) 4932-4940, 2010
5. Yasuhiro Hamada, Hisashi Saitoh, Makoto Nakamura, Hideki Kubota, Kiyoshi Ochifuji, Field performance of an energy pile system for space heating, *Energy and Building* 39(2007) 517-524, 2007
6. Jun Gao, Xu Zhang, Numerical and experimental assessment of thermal performance of vertical energy piles: An application, *Applied Energy* 85 (2008) 901-910, 2008