

## 건물일체형 지열히트펌프시스템의 난방 성능 분석

김상진\*, 이진욱\*\*, 김태연\*\*\*, 이승복\*\*\*

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

### Heating Performance Analysis of Building Integrated Geothermal System

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 pump is a central heating and cooling system that pumps heat to or from the ground. Building Integrated Geothermal system used in this experiment is one of the Ground Source Heat Pump Systems which utilize energy pile. The purpose of this study is to evaluate heating performance of the system. The building is a low-energy experiment apartment in Yonsei University Songdo Campus and the subject is one of the energy reduced houses in this apartment. In the experiment, indoor temperature, outdoor temperature and the inlet and outlet temperature of ground heat exchanger and subject model, were measured. Then the heat pump's Coefficient of performance(COP) of the heat pump was calculated. As a result, the COP of heat pump is 4-5. Although the depth of the ground heat exchanger in this experiment is shallower than usual heat exchanger, the result of heating performance of this system was good as well.

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

#### 1. 서론

##### 1.1 연구목적 및 배경

최근 세계적으로 지열, 태양광 등 신재생에너지에 대한 관심이 크게 증가하고 있고 국내에서도 신재생에너지에 관련된 기술개발

및 지원, 보급 등 신재생에너지의 활성화에 심혈을 기울이고 있다. 이러한 정부의 신재생에너지 투자 중 지열부분에 대한 투자가 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

미국 환경보호청에 따르면 지열히트펌프 시스템(GSHP : Ground Source Heat Pump System)은 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장

에너지 효율적이고 환경 친화적이며, 비용 효과가 우수한 공기조화 시스템이다. 하지만, 지중 열교환기(GHE : Ground Heat Exchanger) 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 설치비가 전체 초기 설치비용의 30-50%를 차지하며 기존 냉난방 설비보다 큰 것이 단점이다.<sup>1)</sup>

따라서 경제성과 적용성을 고려한 건물일체형 지열시스템(BIGS : Building Integrated Geothermal System) 이 많은 각광을 받고 있다. 그 장점으로는 지중열교환기의 설치를 위한 별도의 천공이 없이 건물 구조물에 지중열교환기를 사용하여 초기투자비를 줄일 수 있다.

건물 기초를 이용한 지중 열교환기를 적용한 사례는 신재생에너지 선진국인 독일 및 영국, 스위스 등 유럽 전역에서 찾아볼 수 있다. 영국은 옥스퍼드 대학 내 Keble College 신축 건물에 전체 말뚝의 25%에 말뚝형 지중열교환기를 시공하였으며, 스위스는 말뚝형 지중 열교환기를 개발하여 1997년 쾰리히 공항 신터미널에 직경 1m-1.5m 인 말뚝 300본 이상에 적용하였다.<sup>2)</sup>

따라서 본 연구에서는 이러한 건물일체형 지열 시스템의 한국 국내 건축물에 적용시의 효율을 알아보기와 실제 모델을 이용하여 난방 성능을 분석하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 대상

표1은 실험 대상 건물의 개요를 설명하였다. 대상 건물은 연세대학교 송도캠퍼스에 위치한 저에너지 친환경 공동주택으로 2008년 신규 개정된 법규에 의해서 설계한 베이스 모델, 베이스 모델 대비 에너지 절감 40%, 60%, 80%, 100% 모델 총 5세대가 있다. 실험에서 사용한 세대는 에너지 절감 80% 모델

로 건물 일체형 지열시스템을 이용하여 바닥 복사 냉난방을 한다. 동남향으로 되어있고 3층 단면Low-E유리, 외단열벽체 등 기술로 실내 열손실을 감소시켰다.

표1. 실험 대상

대상	저에너지 친환경 공동주택 그린홈 플러스(GreenhomePlus)
위치	인천광역시, 연세대학교 송도캠퍼스
준공년도	2010년
연면적	1,860.70m <sup>2</sup>
건축면적	968.76m <sup>2</sup>
방향	동남향
용도	1층 - 홍보전시실, 모니터링실, 기계/전기실, 시청각실 2-4층 - 실험용 공동주택(5세대)

2.2 실험에 적용한 건물일체형 지열 시스템  
본 실험주택에 적용한 지중열교환기는 PB 재질 나선형 파이프를 사용하였고 길이는 1본당 196m, 두께는 25A이다. 이 파이프는 건물의 PHC파일에 적용하였다. 지열히트펌프 난방능력은 9,501W 이고 700L 용량의 온수 버퍼탱크를 사용하고 있다.

그림1. 실제 적용된 지열 시스템 설명도

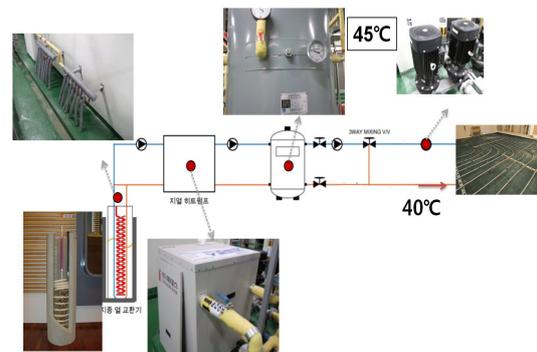


그림1은 본 실험에 적용된 건물 일체형 지열시스템 과정의 설명도이다. 총 5대의 수직형 지중 열교환기 중 2대를 작동하였다. 실험 세대의 설정온도 20도를 유지하기 위하여 세대내 온수 공급온도를 40도로 설정하였고 관내 열손실을 고려하여 실외기인 온수버퍼

1) 건물일체형 지열시스템의 동·하절기 모니터링 연구, 2011

2) PHC 파일 기초를 이용한 지중 열교환기 개발 및 성능 평가, 2008

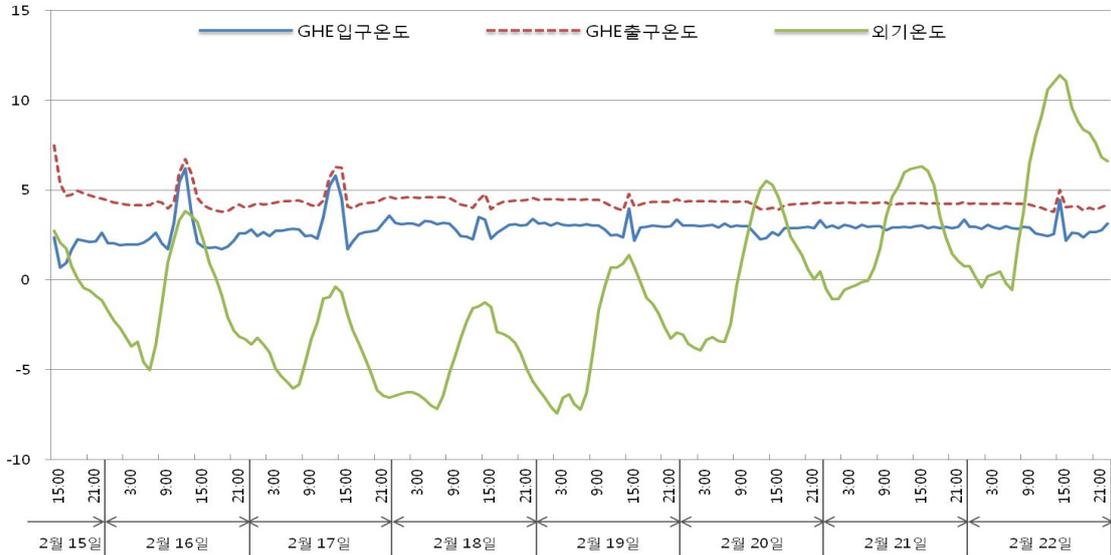


그림2. 지중 열교환기 입출구 온도 및 외기온도

탱크의 온도는 45도로 설정하였다.

측정하였다.

### 3. 난방 실험

#### 3.1 난방 실험 개요

본 실험에서는 2012년 2월 15일 14시 37분에 시작하여 2월 22일까지 8일간 난방운전을 실행하였다. 사용한 세대는 실험용 세대로 실험기간동안 재실자 없이 실험을 실시하였다. 창호와 문은 모두 닫았으며 조명설비도 전부 끈 상태에서 진행하였다. 세대내 전기 설비로는 노트북 한 대가 있다.

세대내 난방 설정 온도는 20도로 하였고 컴퓨터 제어를 통하여 실내 온도의 변화에 따라 온수분배기를 작동시켜서 설정 온도보다 높으면 작동을 멈추고 낮으면 온수를 공급하도록 하였다. 실내온도는 세대내 설치된 열전대를 통해 데이터를 얻고 지중 열교환기 입·출구 온도, 지열히트펌프 냉각수 공급 및 환수온도, 세대내 온수 공급 및 환수온도 등은 실시간 모니터링 시스템을 통하여 측정하였다. 외기온도는 기상 스테이션을 통하여

#### 3.2 난방 실험 결과

그림2는 실험기간내의 에너지 파일안의 지중 열교환기의 입구와 출구 온도 및 외기온도를 나타낸다. 난방 운전 작동 뒤 지중 열온도가 떨어지기 시작해서 일정한 시간 뒤 출구온도는 4-6도, 입구 온도는 0-3도 사이를 유지하였다. 정오기간에는 외기온도가 높아짐에 따라 지중 열교환기의 입·출구 온도도 상승되는 것을 볼 수 있다. 이것은 정오기간 일사와 높은 외기 온도에 의해 온수를 공급하지 않아도 실내 온도를 20도 이상으로 유지할 수 있기 때문이다. 이로 인하여 지열히트펌프 사용량도 줄어들고 전력소모도 줄어든다.

실험기간동안 외기온도가 영하 7, 8도에서부터 영상 10도 이상으로까지 변화가 크게 나타났지만 지중 열교환기 입·출구 온도는 비슷한 온도를 유지하였다. 이로부터 비록 건물일체형 지열시스템의 지중 열교환기의 매설 깊이는 보통 쓰이는 U자형 열교환기보다 얇지만 지중 온도는 마찬가지로 외기온도

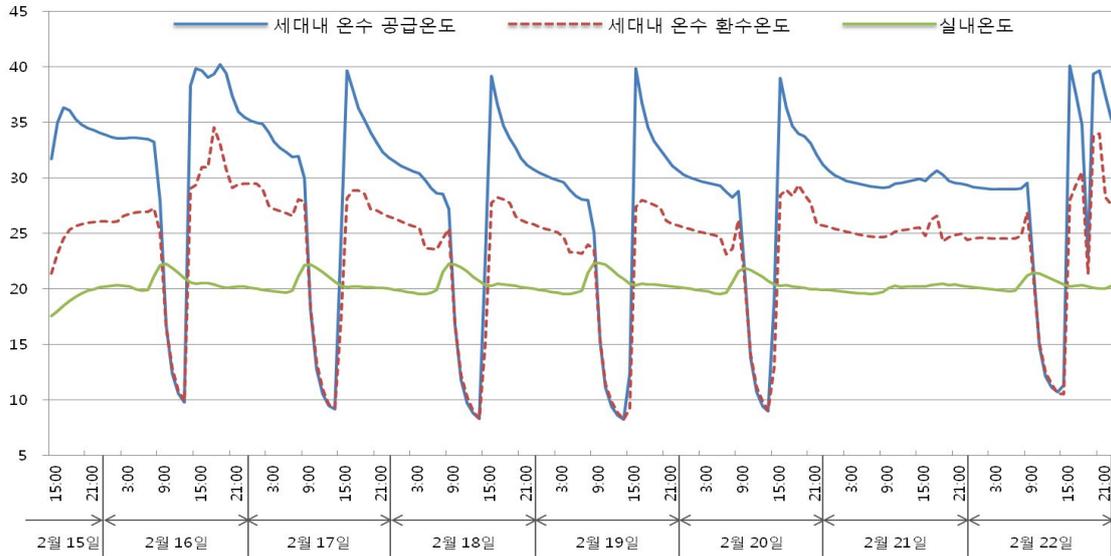


그림3. 세대내 온수 공급 및 환수 온도, 실내온도

의 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있다.

그림3은 실험 세대내의 온수 공급온도와 환수온도, 그리고 실내온도를 나타낸다. 실내 온도는 난방 실험 시작해서 얼마 되지 않아서 설정온도인 20도에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 정오기간에 일사에 의해 실내 온도가 높아짐에 따라 온수의 공급과 환수 온도는 점차적으로 낮아졌다. 이는 실내온도가 설정온도에 도달하였기 때문에 자동제어에 의하여 온수분배기가 OFF상태로 되어 온수 공급을 멈추기 때문이다. 따라서 실내온도와 온수온도의 패턴이 정반대로 나타나게 되었다.

2월 21일에는 다른 실험 날과 달리 온수 공급과 환수 온도가 매우 낮게 떨어지지 않았다. 이는 21일의 날씨가 흐렸기 때문에 실내로 들어오는 일사가 없는 이유로 정오기간의 실내온도가 다른 날보다 낮아서 온수를 낮은 온도로 계속 공급하였기 때문이다. 실내온도도 정오기간에 다른 날처럼 상승되는 것을 볼 수가 없다. 이로부터 실험 주택의 겨울철 실내온도는 외기온도보다는 일사량에 의한 변화가 큰 것을 알 수 있다.

2월 22일에는 온수 공급 및 환수온도의 변화가 잦은 것을 볼 수 있다. 이는 이날의 외기온도가 저녁시간에도 5도 이상의 높은 온도로 실내 온도가 낮은 온도의 온수로도 설정온도를 유지할 수 있기 때문이다.

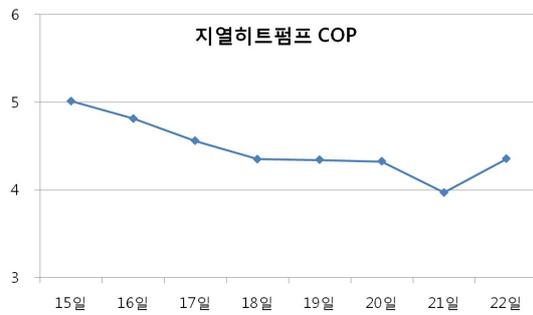


그림4. 지열히트펌프 COP

그림5는 일별의 히트펌프 COP를 나타낸다.

$$COP = W_h / Q_h \quad (1)$$

$W_h$  - 히트펌프 열 생산량

$Q_h$  - 히트펌프 전력 소모량

식(1)에 의하여 히트펌프의 전력과 열 생산

량을 이용하여 COP를 계산한 결과 실험기간 내의 COP는 4-5 범위를 나타내고 있다. 15일은 오후부터 시작하여서 운전시간이 얼마 되지 않는 것을 감안하여 16일부터의 COP를 볼 때 일주일동안 4.5정도를 유지한 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 건물일체형 지열시스템을 이용하여 난방운전을 하고 그 성능을 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험 결과 실험기간 동안 외기온도의 변화와 상관없이 지중열교환기 입구온도는 0-3도, 출구온도는 4-6도 범위를 유지하였다. 건축 구조물을 이용하였기 때문에 매설 깊이는 15m밖에 안되지만 교환기 내의 온도는 일정하게 유지되게 작동이 정상적으로 되었다.
- (2) 지열히트펌프 시스템을 이용하여 난방운전 한 뒤 얼마 지나지 않아서 실내온도는 설정온도를 안정적으로 유지하는 것을 확인할 수 있다.
- (3) 에너지 파일을 이용한 건물일체형 지열시스템으로 매설 깊이가 기존의 수직형 지열히트펌프시스템보다 얇지만 난방 COP는 4-5 범위를 나타내었다. 이는 기존의 지열시스템과 비슷한 수준으로 볼 수 있다.
- (4) 건물 일체형 지열시스템이 국내의 건물 및 외기 온도 조건하에서도 안정적이고 효율적으로 난방 작동되는 것을 확인할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음 (R11-2005-056-02001-0)

#### 참 고 문 헌

1. 유형규, 이병석, 건물일체형 지열시스템의 동·하절기 모니터링 연구, 대한설비공학회, 2011
2. 유형규, PHC 파일 기초를 이용한 지중열교환기 개발 및 성능 평가, 한국태양에너지학회, 2008
3. 김양섭, 건물일체형 지중열교환시스템, 대한설비공학회
4. 황석호, 현장타설형 건물 기초를 이용한 지중열 공조시스템의 성능평가에 관한 연구, 설비공학논문집, 2010
5. 김양섭, ZERO ENERGY KOREA를 위한 건물 일체형 지중 열교환기 개발, 한국에너지 학회, 2009
6. Jun Gao, Xu Zhang, Numerical and experimental assessment of thermal performance of vertical energy piles: An application, Applied Energy, 2008
7. Jun Gao, Xu Zhang, Thermal performance and ground temperature of vertical pile-foundation heat exchangers: A case study, Applied Thermal Engineering, 2008
8. 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, 2010