

수평형 지중열교환기를 이용한 건물일체형 지열시스템의 도입타당성 분석

The feasibility study for the building integrated geothermal system using the horizontal heat exchanger

채호병* · 남유진**† · 윤성훈***

Chae Ho-Byung*, Nam Yujin**† and Yoon Sung-Hoon***

(Received 20 January 2015; accepted 23 February 2015)

Abstract : Recently, in order to prevent increasing energy usages in the international community, many countries have attempted to develop the innovative renewable energy systems. Among the renewable energy systems, Ground source heat pump(GSHP) system which supply the heating, cooling and hot water in the building has been attracted by its stability of heat production and high efficiency. However, the initial drilling costs become very expensive and the construction period takes longer the other systems, because GSHP system needs more than 100 m depth drilling. In this study, in order to reduce initial costs of the GSHP, the building integrated geothermal system using the horizontal heat exchanger was developed. The heating and cooling load in the standard housing model was calculated by a simulation and the system design capacity in the high-rise apartment was decided by the total load. Based on the system design capacity, the high-rise apartments were applied to a BIGS and vertical GSHP system and there are analyzed about initial costs. In the result, the initial cost of BIGS could reduce 24% of the initial cost of the vertical GSHP system.

Key Words : 건물일체형 지열시스템(Building integrated geothermal system), 수평형 열교환기(horizontal heat exchanger), 도입타당성 분석(Feasibility study)

**† 남유진(교신저자) : 부산대학교 건축공학과
E-mail : namyujin@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-7652
*채호병 : 청주대학교 건축공학과
***윤성훈 : 청주대학교 건축학과

**† Nam Yujin(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
E-mail : namyujin@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-7652
*Chae Ho-Byung : Department of Architectural Engineering, Cheongju University.
***Yun Sung-Hoon : Department of Architecture, Cheongju University

1. 서 론

최근, 국제사회에서는 급증하는 에너지 수요에 대응하기 위해, 신재생에너지 기술개발 및 관련 법규 제정을 시행하고 있으며, 특히, 열에너지 이용에 관한 정책이 활발히 논의되고 있다. 열에너지 이용기술 중, 지중 항온 특성을 이용하는 지열 냉·난방 시스템은 건축분야에 있어 친환경, 고효율 기술로 큰 주목을 받고 있다. 하지만 일반적으로 이용되는 수직 밀폐형 지열시스템은 지하 100 m 이상 천공하기 때문에 높은 초기투자비가 발생하는 단점이 있다. 이로 인해, 지열시스템이 높은 효율을 얻을 수 있는 기술임에도 불구하고 획기적인 보급에 이르지 못하고 있다. 지열시스템의 보급 확대를 위해서는 지열시스템의 설치비용을 줄일 수 있는 방안이 필요하며, 전체 시공비의 30% 이상을 차지하고 있는 지중 천공비용을 절감하여야 한다. 지중 천공비용을 절감하기 위해서는 저심도에 지중열교환기를 설치하는 수평형 지열시스템 및 건물 기초에 지중열교환기를 설치하는 건물일체형 지열시스템의 기술 개발이 이루어져야 한다. 하지만, 수직밀폐형 및 개방형 지열시스템의 연구개발이 대부분이며, 수평형 지열시스템 및 현장타설 말뚝에 열교환기를 설치하는 에너지파일 시스템 등의 연구는 이루어지고 있지만 건물의 형태 및 규모에 따라 지중열교환기의 설치 및 적용이 어려운 실정이다.

국외 선행연구에서 Hwang et al.⁽¹⁾은 에너지 파일 시스템 분석에 필요한 물리적, 열적 지반계수 산정방법을 제시하였고, Wood et al.⁽²⁾은 21개의 에너지파일을 이용한 단독주택용 지열 히트펌프 시스템의 난방성능을 분석하였으며, 난방 운전 중 에너지파일의 순환수와 지중 온도 변화를 측정하여 에너지파일의

열전달 성능과 시스템의 난방성능을 분석하였다. 국내에서는 Sohn⁽³⁾은 실험 모형을 대상으로 수평형 지열시스템을 적용 후 지중열교환기의 순환수 온도 및 열전달 성능 등을 측정하였고, 시스템의 냉·난방 성능을 분석하였다. 또한, Hwang et al.⁽⁴⁾은 주상복합 건축물의 기초 슬래브에 설치된 수평형 지열교환기의 계절별 성능평가를 실시하였고, Choi⁽⁵⁾는 에너지 슬래브를 이용한 지열시스템의 실증실험을 통해 냉·난방 실증 성능을 분석하였다. 이외에도 시스템 성능분석 및 이론적 고찰에 관한 다양한 연구 결과들이 발표 되었지만, 건물기초를 이용한 지열시스템의 경제성 평가 및 시스템 도입 가능성을 분석한 연구는 미미하다.

본 논문에서는 수평형 지열시스템을 이용한 건물일체형 지열시스템의 도입타당성을 분석하기 위해, 선행연구⁽⁶⁾의 결과를 바탕으로 건물일체형 지열시스템의 초기투자비용을 분석하였다. 또한, 주상복합건물에 표준주택모형을 적용하였을 경우, 주상복합 단지의 필요 설비용량을 산정하고, 수직밀폐형 지열시스템과 초기투자비용을 비교·분석하였다.

2. 건물일체형 지열시스템의 개요

건물일체형 지열시스템이란 건물의 기초를 지중열교환기로 사용하는 신개념 지열시스템으로서, 기존 지열시스템에서 발생하는 과도한 초기비용을 절감시킬 수 있는 시스템이다. 건물일체형 지열시스템은 사용되는 기초 형식에 따라 기초 슬래브에 지중열교환기를 설치하는 에너지 슬래브(energy-slab), 건물의 말뚝기초에 지중열교환기를 설치하는 에너지파일(energy-pile)등이 있다. 건물일체형 지열시스템은 시스템 설치에 따른 개별 시공부지가 필요 없고, 지중열교환기 설치를 위한 천공비

용이 발생하지 않는 장점이 있다. Fig. 1은 본 연구에서 제시하고자 하는 건물일체형 지열시스템의 개요로서, 건물 기초에 수평형 지중열교환기를 적용한 시스템이다.

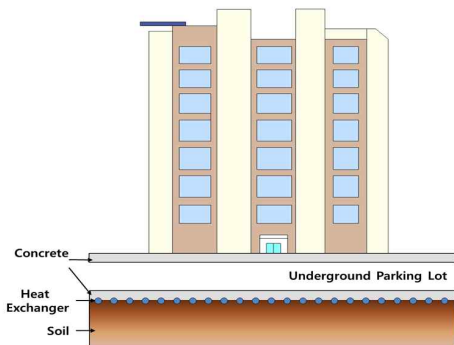


Fig. 1 Summary of BIGS system

본 연구에서는 건물 기초에 수평형 지중열교환기를 설치한 건물일체형 지열시스템의 도입타당성을 평가하기 위해, 주상복합 단지에 건물일체형 지열시스템을 적용 하였을 경우 도입타당성을 분석하였다. Fig. 2는 시스템 계통도를 나타낸다.

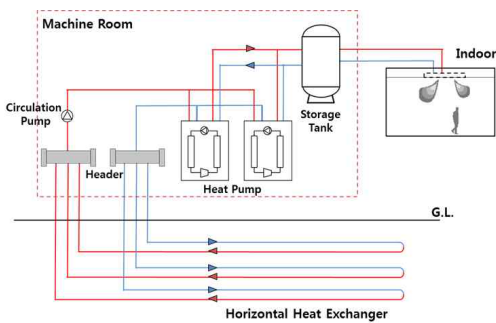


Fig. 7 A schematic of BIGS system

3. 해석 개요

3.1 시뮬레이션 개요

건물일체형 지열시스템의 도입타당성 분석

을 위해서는 도입 가능한 주택단지의 냉·난방 부하를 계산하고, 이에 따른 시스템 설치용량 산정하여 초기투자비용을 계산하여야 한다. 주택단지의 냉·난방 부하를 산정하기 위해, 용인 동천동에 위치한 주상복합 단지를 대상으로 시스템 용량설계를 실시하였다. 주상복합 건물 단지의 각 세대의 크기와 배치는 모두가 표준주택 모델⁽⁷⁾과 동일하다고 가정하여 냉·난방 부하를 산정하였다. 건물부하 산정은 건물에너지 해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하였으며, 서울시의 표준 기상데이터를 이용하여 냉·난방 부하 및 피크부하를 설정하였다. 한편, 본 논문에서는 냉·난방 부하 외에 DHW부하는 고려되지 않았으며, 설비용량의 결정은 최대부하 계산법에 의해 설비용량을 결정하였기 때문에 설비용량에 여유율을 고려하지 않았다. Fig. 3은 표준주택 모델의 평면도를 나타낸다.

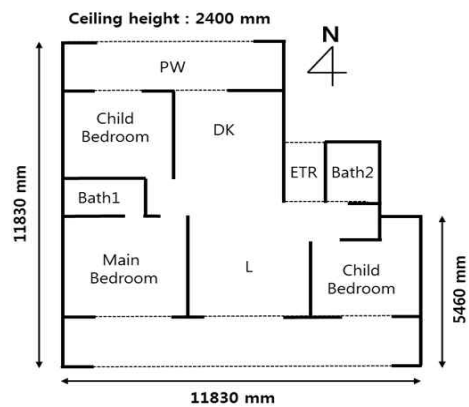


Fig. 3 Plan of the standard housing model

3.2 표준주택의 냉·난방 부하 산정

표준주택 모델은 연면적 100.3 m²의, 천정고 2.4 m로 4인 가족이 생활할 수 있는 규모의 주택이다. 표준주택의 시뮬레이션 조건으로, 동계 11~4월 하계 6~9월에 냉·난방 운전

실시하며, 실내조건은 동계 22℃, 하계 26℃, 상대습도 50%로 유지되도록 설정하였다. Table. 1은 표준주택 모델의 시뮬레이션 조건을 나타낸다.

Table. 1 Simulation condition of the standard housing model

Cooling season		From Nov. to Apr.
Heating season		From Jun. to Sepr.
Ground condition		Granite (3.0 W/mK) Concrete (1.5 W/mK) P.E. Form (0.54 W/mK)
Indoor condition	Summer	Temperature : 26℃ Humidity : 50%
	Winter	Temperature : 22℃ Humidity : 50%
Operation period		Weekday : 20 hour Weekend : 19 hour
Indoor load		4 person (600 W) Computer (230 W) Lighting (19 W/m ²)
Amount of ventilation		0.5 times/h

Fig. 4과 Fig. 5는 외기온도에 따른 표준주택의 시간 별 부하와 월별 부하량을 나타낸다. 각 세대의 연간 냉방 부하량은 1104 kWh, 연간 난방 부하량은 6131 kWh, 최대 부하는 4.7 kW로 나타났고, 월별 최대 부하량은 1월에 1590 kWh로 계산되었다.

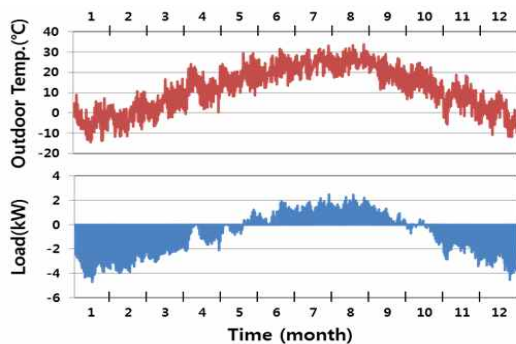


Fig. 4 Outdoor temperature and heating and cooling load

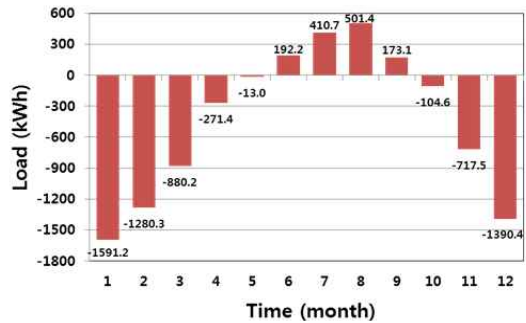


Fig. 5 Heating and cooling load of the standard housing model

4. 도입타당성 분석

4.1 지중열교환기 설치면적

본 연구에서는 주상복합 단지에 건물일체형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템을 적용하였을 경우, 각 시스템의 설치용량을 산정하여 초기 투자비용을 비교하였다. 주상복합 단지의 지열시스템 설치용량은 각 세대의 냉·난방 부하계산을 토대로 산정되었으며, 주상복합 단지의 총 가구(885세대)에서 필요한 시스템 용량은 약 4160 kW으로 계산되었다. Fig. 6은 주상복합 단지의 개요를 나타내며, 수평형 지중열교환기를 설치할 수 있는 지하주차 시설의 면적은 약 66,250 m²이다.



Fig. 6 Site of high-rise apartment

Fig. 7은 지중열교환기의 매설위치를 나타내는 개념도로써, 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 파이프가 0.3 m 간격으로 설치되었다고 설정하였다. 또한, 열교환기 상부에 0.6 m의 매트 콘크리트가 위치하고, 열교환기 하부에는 7 m의 토양층이 위치한다. 선행연구⁽⁶⁾를 통해 건물일체형 지열시스템의 채열량을 분석한 결과, 채열량은 50.1 W/m²으로 나타났다.

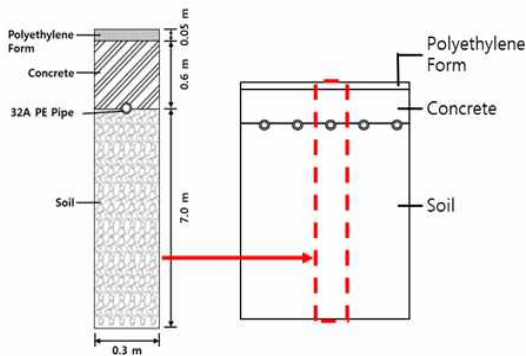


Fig. 7 Conceptual diagram of heat exchanger

수평형 지중열교환기를 이용한 건물일체형 지열시스템의 설비용량은 지중열교환기 설치면적에 따라 시스템 용량이 결정된다. 주상복합 단지의 지하주차 시설(66,250 m²)에 건물일체형 수평형 지열시스템을 설치하였을 경우, 최대 설계용량은 약 3320 kW로 계산되었고, 주상복합 단지 냉·난방 부하를 모두 충족할 수 없었다. 따라서 부족한 설비용량은 수직밀폐형 지열시스템을 추가 설치하여 주상복합 단지의 냉·난방 부하용량을 담당하였다.

Fig. 8은 주상복합 단지의 냉·난방 부하에 따른 지열시스템 타입 별 설비용량을 나타낸다. 주상복합 단지의 필요 설계용량은 4160 kW, 수평형 지열시스템의 최대 설계용량은 3320 kW으로 나타났고, 부족한 설계용량 840 kW는 수직밀폐형 시스템을 추가 설치한다고 설정하

였다.

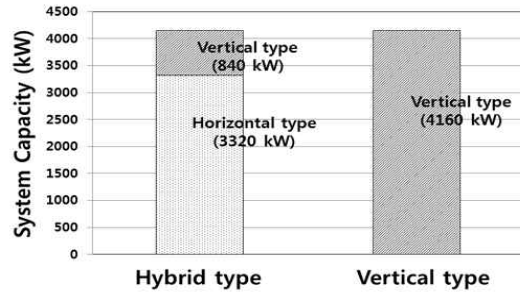


Fig. 8. Installed capacity of GSHP system

4.2 초기투자비용 산정

지열시스템의 초기투자비 산정은 에너지관리공단 신·재생에너지센터에서 공고한 신·재생에너지 원별 기준단가(Table. 2)를 기준으로 초기투자비를 산정하였고, 수평형 지열시스템의 초기투자비용은 정량적 기준이 없기 때문에 지열시스템 전문 시공업체들의 견적서등을 참고하였다. Fig. 9는 지열시스템의 공정별 소요비용을 백분율한 도표로서 수평형 지열시스템은 수직밀폐형 지열시스템에 포함된 토공사 터파기, 천공 및 그라우팅 비용 등이 제외되기 때문에 기존 수직밀폐형 지열시스템 설치비용 약 35%의 비용 절약이 가능하다.

Table. 2 Unit cost criteria of GSHP system

system			Cost	
Geo-thermal	Building	Vertical Type	1,260/kW	
	House	Vertical Type	10.5kW blow	1,981/kW
			10.5kW over 17.5kW blow	1,690/kW

(Unit : Thousand Won)

4.3 도입타당성 분석

본 연구에서는 건물일체형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템의 초기투자비를 분석하

였다. Fig. 10은 주상복합 단지에 건물일체형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템을 적용하였을 경우, 각 시스템의 초기투자비용을 나타낸다. 수평형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템을 융합하여 사용하였을 경우, 수평형 지열시스템은 약 3,928 백만원, 수직밀폐형 지열시스템은 약 1,420 백만원이 발생하였고, 수직밀폐형 지열시스템으로만 적용하였을 경우, 약 7,030 백만원이 발생하였다. 주상복합 단지에 건물일체형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템을 융합하여 설치하였을 경우, 약 1,623 백만원 절약이 가능하였다.

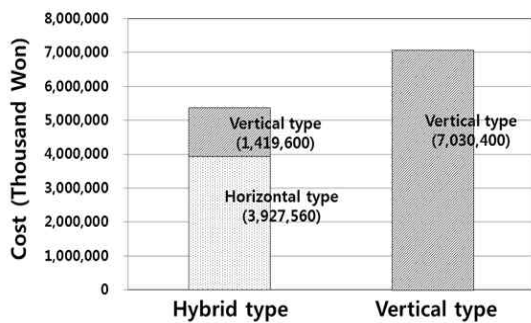


Fig 10. Installation costs of GSHP system

5. 결 론

본 논문에서는 주상복합 단지의 냉·난방 부하를 산정하여, 수평형 지중열교환기를 이용한 건물일체형 지열시스템의 설계용량을 산정하였다. 또한 수직밀폐형 지열시스템과의 초기투자비용을 비교하여 건물일체형 지열시스템의 도입가능성을 평가하였다. 본 논문의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 주상복합 단지의 각 세대의 크기와 배치는 885세대가 표준 주택모델과 동일하다고 가정하였고, 각 세대의 연간 냉방 부하량은 1104 kwh, 연간 난방 부하량은 6131

kwh로 나타났고, 주상복합 단지의 필요 설계용량은 약 4610 kW로 산정되었다.

- (2) 열교환기 설치면적(66,250 m²)에 따른 건물 일체형 수평형 지열시스템의 최대 용량은 약 3320 kW로 계산되었고, 주상복합 단지 냉·난방 부하를 모두 충족할 수 없었다. 따라서 부족한 설계용량 840 kW는 수직밀폐형 시스템을 설치하여 보완하였다.
- (3) 수평형 지열시스템과 수직밀폐형 지열시스템을 융합하여 사용하였을 경우, 수평형 지열시스템은 약 3,928 백만원, 수직밀폐형 지열시스템은 약 1,420 백만원이 발생하였고, 수직밀폐형 지열시스템으로만 적용하였을 경우, 약 7,030 백만원이 발생하였다.
- (4) 초기투자비 비용을 비교한 결과, 수직밀폐형 지열시스템 대비 수평형 지열시스템을 이용한 건물일체형 시스템에서 약 24%의 초기투자비용이 절감되었다.

향후, 수평형 열교환기와 수직형 열교환기의 설치 비율에 따른 경제성 평가를 실시할 계획이며, 건물일체형 지열시스템과 타 열원과 조합이 가능한 시스템을 개발하고, LCC 분석을 통해 본 기술의 보급을 위한 기초자료를 구축할 계획이다.

후 기

이 논문은 2015년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임

Reference

1. Suckho Hwang, Ryoza Ooka, Yujin Nam, Evaluation of estimation method of ground properties for the ground source heat pump system, Renewable Energy, Vol. 35, pp. 2123~2130, 2010

2. 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*, Vol. 35, pp. 4932~4940, 2010
3. Byunghu Sohn, Performance Analysis of Ground-Coupled Heat Pump System with Slinky-Type Horizontal Ground Heat Exchanger, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigerating Engineering*, Vol. 24, pp. 230~239, 2012
4. Kwang-Il Kim, Sang-Woo Woo, Joong-Hun Kim, Seung-ho Shin, Yong-Shik Kim, A Study on the Seasonal Performances Evaluation of the Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger Installed in the Foundation Slabs of Complex Building, *The Korean Solar Energy Society*, Vol. 27, pp. 11-17, 207
5. Jong Min Choi, Heating and cooling performance of a ground coupled heat pump system with energy-slab, *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 24, pp. 196-230
6. Yujin Nam, Ho-Byung Chae, Numerical simulation for the optimum design of ground source heat pump system using building foundation as horizontal heat exchanger, *Energy*, Vol. 78, pp. 933-942, 2014
7. Young-Tag Kim, 2005, A study on the development of the representing day heating load model for the estimation of energy Consumption in an apartment house, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 11, pp. 287-294
8. Ping Cui, Xin Li, Yi Man, Zhaohong Fang, Heat transfer analysis of pile geothermal heat exchanger with spiral coils, *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 4113~4119, 2011