

지열 냉/난방 시스템의 경제성 평가

임효재, 송윤석, 공형진(호서대학교), 박성구((주)지오테크)
호서대학교 기계공학과, (주) 지오테크*

Economic estimation of geothermal heatpump cooling/heating system

Hyo Jea Lim, Yoon Seck Song, Hyung Jin Kong, Seong Koo Park*
Hoseo University, Geotech Inc.*

1. 서론

세계적으로 관심이 되고 있는 기후변화 협약 및 이에 따른 환경문제와 에너지 소비증가에 기인하여, 이 두가지를 동시에 해결할 수 있는 방안으로써, 지열 냉/난방 시스템에 대한 관심이 집중되고 있다. 지열 냉/난방 시스템은 현재 사용 되어지는 냉/난방 시스템중에서 가장 안정적이고 환경 친화적이며, 효율이 높다고 알려져 있다.

지열 냉/난방 시스템이란, 연중 일정한 지중온도를 이용하여 여름철 냉방운전에는 지중을 히트싱크로 겨울철 난방운전에는 히트소스로 이용하여 건축물에 냉방과 난방을 하는 시스템이다. 지열 냉/난방 시스템은 히트펌프로 들어가는 순환유체의 열(지하열교환)교환 방식에 따라서 폐쇄형 시스템과 개방형 시스템으로 구분될 수 있다.

폐쇄형 시스템은 간접 열교환을 하는 방식으로 지중 열교환기의 순환유체가 폐쇄루프를 계속적으로 순환하여 지중과 간접적으로 열교환을 하는 방식이며, 개방형 시스템은 우물, 호수 지하수등의 수원을 히트펌프 내로 직접 인입시켜 열교환을 한 후 방출시키는 방식이다.

미국을 비롯한 여러선진국에서는 이미 오래전부터 지열을 이용한 냉/난방 시스템 기술이 연구 되었으며, 그 적용 기술이 상용화 되었다. 최근 국내에서도 지열 냉/난방 시스템에 대한 관심이 증가되고 있으며, 이에 따른 연구가 점점 활발하게 진행되고 있다.

하지만 국내에서 보고된 지열 냉/난방 시스템에 관한 연구는 단기간에 걸친 시스템의 성능 및 특성에 관한 것들이 대부분이며, 건축물에 적용하여 실제로 운영중인 지열 냉/난방 시스템에 대한 실증연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 지열 냉/난방 시스템이 설치된 건축물에 대하여 1년동안의 소비전력량을 측정하여 실제 시스템의 경제성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 장치 및 방법

2-1 실험 개요

지열 냉/난방 시스템의 경제성 평가를 위하여, 현재 지열시스템을 운영중인 건물에 대한 지열시스템의 냉/난방 소비전력을 1년동안 측정하였다. 실험을 위한 지열 시스템의 개요는 다음과 같다.

2-1-1 건물개요

실험 대상 건물은 일반사무실 2층과 3층으로 연면적 396㎡ (120평), 공조면적 330㎡ (100평), 최대 냉방부하는 26,400 kcal/h, 최대 난방부하는 29,700 kcal/h이고, 대지위치는 경기도 성남시 분당이다.

2-1-2 지열 냉/난방 시스템 개략도

구 성	시 스템 사양
지열시스템	냉·난방/급탕용
지중 열교환기	수직 - 폐쇄형(100m - 5 Loop)
히트펌프	10RT : Water to Water

Table.1 Geothermal heat/cold system. Specification

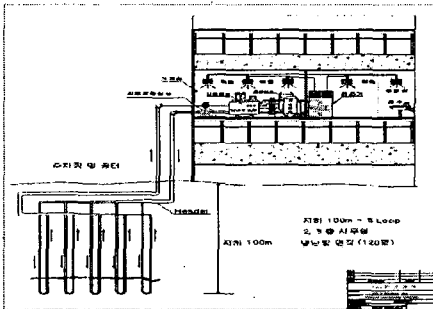


Fig.1 Geothermal cold/heat system

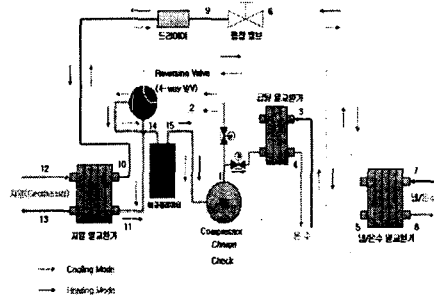


Fig.2 Geothermal heat pump

2-1-3 지열 히트펌프 개략도

온수 급탕운전의 경우 압축기에서 토출된 고온, 고압의 냉매는 전자밸브의 상호동작에 의해 급탕(응축기)열교환기를 통과하여 급탕운전 사이클을 완성하고, 난방운전의 경우에는 압축기에서 토출된 고온, 고압의 냉매가 냉/온수(응축기)열교환기를 거치면서 난방 사이클을 완성한다. 반대로 시스템의 냉방운전의 경우에는 압축기에서 토출된 고온, 고압의 냉매가 4방밸브에 의해 지열 (응축기)열교환기와 팽창밸브를 거치면서 저온, 저압의 냉매로 되어 냉/온수(증발기)열교환기를 통과하여 사이클을 완료한다.

2-1-4 실험방법

지열 냉/난방 시스템을 하절기에는 냉방으로 동절기에는 난방으로 운전하였으며, 온수급탕 모드는 실험기간동안 상시운전 되었다. 지열 냉/난방 시스템의 전류와 전압을 측정하였으며, 지중 열교환기와 부하측 열교환기의 입·출구의 온도와 유량을 측정하였다. 소비전력량은 380V-3P-4L 적산 전력량계와 디지털 파워미터로 동시에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 실험 결과

Fig.3 은 지열 시스템에 사용된 일일 소비전력량을 그래프 상에 나타낸 것이며, 난방부하가 최대인 1월달에 일일 소비전력량의 최대값을 나타낸다.

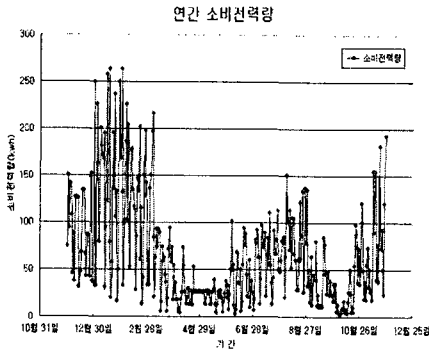


Fig.3 Year Consumption Electric Energy

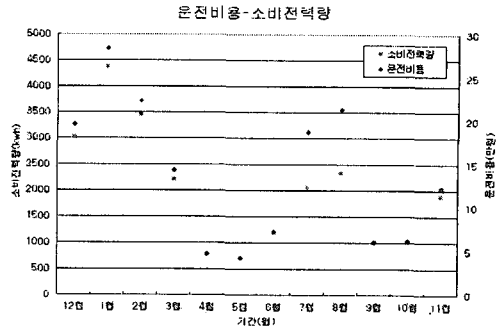


Fig. 4 Operating Cost - The Power Consumption Amount

Fig.4 는 시스템의 월간 누적 소비전력량과 운전비용을 나타낸 그래프이다.

Fig. 4에서 보듯이 난방부하가 가장 큰 1월달에 최대 운전비용인 ₩280,000이 발생하였다. [시스템의 운전비용은 여름(7.8월:₩91.6/kwh), 기타계절(4.5.6.9월:₩61.0/kwh), 겨울(10~3월:₩64.9/kwh) 으로 계산하였다.

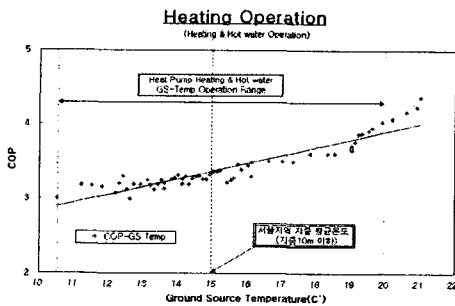


Fig. 5 Heating, Display COP of System by earth temperature.

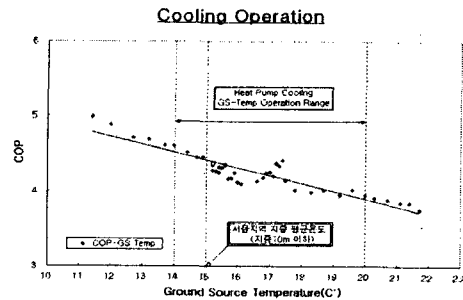


Fig. 6 Cooling, Display COP of System by earth temperature

Fig.5 은 지중온도에 따른 시스템의 난방 및 온수급탕 COP를 나타낸 그래프이다. 난방 및 온수급탕 운전시의 지중온도는 10~20℃ 범위이며, 15~20℃의 온도범위는 여름철 온수급탕 운전에 해당하는 온도 범위이다. 서울지역 지중 연평균온도는 15℃로 이 온도에 해당하는 지열 시스템의 난방 COP는 약 3.3의 값이다. 지중 온도가 높을수록 시스템의 COP도 비례하여 상승하였으며, 반대로 지중 온도가 낮을수록 시스템의 COP는 낮은 값을 나타내었다.

Fig.6 는 지중온도에 따른 시스템의 냉방 COP를 나타낸 그래프이다. 냉방 운전시의 지중온도는 14~20℃ 범위이다. 서울지역 지중 연평균온도는 15℃로 이 온도에 해당하는 지열 시스템의 냉방 COP는 약 4.5의 값이다. 지중 온도가 높을수록 시스템의 COP는 감소하였으며, 반대로 지중 온도가 낮은 경우에는 시스템의 COP가 상승하였다.

여기에서 사용된 지열 시스템의 지중 온도에 따른 COP의 변화는 열교환기에서의 열교환율, 히트펌프 냉매사이클의 증발, 응축온도 변화에 따른 히트펌프 소비동력의 변화와 연관이 있다

4. 결 론

4-1 수행 실험 요약

지금까지 수행한 실험을 요약하여 보면 아래의 Table.2와 같다.

지열 냉·난방/급탕 시스템의 일반사무실 적용			
항 목	냉 방	난 방	급 탕(축열식)
연평균 운전시간(hr)	1,233	2,520	1,795
건물 부하(kcal/h)	26,400	29,700	1,600
COP	4.5	3.3	3.3
지열 시스템 운영비용	기존시스템(에어컨+ 경유보일러) 운영비의 37.3%		

Table.2 Performance Experimental Summary

4-2 고찰

본 실험에서의 지열 냉/난방 시스템의 냉방시 평균시스템 COP 는 4.5이며, 난방 및 온수급탕 운전시 평균시스템 COP 는 3.3 임을 알 수 있었다.

(서울시 연평균 지중온도 15℃ 기준)

지열 냉/난방 시스템의 COP 는 지중 온도에 따라서 그 값이 변화하며, 냉방운전시에는 지중온도가 낮을수록, 난방 및 온수 급탕운전시에는 높을수록 그 값이 증가함을 알 수 있었다.

본 실험의 지열 냉/난방 시스템 운영비용은 기존(보일러+ 에어컨)시스템 운영비용의 37.3% 임을 알 수 있었으며, 건축물의 냉/난방에 지열시스템을 적용할 경우 환경 및 경제성의 관점에서도 유리할 것이라 판단된다.

3-2 지열 시스템과 기존 시스템의 운영비용 분석

에너지 유효발열량(보일러효율 감안)은 경유 7,800 kcal/l이고, 에너지 가격은 경유750원/l이며, 일반용 전력비는 91.6/kwh(여름), 61.0/kwh(봄+ 가을), 64.9/kwh(겨울)이다.

연간 냉방시간은 1,233시간에 냉방부하는 26,400 kcal/h, 연간 난방시간은 2,520시간에 난방부하가 29,700 kcal/h이다. 연간 급탕시간은 1,795시간(봄+ 가을 = 600h, 여름 = 295h, 겨울= 900h) 급탕부하는 1,600kcal/h(저탕조 축열방식)이다. 그리고 기존에어컨 COP는 2.7, 지열히트펌프 냉방 COP는 4.5 이고, 지열히트펌프 난방/급탕 COP는 3.3이다. (전력기본요금은 제외)

구 분		여름 (냉방/급탕)	겨울 (난방/급탕)	기타계절 (급탕)	계 (년간)	시스템 운영비 (년간)		기존시스템 기준 연간운영비 절감액
						금액(원)	%	
기 존 시 스 템	소비전력 량(kwh)	8,681	-	-	8,681	4,624,680	268	- 기 준 -
	경유사용 량(l)	61	4922	123	5,106			
지 열 시 스 템	소비전력 량(kwh)	6,555	15,930	1,470	23,955	1,723,965	100	2,900,715 원

Table.3 Working expenses comparison of geothermal system and existing system

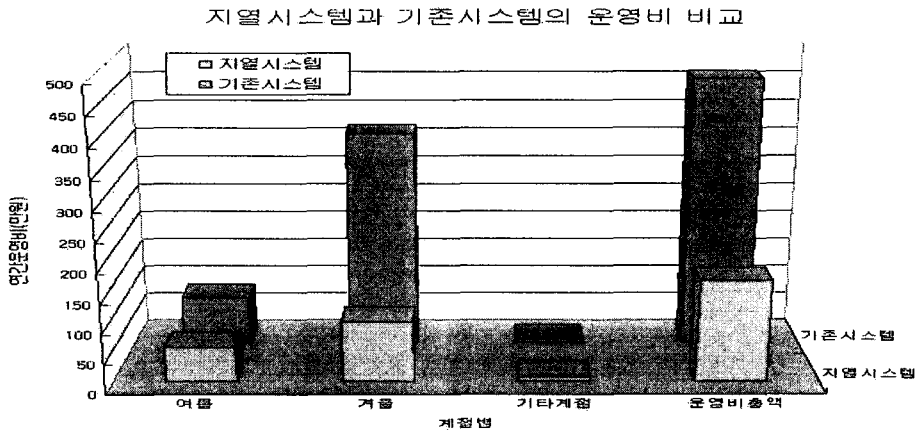


Fig.7 Working expenses comparison of geothermal system and existing system

참 고 문 헌

1. IGSHA, Oklahoma State University. Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems.
2. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.(ASHRAE). Cooling and Heating Load Calculation Manual.
3. Stephen P. Kavanaugh Kevin Rafferty.(ASHRAE). Ground-Source Heat Pumps : Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings.
4. Grundfos Pump Corporation. Clovis, Cal
5. Ground Loop Design. Geothermal Design Studio. GBT, Inc.
6. W/S Load Calculation Manual. DS, Inc.
7. D. Pahud, B. Matthey. Comparison of the Thermal Performance of Double U-Pipe Borehole Heat Exchangers Measured In Situ. University of Applied Sciences of Southern Switzerland.
8. Heyi Zeng, Nairen Diao, Zhaohong Fang. Heat Transfer Analysis of Borehole In Vertical Ground Heat Exchangers. Shandong Institute of Architecture and Engineering, China.
9. Arif Hepbasli, Ozay Akdemir, Ebru Hancioglu Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System. Ege University, Izmir, Turkey.