

수평형 지열교환기의 계절별 성능평가

우 상 우[†], 황 광 일*, 김 중 현**, 양 기 영**, 신 승 호***

[†]한국해양대학교 대학원 냉동공조공학과, *한국해양대학교 기계정보공학부

삼성건설 기술연구소, *삼성건설 주택사업본부

A Experimental Study on the Seasonal Performance of Horizontal-type Geothermal Heat Exchange

Sang-Woo Woo[†], Kwang-Il Hwang*, Joong-Hun Kim**, Gi-Young Yang**, Seung-Ho Shin***

ABSTRACT: The purpose of this study is on the performance evaluation of horizontally installed HGHEX(Horizontal-type Geothermal Heat EXchanger)

in the summer season and the winter season. Followings are the results. By the result of data acquisition at the site, 2.5~2.7°C temperature differences are gained between supply pipes and return pipes of HGHEX in the summer season. And 0.5~1.5°C temperature differences are gained from HGHEX in the winter season. With these temperature differences, heat quantity of rejection and absorption is calculated and the performance of HGHEX is evaluated according to the seasons.

Key words: Renewable energy(신·재생에너지), Geothermal energy(지열에너지), HGHEX(Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger, 수평형 지열교환기), Energy saving(에너지절약)

기 호 설 명

- \dot{m} : 지열배관 내 지중 순환수의 질량유량 [kg/s]
- C_p : 지중 순환수의 유체의 비열 [kcal/kg·°C]
- $T_{pipe.in}$: 지열배관에서 히트펌프로 들어가는 순환수의 온도 [°C]
- $T_{pipe.out}$: 히트펌프에서 지열배관으로 나가는 순환수의 온도 [°C]
- q : 지열교환기의 열량[kcal/h]

1. 서 론

우리나라의 에너지 수입 의존율은 2004년 97%에 이르고 있다. 이러한 의존율이 말하듯이 불안한 국제정세와 증가하는 에너지 소비량에 따라 화석연료의 무기화에 대한 우려를 가지고 있다. 이미 이란의 핵문제와 중동과 아프리카 산유국의 내전 지속, 미국의 석유 재고부족, 투기자금 유입 증대 등으로 인해 국제유가는 사상 최고치를 꾸준히 갱신하고 있다. 국제 유가는 1990년대 20달러 정도였으나 2006년 5월 현재에는 70달러에 육박할 정도로 가파르게 상승하고 있음을 Fig. 1에서 알 수 있다. 이는 2차 오일쇼크 때인 40달러에 비해 1.8배 상승하였으며, 1990년대보다도 무려 3.5배나 오른 수치이다. 이러한 에너지 가격의 폭등과 에너지 공급 부족에 대한 해결방안으로 새로운 에너지원(源) 개발을 위한 노력이 절실

[†]Corresponding author

Tel.: +82-51-410-4368

E-mail address: iambesthandsome@hanmail.net

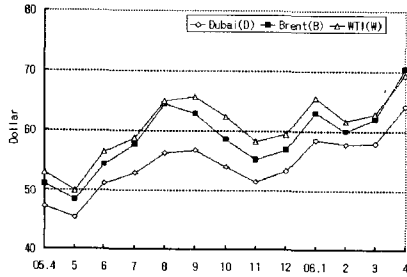


Fig. 1 국제유가 추이.

히 요구되어지고 있다. 또한, 현재 우리나라는 온실가스 배출량 세계 10위로, 기후변화협약(교토의정서)에 의거 2차(2013~2017년) 의무감축 대상국에 해당한다. 이러한 온실가스 감축부담은 산업·경제에 치명적 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 따라서 정부는 신·재생에너지 11개 분야를 지정하여 에너지 안보와 환경개선효과를 기대하고 있다.

11개 신·재생에너지 중 지열에너지 활용시스템은 크게 수직형과 수평형 지형시스템으로 구분하며, 수요처의 특성에 맞게 설계·시공되고 있다. 본 연구에서는 수평형 지열교환기의 시스템 성능 DB구축과 함께 향후 설계검증 프로세스 구축을 위한 목적으로 계절별 지열교환기의 입·출구 온도차를 측정하여 운전성능을 평가하였다.

2. 실측현장의 개요 및 실측방법

2.1 실측현장의 개요

측정현장은 서울시 강남구에 소재하며, 지하 4층 지상 23층인 3개동(棟)으로 형성되었고, 총 141세대 연면적 80,126 m²인 주상복합건물이다.

Fig. 2는 지열시스템의 개요를 나타내고 있다. 이 현장의 수평형 지열교환기는 Fig. 3과 같이 건물 3개동 바닥의 버림 콘크리트위에 일정한 간격으로 설치 매설되었다. 매설된 지열교환기는 각각의 평균길이가 180 m인 총 177개 배관이 15개의 회로를 구성하고 있으며, 지중 순환유체는 물이었다. 완공이후 기계실 지열교환기 헤더의 모습은 Fig. 4와 같다. 지열시스템에서 생산된 냉·난방열은 Fig. 5와 같이 지하 1층의 체력단련실(13개 회로)과 Fig. 6과 같이 1층의 로비(2개 회로) 등 공용공간에 공급되고 있다.

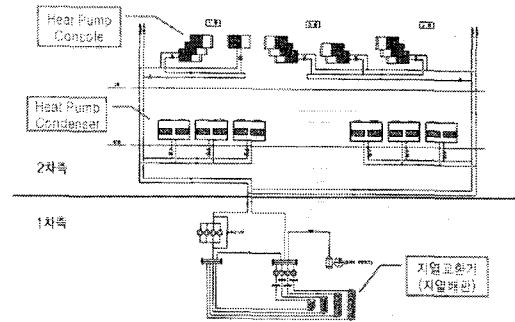


Fig. 2 지열시스템의 개요.

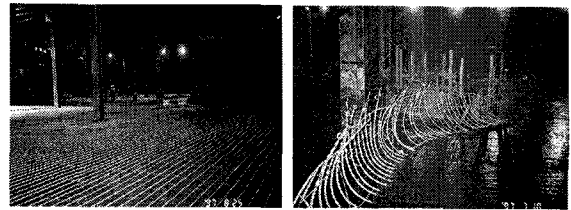


Fig. 3 지열교환기의 설치 모습.

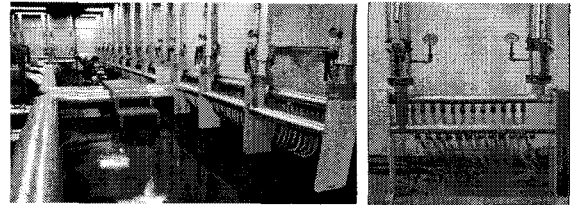


Fig. 4 지열교환기의 헤더.

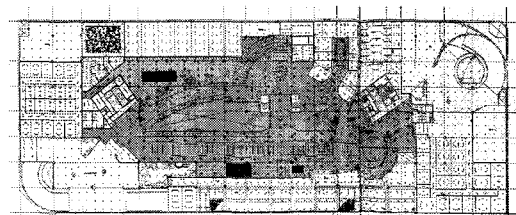


Fig. 5 지하 1층의 평면도.

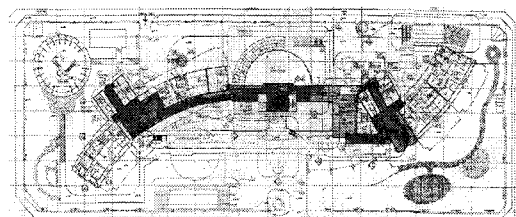


Fig. 6 1층 평면도.

Table 1 하절기 운전시간.

	HGHEX circuit for 1st floor	HGHEX circuit for base 1st floor
Operation 1	09:00 ~ 10:00	11:00 ~ 14:00
Operation 2	12:00 ~ 14:00	15:00 ~ 18:30
Operation 3	15:00 ~ 18:00	17:30 ~ 21:30

Table 2 동절기 운전시간.

	HGHEX circuit for 1st floor	HGHEX circuit for base 1st floor
Operation 1	02:50 ~ 05:10	02:50 ~ 05:10
Operation 2	06:50 ~ 09:10	06:50 ~ 09:10
Operation 3	10:50 ~ 13:10	10:50 ~ 13:10
Operation 4	13:50 ~ 15:10	13:50 ~ 15:10
Operation 5	18:50 ~ 21:10	18:50 ~ 21:10

Table 3 건물의 냉·난방부하.

	Cooling load (kcal/h)	Heating load (kcal/h)
1BF	380,980	85,140
1F	227,900	78,260

지열시스템의 운전은 중앙관리실에서 프로그램에 의해 수행되며 운전시간은 하절기에는 Table 1과 같고 동절기에는 Table 2와 같다. 운전방식은 정격용량 On-Off 운전이며, 지하1층의 지열배관내 설계유량은 35m³/h, 1층의 설계유량은 171m³/h인 순환펌프였다. 건물의 냉·난방부하를 계산한 결과는 Table 3과 같다.

2.2 실측방법

하절기에는 2005년 7월 26일부터 2005년 7월 29일까지 4일간 실측을 수행하였고, 동절기에는 2006년 1월 23일부터 2006년 1월 26일까지 4일간 실측하였다.

지열교환기의 입·출구 온도를 측정하기 위하여 열전대(Thermo couple)를 15개 지열교환기 회로의 입·출구에 각각 설치하여 10분 단위로 측정하였다. 또한 공조대상공간인 1층, 지하1층과

외기조건을 파악하기 위해 백엽상에 각각 고정형 온습도계를 설치하여 10분 단위로 측정하였다.

3. 실측결과 및 고찰

3.1 하절기 실측결과

3.3.1 하절기 실내·외 온습도 조건

하절기 측정기간인 2005년 7월 26일부터 7월 29일까지의 외기 조건 중 7월 27일과 7월 28일의 온도, 습도 변화를 Fig. 7에 나타냈다. 7월 27일과 28일의 조건이 상호 다른 것은, 7월 27일은 전형적인 여름 날씨였으나, 7월 28일에 외기온도가 낮은 것은 이른 오전부터 비가 내리는 날씨의 영향을 받은 것으로 판단된다. 따라서 2005년 7월 27일의 측정 데이터를 하절기의 대표값으로 간주하여 지열배관의 입·출구온도를 Fig. 8과 9를 나타내었다.

3.3.2 하절기 지열교환기의 입·출구온도 변화

지열교환기 회로는 저술한 바와 같이 지하 1층 용과 1층용 회로로 구분하여 운전되고 있다. Fig. 8과 9는 2005년 7월 27일 지하 1층용, 1상 1층용 지중 순환회로의 입·출구 온도와 온도차를 보여 주고 있다. 지하 1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 25~28℃, 출구온도는 29~30.5℃였으며, 평균 온도차는 약 2.5℃로 나타났다. 그리고 1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 28~30℃, 출구온도는 31.5~33.5℃로 나타났으며, 평균 온도차는 약 2.7℃로 열교환이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. Fig. 10은 지열교환기에서 지중으로 방출되는 열량을 나타낸 그래프이다.

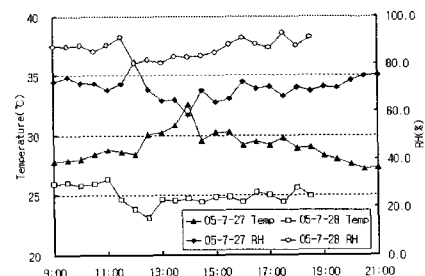


Fig. 7 외기 온습도.

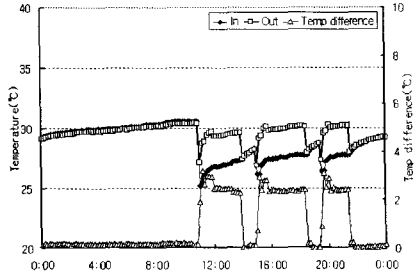


Fig. 8 지하1층 지열배관 입·출구 온도와 온도차.

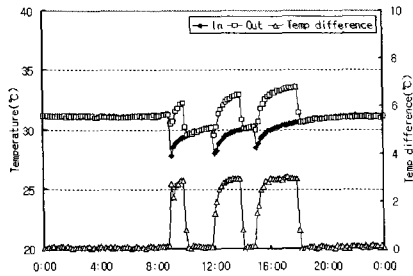


Fig. 9 1층 지열배관 입·출구 온도와 온도차.

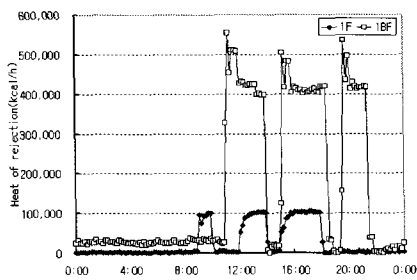


Fig. 10 지열교환기의 방출열량.

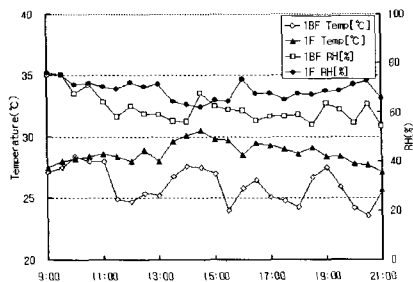


Fig. 11 실내 온·습도.

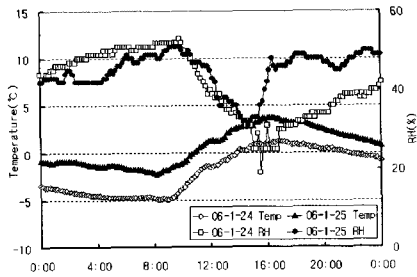


Fig. 12 외기 온·습도.

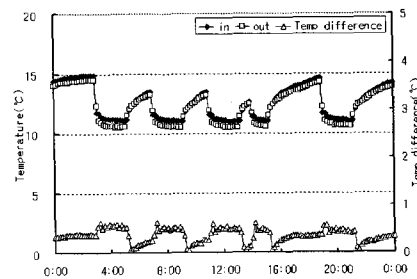


Fig. 13 지하1층 지열배관 입·출구 온도와 온도차.

3.2 동절기 실측결과

3.3.1 동절기 실내·외 온·습도 조건

동절기 측정기간인 2006년 1월 23일부터 1월 26일까지의 외기조건 중 온도, 습도 변화를 Fig. 12에 나타냈다. 모두 전형적인 겨울 날씨였으며, 그 중 정상적인 운전이 시행된 1월 24일의 데이터를 분석하였다.

3.3.3 동절기 지열교환기의 입·출구 온도 변화

Fig. 13과 14는 2006년 1월 24일 지하 1층용, 1상 1층용 지중 순환회로의 입·출구 온도와 온도차를 보여주고 있다. 지하1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 11~12°C, 출구온도는 10.5~11°C였으며, 평균 온도차는 약 0.5°C로 나타났다. 그리고 1층용 회로에서는 지열교환기에 히트펌프로 들어가는 입구온도가 13.5~15°C, 출구온도는 11.5~13°C로 나타났으며, 평균 온도차는 약 1.5°C로 열교환이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. Fig. 15는 지열교환기에서 지중으로부터 흡수되는 열량을 나타낸 그래프이다.

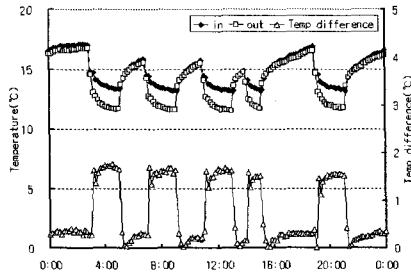


Fig. 14 1층 지열배관 입·출구 온도와 온도차.

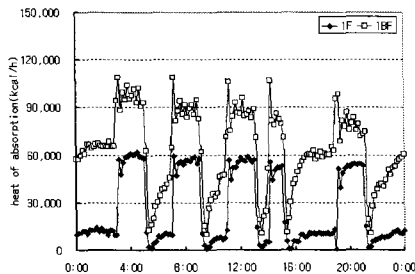


Fig. 15 지열교환기의 방출열량.

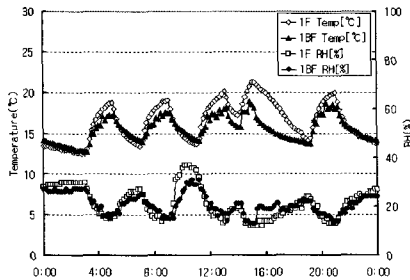


Fig. 16 실내 온·습도.

3.3 실측에 관한 고찰

냉방(또는 난방)사이클로 작동하는 지열시스템에서 지열교환기가 지중으로 방출(또는 흡수)하는 열량은 다음 식(1)으로 계산할 수 있다.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot |T_{pipe,in} - T_{pipe,out}| \quad (1)$$

순환펌프가 정유량 운전일 경우 지열배관의 온도차를 측정함으로써 지열교환기의 열량을 알 수 있다.

위 식(1)을 이용하여 하절기 지중에서 방출하는 열량을 구하면 Fig. 10과 같이 지하1층이 약 100 Mcal/h, 1층은 약 400 Mcal/h이며, 동절기 지중에서 흡수하는 열량은 Fig. 15와 같이 지하1층이 약 90 Mcal/h, 1층이 약 60 Mcal/h로 계산되어진다. 연간 지중으로 방출/흡수되는 열량이 500 Mcal/h, 150 Mcal/h으로 대략적인 냉·난방 운전시간에 따른 총열량은 하절기 400 Gcal (냉방기간 4개월, 월 25일, 하루 8시간), 동절기 180 Gcal (난방기간 4개월, 월 25일, 하루 12시간)으로서 연간 지중으로 220 Gcal가 방출되므로 지중 온도 자연회복력이 충분하지 않다면 장기적으로는 지열교환기의 방출/흡수되는 열량의 불균형으로 지중온도가 상승할 가능성이 높을 것으로 예측된다.

하절기의 경우, Fig. 12 실내온도에서 지하1층의 경우는 설계조건인 약 26°C를 유지하고 있었으나, 1층의 경우에는 평균 29°C로 실외온도와 거의 비슷하게 나왔으며, 동절기의 경우 Fig. 17에서 1층은 평균 16°C, 지하1층은 평균 17°C로 설계조건인 20°C에 못 미치는 것으로 나와, 지열교환기의 방출/흡수되는 열량이 히트펌프를 포함하는 시스템 전체의 성능을 저하시킬 가능성이 높을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 하절기와 동절기의 현장 실측을 통하여 수평형 지열시스템의 운전성능을 측정 평가한 것으로 연구 성과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 하절기 실측에서는 지하 1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 25~28°C, 출구온도는 29~30.5°C였으며, 평균 온도차는 약 2.5°C로 나타났다. 1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 28~30°C, 출구온도는 31.5~33.5°C로 나타났으며, 평균 온도차는 약 2.7°C로 열교환이 이루어지고 있었다.

(2) 동절기 실측에서는 지하 1층용 회로에서는 지열교환기에서 히트펌프로 들어가는 입구온도가 11~12°C, 출구온도는 10.5~11°C였으며, 평균 온도차는 약 0.5°C로 나타났다. 1층용 회로에서는 입구온도가 13.5~15°C, 출구온도는 11.5~13°C로 나타났으며, 평균 온도차는 약 1.5°C로 열교환이

이루어지고 있음을 알 수 있었다.

지열교환기에서 방출/흡수되는 열량이 히트펌프의 냉·난방부하를 충족시킬 수 있는 지열교환기인지에 대한 타당성 검토와 지열시스템이 가지는 성능 저하의 문제에 대한 원인을 명확히 파악하기 위해서, 향후 소요동력 및 부하측 냉·난방 수요 특성에 대한 실측연구가 필요하다.

참고문헌

1. Koo, M. H., Kim, Y. J., Suh, M. C., and Suh, M. S., 2003, Estimating thermal diffusivity of soils in Korea using temperature time series data, Journal of the Geological Society of Korea, v. 39, no. 3, pp. 301-317.
2. Koo, M. H., Kim, Y. J., Suh, M. C., and Suh, M. S., 2003, Estimating thermal diffusivity of soils in Korea using temperature time series data, Journal of the Geological Society of Korea, v. 39, no. 3, pp. 301-317.
3. Koo, M. H., Kim, Y. J., Suh, M. C., and Suh, M. S., 2003, Estimating thermal diffusivity of soils in Korea using temperature time series data, Journal of the Geological Society of Korea, v. 39, no. 3, pp. 301-317.
4. Inalli, M., and Esen, H., 2004, Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system, Applied Thermal Engineering 24(2004), pp. 2219-2232.
5. G. Romero et al., Comparative Study Between a Geothermal Heat Pump Systems and an Air-to-Water Heat Pump System for Heating and Cooling in Typical Conditions of the European Mediterranean Coast, Proceedings World Geothermal Congress 2005.
6. 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, pp. 1086-1093.