

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 2, 2007

주상복합 건축물의 기초 슬래브에 설치된 수평형 지열교환기의 계절별 성능평가

황광일*, 이상우**, 김종현***, 신승호***, 김용식****

*한국해양대학교 기계정보공학부(hwangki@hhu.ac.kr), **한국해양대학교 대학원(woessy@nate.com)

***삼성물산 건설부문 기술연구소(kjh5955@samsung.com, seungho.shin@samsung.com)

****인천대학교 건축공학과(newkim@incheon.ac.kr)

A Study on the Seasonal Performances Evaluation of the Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger Installed in the Foundation Slabs of Complex Building

Hwang, Kwang-Il*, Woo, Sang-Woo**,
Kim, Joong-Hun***, Shin, Seung-ho***, Kim, Yong-Shik****

*Div. of Mechanical and Information Engineering, Korea Maritime University(hwangki@hhu.ac.kr),

**Graduate School of Korea Maritime University(woessy@nate.com),

***Research of Technology, Samsung E&C(kjh5955@samsung.com, seungho.shin@samsung.com),

****Dept. of Architectural Engineering, University of Incheon(newkim@incheon.ac.kr),

Abstract

This study evaluates the seasonal performances of the horizontal-type geothermal heat exchanger(HGHEX) installed into the foundation slabs of the complex building located at Seoul. The geothermal system is consisted with totally 31,860m long HGHEX, 16 GSHPs (Ground-source Heat Pump) and 8 circulation pumps. This system supplies cooling and heating to the lobby(F1) and the common spaces(BF1). The average heat exchange temperature differences are 2.7°C and 2.5°C in the summer, 1.5°C and 0.5°C in the winter for the F1 and BF1 respectively. From these results, approximately 400Gcal and 180Gcal of geothermal energy are assumed to have been used during the summer and winter seasons respectively. As a conclusion, the geothermal system is reviewed as a effective utility for heating and cooling at the point of seasonal performances.

Keywords : 지열에너지(Geothermal Energy), 계절별 성능평가(Seasonal Performance Evaluation), 수평형 지열교환기(Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger, HGHEX)

접수일자 : 2007년 1월 10일, 심사완료일자:2007년 4월 23일

교신저자 : 황광일(hwangki@hhu.ac.kr)

1. 서론

1.1 연구배경과 목적

최근 우리나라는 국내 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는 상황을 개선하기 위해 정부는 신재생에너지 활용시스템의 보급활성화를 위해 “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법”을 적용하고 있다.¹⁾ 이 법에는 지열을 비롯한 11개의 신재생에너지가 정의되어 있으며, 2004년 3월 이후 신축되는 3,000m² 이상의 공공건물을 대상으로 총건축공사비의 5% 이상에 해당하는 비용만큼의 신재생에너지 설비를 설치해야만 하는 의무를 규정하고 있다.

상기 법이 발효된 2004년 이후 11개 신재생에너지 중 지열시스템의 보급률이 가장 높게 나타나고 있음에도 불구하고 전문인력의 부족과 높은 외국기술 의존도 등으로 인해 가까운 장래에 내실(內實) 있는 지열시스템의 성장이 둔화될 가능성이 있다. 따라서 국내 지열업계의 전반적인 질적 향상을 달성하기 위해서는 운전 중인 지열시스템에 대한 운전실태 실측과 분석을 통해 설계기술, 시공기술, 그리고 장기운전에 따른 성능검증 프로세스를 조속히 표준화해야만 한다.

이에 본 연구에서는 주상복합 건축물에 적용된 지열시스템의 구성요소이며 지열원 히트펌프의 에너지원(Heat source)인 지열을 흡열, 방열하는 기능을 갖는 수평형 지열교환기의 성능을 파악하고자 현장 실측을 수행하였고, 실측결과를 분석하여, 지열시스템의 냉난방시 지열교환기의 열교환 성능에 관한 정량적 측정과 평가분석을 통해 설계용 데이터 확보를 목적으로 하고 있다.

1.2 연구문헌 고찰

지열시스템과 관련된 연구로는 지열이용 시스템의 건축물 적용을 위한 지반의 열적 특성에 관한 연구^{4)~5)}, 지열교환기의 열적 성능 등에 관한 연구^{6)~8)}, 지열원 히트펌프 시스템의 성능 평가에 관한

연구^{9)~12)} 등이 수행되었으나, 대부분의 연구가 특정 계절의 성능평가에 초점을 맞추고 있을 뿐, 국내의 계절별 변화에 따른 성능평가에 대한 연구는 전무한 실정이다.

2. 지열교환기 성능평가 개요

2.1 실측현장의 개요

(1) 현장개요

본 현장은 서울시에 소재하는 주상복합건물로, 지상 2층~23층은 주거, 지상1층은 로비와 관리실, 지하1층은 사랑방, 회의실, 체력단련실 등의 커뮤니티, 지하2~4층은 주차장의 용도로 구성되어 있으며, 기계실은 지하4층에 있다.

지열시스템에서 발생한 냉온풍이 공급되는 대상 공간은 지상1층의 로비, 관리실과 지하1층의 체력단련실 등 커뮤니티 공간이며 각 층의 설계냉난방 부하는 표 2와 같다. 고기밀성(高氣密性)의 전면 유리창 구조인 본 현장의 경우 설계냉방부하가 설계난방부하의 2배에 가까운 상황으로 심각한 냉난방부하 불균형을 보이고 있다.

표 1. 건물개요

대지면적	13,342 m ²
건축면적	3,324 m ²
연면적	80,126 m ²
규모	지하4층, 지상 23층
세대수	141세대
구조	철근 콘크리트 라멘조

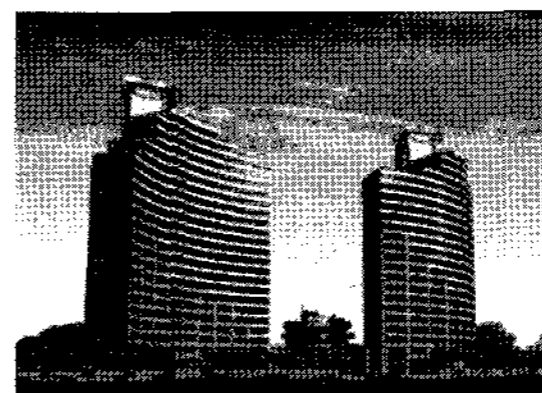


그림 1. 조감도



그림 2. 커뮤니티 공간 (지하1층)

표 2. 지열시스템적용공간의 설계 냉난방부하량

	면적 (m ²)	냉방부하 [kcal/h]	난방부하 [kcal/h]
1층	912	93,000	24,500
지하1층	3,354	381,000	228,000
합계	4,266	474,000	252,500

(2) 지열시스템 개요

본 현장에 적용된 지열시스템은 그림 3의 시스템 개요와 같이 여름에는 지중으로 방열(Heat sink) 하고 겨울에는 지중으로부터 흡열(Heat source)하는 기능을 갖는 지열교환기, 취득된 지열에너지를 냉풍과 온풍으로 변환시켜주는 지열원 히트펌프 (Ground-source heat pump), 지열교환기 작동 매체를 순화시키는 순환펌프로 구성되어 있다.

그림 4, 그림 5에 나타난 것과 같이 지하4층의 기초슬래브(G.L.-17.2m, 두께 160cm)에 시공된 지열교환기는 관경 20A, 길이 180m의 HDPE (High Density Polyethylene)재질 파이프 총 177개(총길이 31,860m)가 15개의 회로를 구성하고 있으며, 지열교환기의 시공면적은 9,554m²이다. 15개 지열회로 중 3개 회로는 지상1층 공간을 위한 천장매립형 지열원히트펌프 17대에, 12개 회로는 지하1층 공간을 위한 수직형 지열원히트펌프 6대에 각각 연동되어 있다. 총23대가 설치된 지열원히트펌프는 566,000kcal/h의 냉방용량과 419,000 kcal/h의 난방용량을 갖고 있다.

한편, 지열교환기내 작동유체는 순수한 물이며, 지열교환기측에 4대(206CMH), 지열원히트펌프측에 4대(206CMH)의 정유량 순환펌프가 운전되고 있다.

표 3. 지열원히트펌프의 개요

대상공간	형식	냉방용량 [kcal/h]	난방용량 [kcal/h]
1층용	천장매립형	85,00	78,000
지하1층용	수직형	481,000	341,000
합계		566,000	419,000

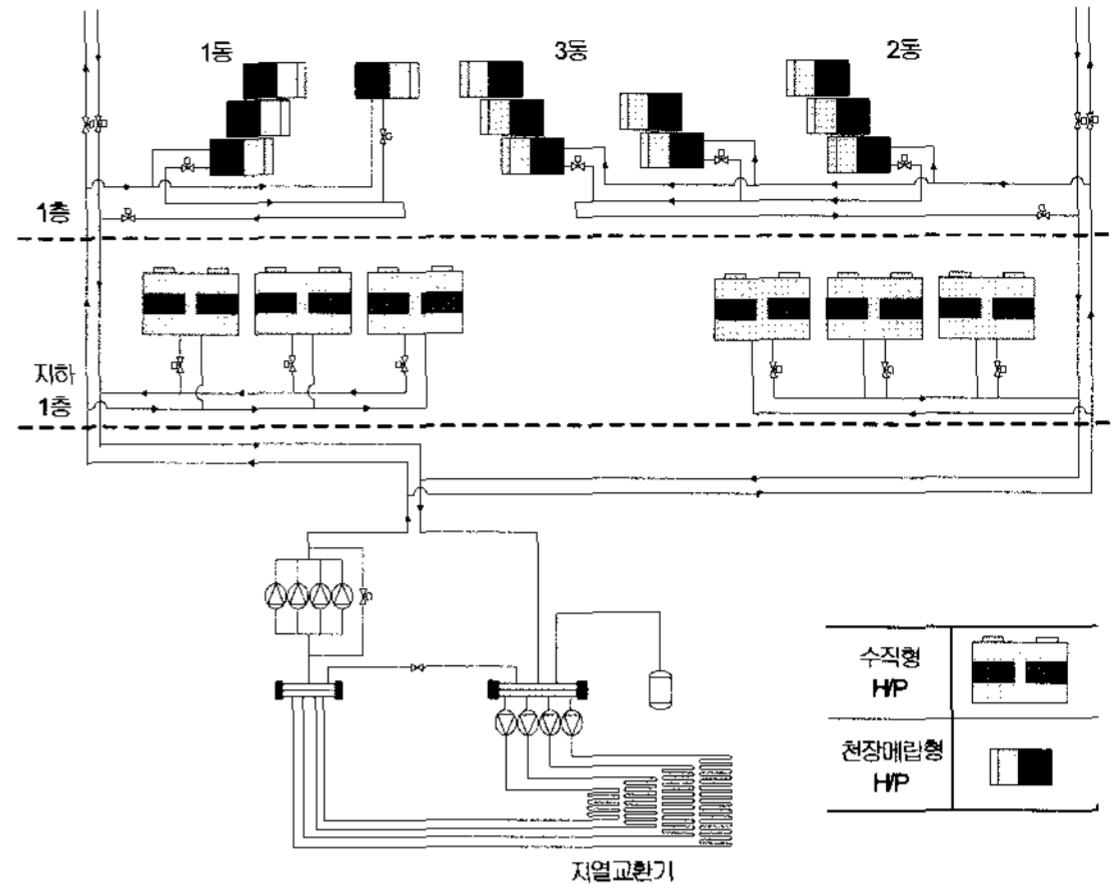


그림 3. 지열시스템 개요

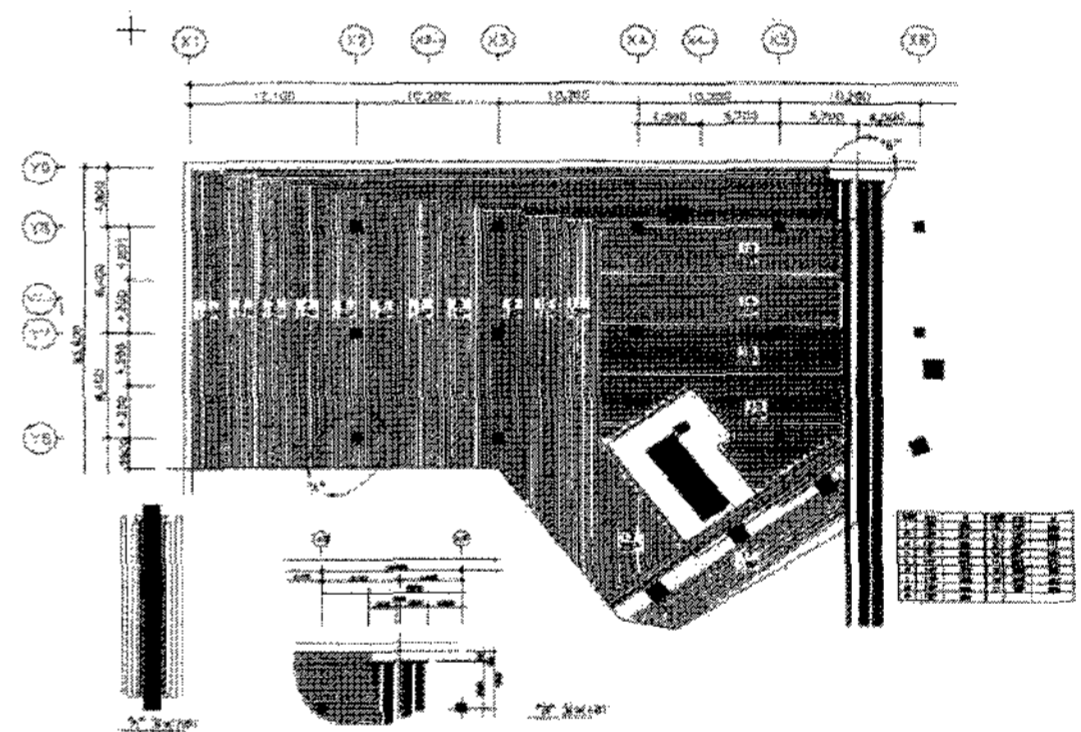


그림 4. 지열교환기 설계도 (부분)



그림 5. 지열교환기 시공 및 기계실 헤더

(3) 지열시스템 운전 개요

본 현장의 지열시스템은 표 4, 표 5에 정리된 것과 같이 기계실에서 중앙관리되며 정격용량 On-

Off 방식으로 운전되고 있다. 그러나 관리자의 경험에 따라 운전시간을 조절하는 경우도 발생하고 있음을 인터뷰를 통해 확인할 수 있었다.

표 4. 동절기 일별(日別) 운전시간.

	지상1층용 지열시스템	지하1층용 지열시스템
1회	02:50 ~ 05:10	02:50 ~ 05:10
2회	06:50 ~ 09:10	06:50 ~ 09:10
3회	10:50 ~ 13:10	10:50 ~ 13:10
4회	13:50 ~ 15:10	13:50 ~ 15:10
5회	18:50 ~ 21:10	18:50 ~ 21:10

표 5. 하절기 일별(日別) 운전시간

	지상1층용 지열시스템	지하1층용 지열시스템
1회	09:00 ~ 10:00	11:00 ~ 14:00
2회	12:00 ~ 14:00	15:00 ~ 18:30
3회	15:00 ~ 18:00	17:30 ~ 21:30

2.2 실측 범위와 방법

수평형 지열교환기의 열교환 성능을 측정하기 위하여 본 연구에서는 15개 지열교환기 회로별 입·출구에 각각 열전대(Thermo couple)를 설치하여 10분 단위로 측정하였다. 지상1층, 지하1층의 각 공조공간과 기계실, 그리고 외기조건을 측정하기 위하여 백엽상 내에도 메모리가 내장된 데이터 기록형 온·습도계를 고정 설치하여 1시간 단위로 측정하였다.

한편 순환펌프의 유량(Qp)은, 순환펌프가 정유량(Qr) 펌프이므로 운전일지로부터 확인된 운전시간(h)으로 산출하였다. 즉,

$$Q = Q_r \times h \quad [m^3/h] \quad (1)$$

3. 실측결과 및 고찰

3.1 하절기 실측결과

(1) 하절기 실내·외 온습도 조건

하절기 측정기간 중 인 2005년 7월 26일부터 7월 29일까지의 외기 온·습도 중 7월 27일과 28일의 변화를 그림 6에 나타냈다. 7월 27일과 28일의 상태변화가 다른 것은, 27일은 맑은 날씨였으나 28일에 이른 오전부터 비가 내리는 날씨의 영향으로 온도가 낮아졌기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 2005년 7월 27일의 측정 데이터를 하절기의 대표값으로 간주하였고, 이 날의 실내 온도와 습도를 그림 7에 나타낸다. 지하1층의 경우에는 평균 26°C 정도의 온도분포를 보이고 있으나 지상1층은 환기량이 부족한 운전조건에서 전면 유리창 구조에 의한 일사량의 증가로 인해 냉방부하가 증가하고 있으나 냉방이 충분히 이루어지고 있지 못하기 때문에 실내온도는 평균 29°C를 나타내고 있었다.

(2) 하절기 지열교환기의 입·출구온도 변화

그림 8과 그림 9는 2005년 7월 27일의 지상1층용, 지하1층용 지열 회로의 각각의 평균 입·출구 온도와 평균 온도차를 보여주고 있다. 지상1층용 회로에서는 히트펌프에서 지열교환기로 들어가는 유입온도가 31.5~33.5°C, 토출온도는 28~30°C로 측정되어, 평균온도차는 약 2.7°C였으며, 지하1층용 회로의 경우에는 유입온도가 29~30.5°C, 토출온도는 25~28°C로 평균 온도차는 약 2.5°C로 나타났다.

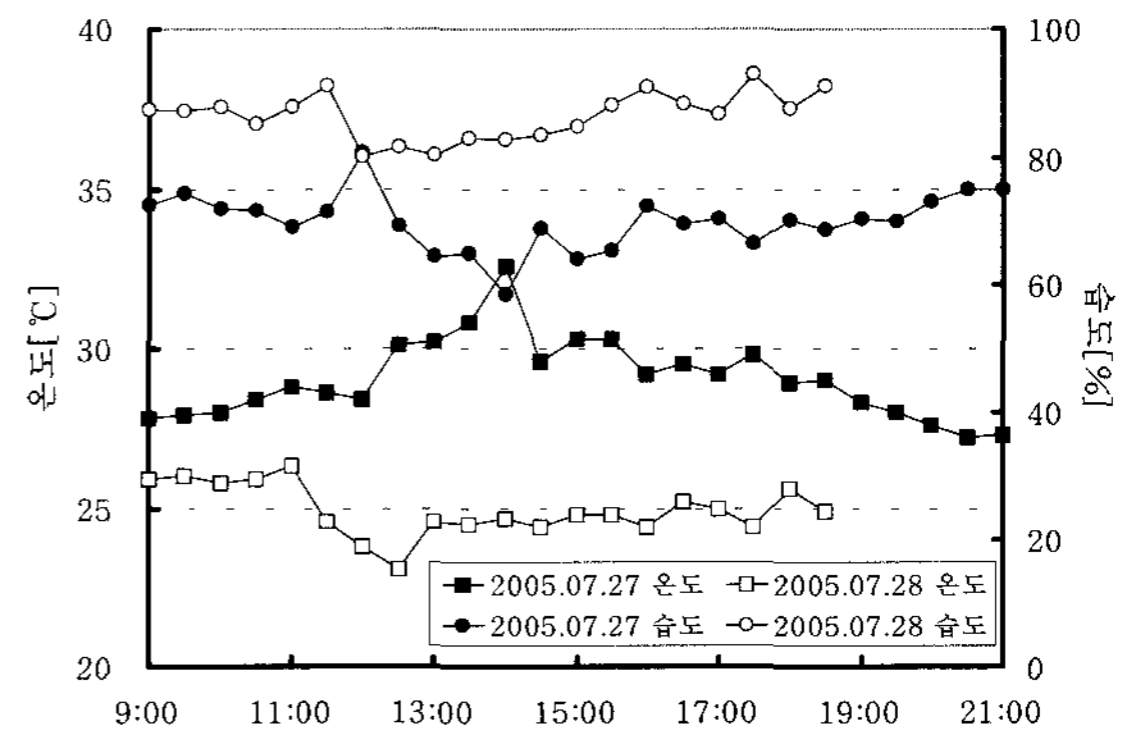


그림 6. 하절기 외기 온·습도

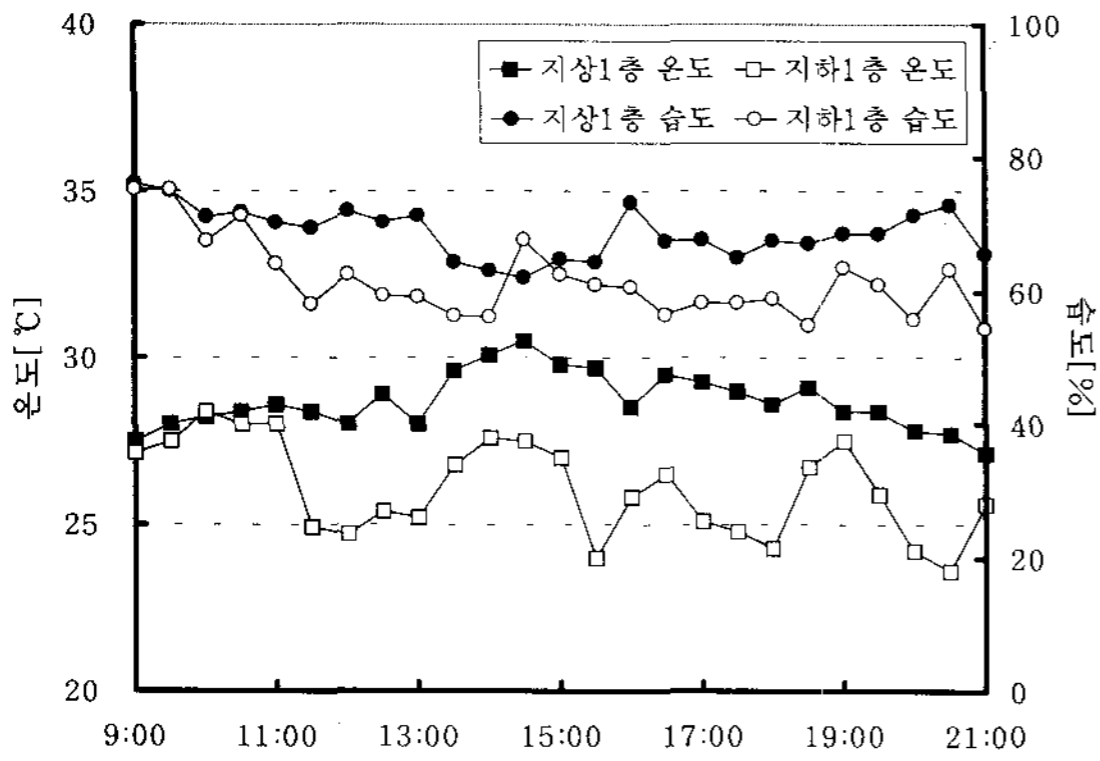


그림 7. 하절기 실내 온·습도

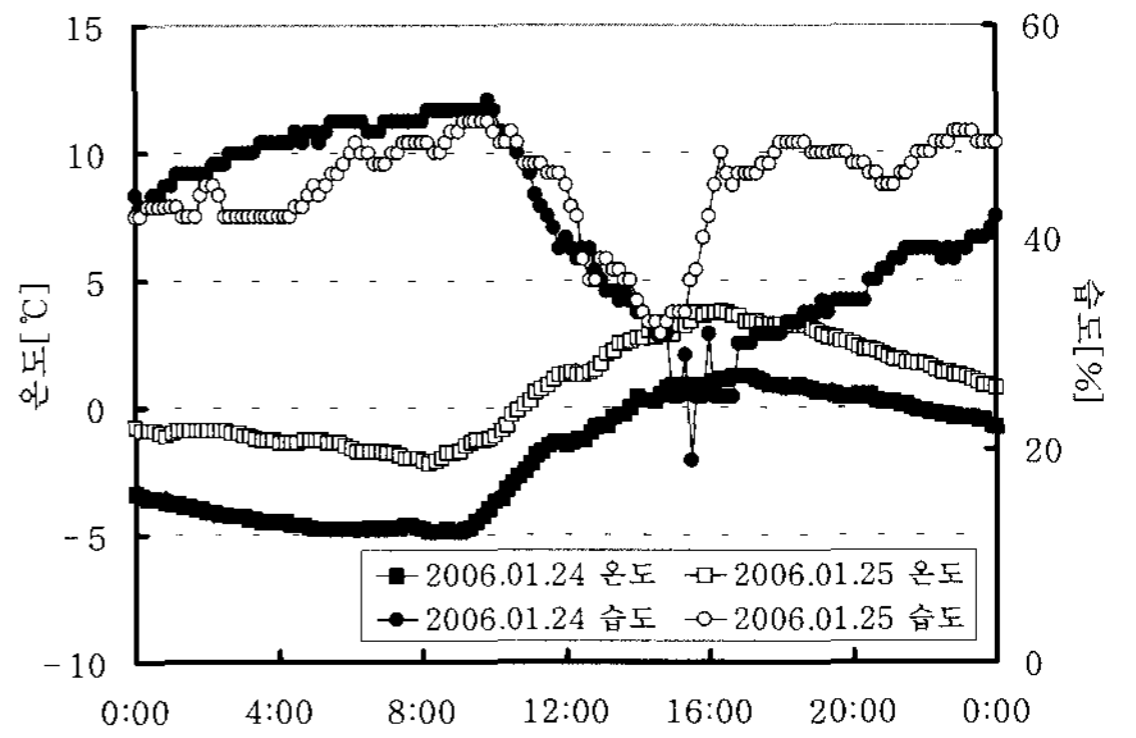


그림 10. 동절기 외기 온·습도

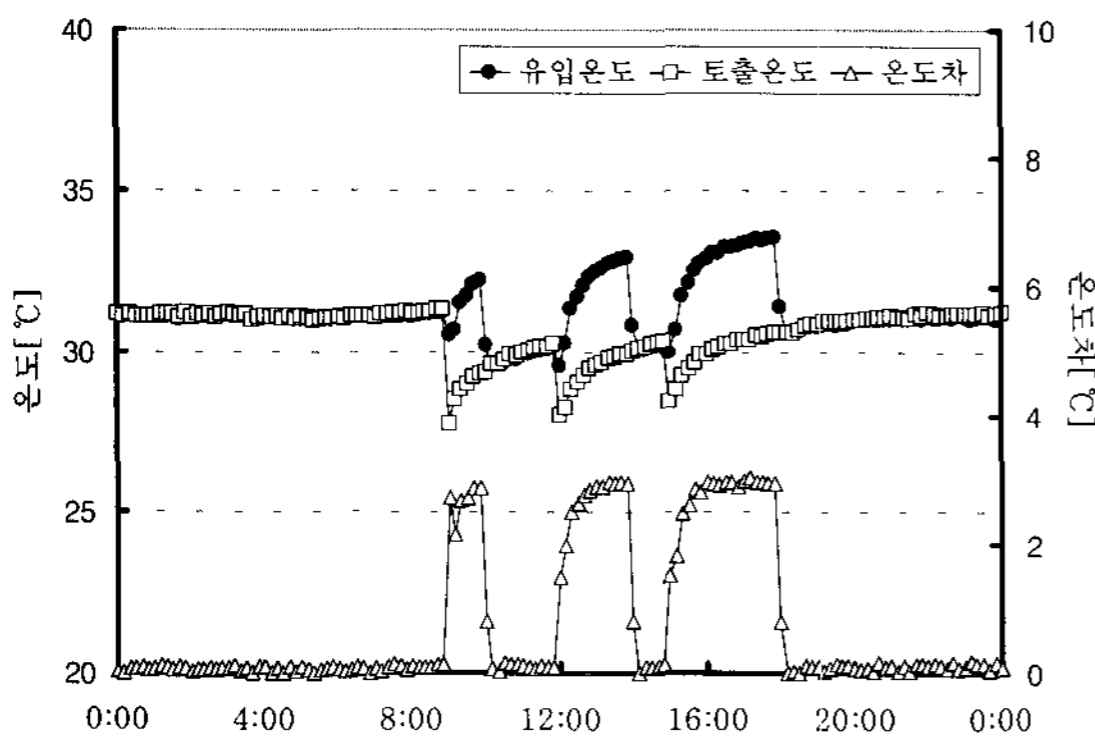


그림 8. 하절기 지상1층용 지열교환기 입·출구온도와 온도차

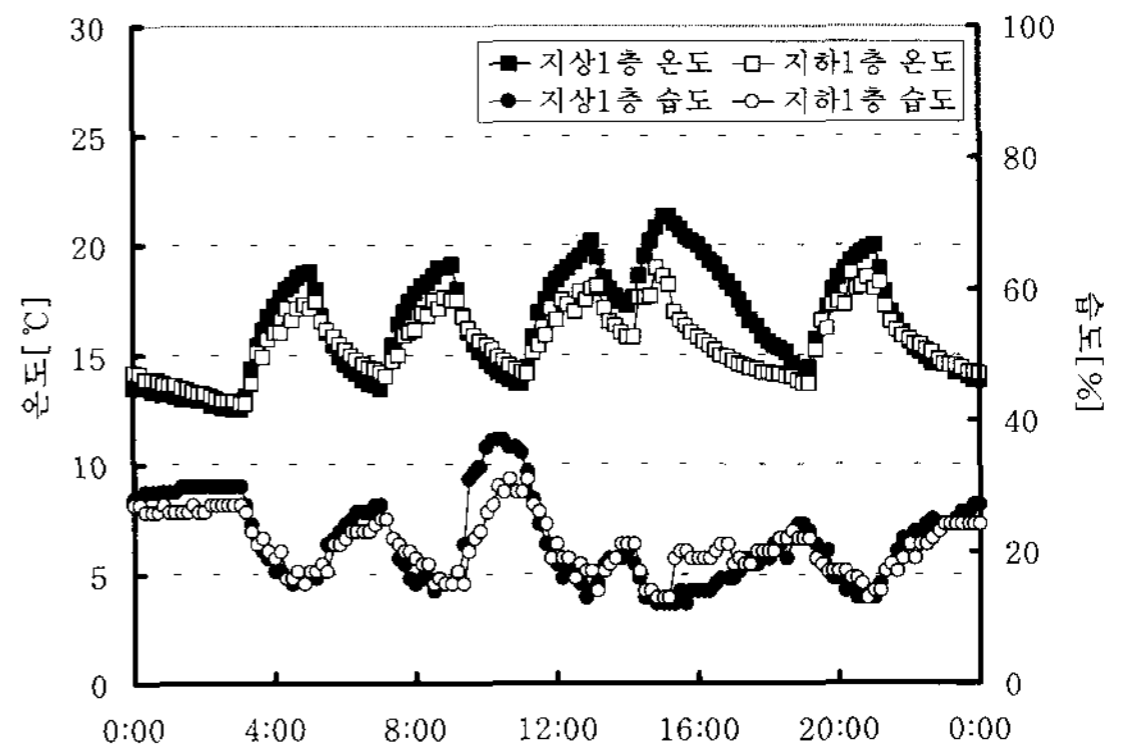


그림 11. 동절기 실내 온·습도

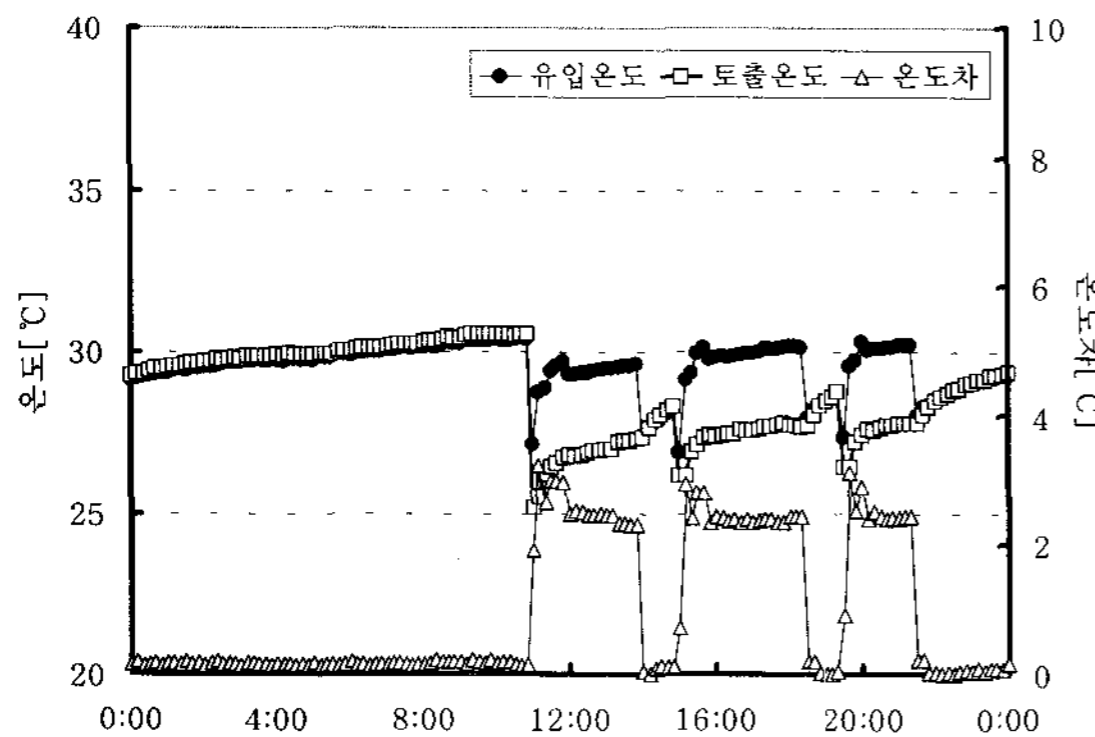


그림 9. 하절기 지하1층용 지열교환기 입·출구온도와 온도차

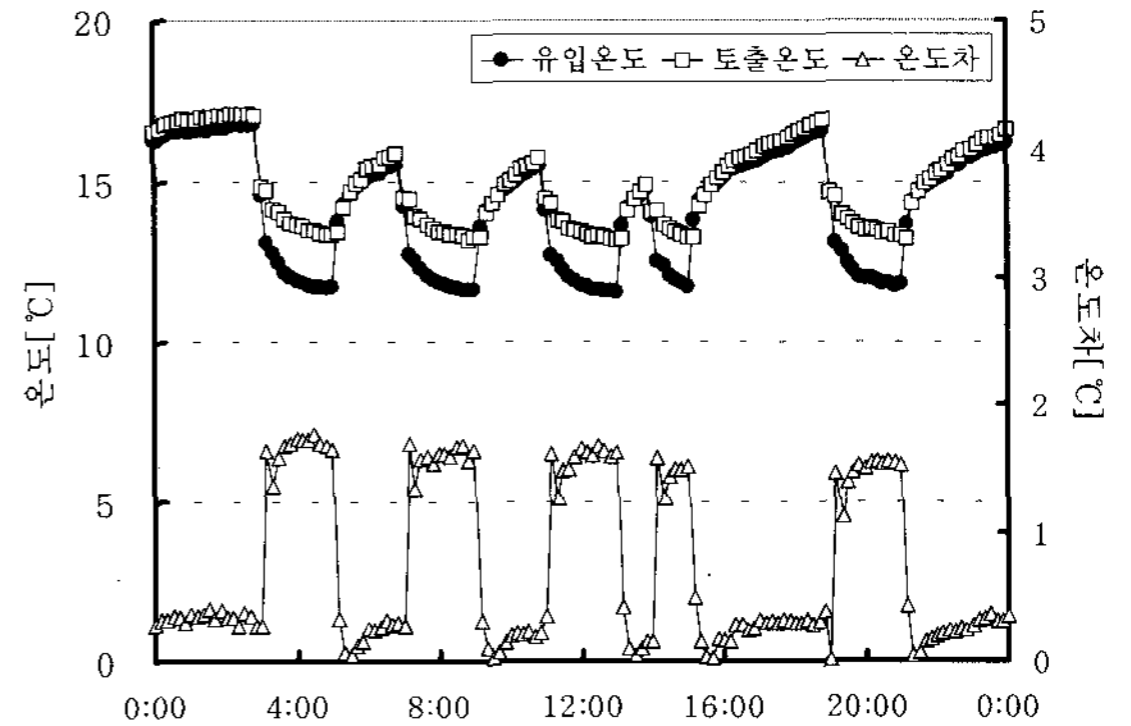


그림 12. 동절기 지상1층 지열배관 입·출구온도와 온도차

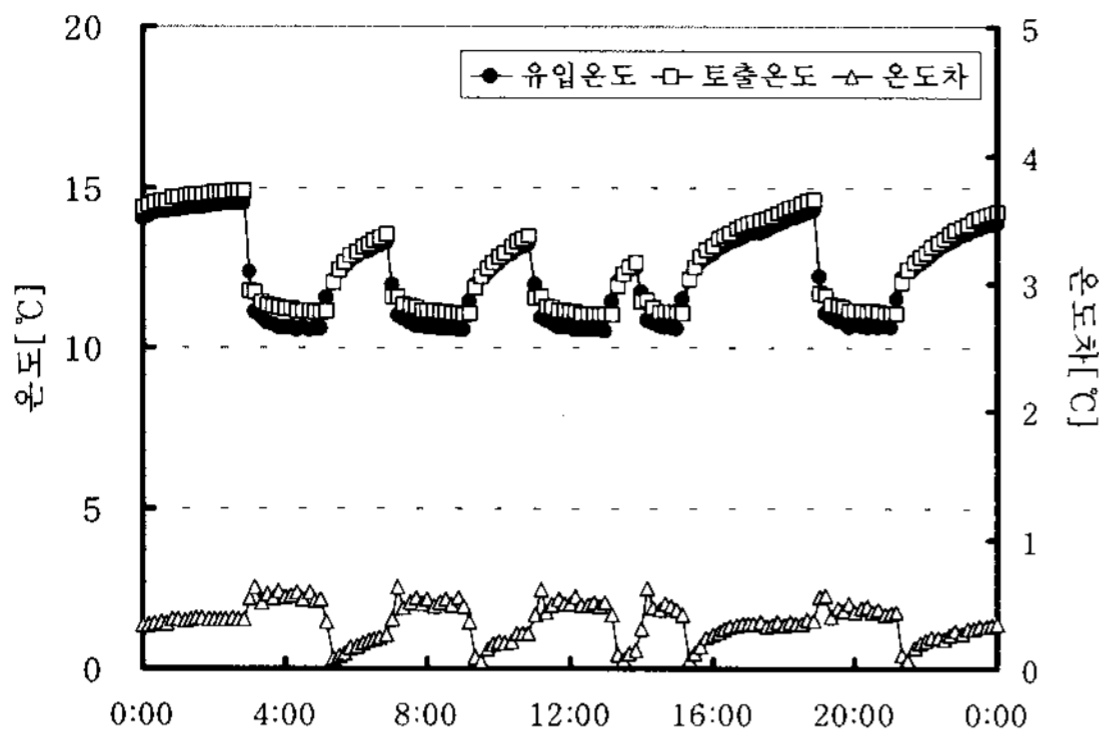


그림 13. 동절기 지하1층 지열배관 입·출구 온도와 온도차

3.2 동절기 실측결과

(1) 동절기 실내·외 온습도 조건

동절기 측정기간인 2006년 1월 23일부터 1월 26일까지의 외기 온·습도 중 24일과 25일의 변화는 그림 10과 같다. 측정기간 중의 외기온도는 -5°C~4°C의 분포로 난방이 필요한 조건임을 확인하였고, 본 연구에서는 그 중 정상적인 운전이 시행된 1월 24일의 데이터를 분석하였다. 이 날의 평균 16°C인 실내온도와 습도는 그림 11와 같다.

(2) 동절기 지열교환기의 입·출구온도 변화

그림 12과 13는 2006년 1월 24일 지상1층용, 1지하1층용 지중열교환기 입·출구 온도와 온도차를 보여주고 있다. 지상1층용 회로에서는 히트펌프에서 지열교환기로 들어가는 유입온도가 11.5~13°C, 토출온도는 13.5~15°C로 나타났으며, 평균 온도차는 약 1.5°C로 분석되었고, 지하1층용 회로의 경우에는 유입온도가 10.5~11°C, 토출온도는 11~12°C로 평균 온도차가 약 0.5°C로 나타났다.

3.3 지열에너지 활용량 예측

지열시스템에서 지열교환기가 여름철 지중으로의 방열량과 겨울철 지중으로부터 흡열량은 식 (2)로 계산할 수 있다.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot |T_{pipe,in} - T_{pipe,out}| \quad [kcal/h] \quad (2)$$

본 현장의 경우, 정유량 On-Off 운전이고 작동 유체가 순수한 물이므로 지열교환기 입·출구 온도차를 측정하면 지열교환기의 채열량 혹은 방열량을 알 수 있으며, 예측결과를 표 6에 정리한다.

표 6. 지열에너지 활용량(예측)

	하절기	동절기
일일용량	500 Mcal/일	150 Mcal/일
기간용량	400 Gcal/년	180 Gcal/년
기간용량 산정조건	냉방기간 4개월, 월 25일, 하루 8시간	난방기간 4개월, 월 25일, 하루 12시간

4. 결론

본 연구는 주상복합 건축물의 기초슬래브에 시공된 수평형 지열교환기의 여름철과 겨울철 운전성을 각각 측정 평가한 것이다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 하절기 운전 시에는 지상1층용 회로에서는 히트펌프에서 지열교환기로 들어가는 유입온도가 31.5~33.5°C, 토출온도는 28~30°C로, 평균 온도차 약 2.7°C의 열교환이 이루어지고 있었다. 지하1층용 회로에서는 유입온도 29~30.5°C, 토출온도 25~28°C로, 평균온도차 약 2.5°C의 열교환이 이루어지고 있었다.
- (2) 동절기 운전 시에는 지상1층용 회로에서의 유입온도가 11.5~13°C, 토출온도는 13.5~15°C로, 평균온도차 약 1.5°C의 열교환이 이루어지고 있었다. 지하1층용 회로에서는 유입온도 10.5~11°C, 토출온도 11~12°C로, 평균온도차 약 0.5°C의 열교환이 이루어지고 있었다.
- (3) 실측값을 기초로한 연간 지열에너지 사용량 산정결과, 하절기에는 약 400Gcal, 동절기에는 약 180Gcal의 지열에너지 활용이 예측된다. 본 연구를 통해 지열시스템이 대상공간의 주력

설비로써 계절별 성능을 발휘하고 있음을 확인할 수 있었다. 향후에는 건물 냉난방부하의 불균형 때문에 발생하는 지중으로의 방열량과 지중으로부터의 흡열량 사이의 불균형이 지중토양의 열성능과 지열시스템의 냉난방성능에 미치는 영향에 대한 연구를 추진하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 산업자원부, 대체에너지개발 및 이용·보급 촉진법 제11조제2항(2002.3), 동법 시행령 제16조(2004. 3).
2. 한정상 외, 「지열펌프 냉난방 시스템」, 한림원, 2005
3. 신현준, 조정식, 황인주, 김정엽, 이성원, 손병후 : 지열 이용 열펌프 시스템의 성능평가기법 및 기술기준(안)구축 보고서, 2005.9
4. 백성권, 안형준: 지열냉난방시스템 적용을 위한 지반의 열전도 특성에 관한 연구, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005.6
5. 정수일: 측정 자료가 없는 지역의 지중온도 예측방법에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2003.6
6. 안형준, 백성권, 신현준, 조정식: 지열교환기의 열교환 성능에 관한 연구, 대한설비공학회 2003동계학술발표대회논문집, 2003.12
7. 이세균, 김대기, 우정선, 박상일: 1차원 모델에 의한 지중열교환기의 열거동 해석, 한국태양에너지학회 논문집, 2005.3
8. 전민호, 장기창, 박성룡, 이영수, 윤형기, 박준택, 나호상, 백영진: GSHP용 수평형 지중열교환기의 열전달 성능에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 2005하계학술발표대회 논문집, 2005.6
9. 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.
10. 이세균, 우정선, 노정근: 지중열원 열펌프시스템의 성능해석, 한국태양에너지학회 논문집, 2005.12
11. 신우철, 백남춘, 김옥중, 고득용: 지열 이용 히트펌프 시스템의 열성능 해석, 한국태양에너지학회 논문집, 2006.6
12. 김용식, 김중현, 황광일, 주상복합 건축물에 적용된 지열이용 히트펌프 시스템의 냉방성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 2006. 12