

수평형 지열교환기 성능의 경년변화

황 광 일⁺, 우 상 우^{*}, 김 중 현^{**}, 양 기 영^{**}, 신 승 호^{***}

⁺한국해양대학교 기계정보공학부, ^{*}한국해양대학교 대학원 냉동공조공학과,

^{**}삼성건설 기술연구소, ^{***}삼성건설 주택사업본부

An Experimental Study on the Thermal Performance Change of Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger with Long-Term Operation

Kwang-il Hwang⁺, Sang-woo Woo^{*}, Joong-hun Kim^{**}, Gi-young Yang^{**}, Seung-ho Shin^{***}

Abstract : The purpose of this study is on the performance evaluation of horizontally installed GHEX(Geothermal Heat EXchanger, HGHEX) which has been operated for 5 years successfully. Followings are the results. Firstly, in summer season, on Aug. 2000, 33°C water was flowing out from HGHEX with continuous operating method, and 27~29°C with interval operating method on Jul. 2005. But 2.5~3.0°C temperature differences are gained from HGHEX. Secondly, in winter season, on Nov. 2000, 25°C water was flowing out from HGHEX with continuous operating method, and 13~15°C with interval operating method on Jan. 2006. But with each operating method, only 0.1°C and 0.7°C temperature differences are gained from HGHEX respectively. As the conclusion of this study, at the point of continuous operating method, seasonal balance of heating and cooling loads, and at the point of interval operating method, balance for geothermal restoring time respectively must be considered for better system performances.

Key words: Geothermal energy(지열에너지), Temperature Differences(온도차), Horizontal-type Geothermal Heat Exchanger(HGHEX, 수평형 지열교환기)

기호설명

하첨자

BF1 : 지하1층
F1 : 1층
HGHEX: 수평형 지열교환기
Return : 환수온도 [°C]
RH : 상대습도 [%]
Supply : 취출온도 [°C]
Temp. : 온도 [°C]
TD, ΔT: 온도차 [°C]

avg. : 평균
BF1 : 지하1층
F1 : 1층
max : 최대
min : 최소

1. 서론

1.1 연구배경과 목적

국제 유가의 급등으로 인해 안정적 에너지원 확보와 함께 미활용 에너지였던 신재생에너지에 대한 관심이 높아가고 있다. 우리 정부는 이러한

+ Corresponding author
Tel.:+82-51-410-4368
E-mail address : hwangki@bada.hhu.ac.kr

에너지 공급 상황을 개선하기 위해 11개의 신재생에너지를 지정하여 각 분야별 기술개발과 보급 사업을 전개하고 있으며, 실제적인 보급확대를 위해 관공서 등의 공공건물에는 신재생에너지 활용시스템 적용을 의무 시행하고 있다¹⁾.

11개의 신재생에너지 중 지열(地熱)을 온도차 에너지원으로 활용하는 기술은 기술적용 지역에 제한이 적다는 점과 잠재된 부존량(賦存量)이 상당하다는 장점으로 인해 많은 주목을 받고 있다.

지열활용 시스템은 유럽 국가들이 20세기 초부터 기술개발과 보급을 시작해 수많은 적용실적을 가지고 있는데 비하여, 국내에서 지열을 연구하기 시작한 것은 1990년대 중반 이후이며, 본격적인 검토와 보급이 시작된 것은 전술한 신재생에너지 관련법이 시행된 2004년 이후라고 할 수 있다.

현재 관련법의 시행과 함께 급팽창하고 있는 국내 지열업계의 질적 향상을 위해서는 각 업체의 설계기술, 시공기술, 그리고 장기운전에 따른 성능검증의 프로세스가 조속히 수립될 필요가 있다. 특히 그 중에서도 장기운전에 따른 운전성능의 변화 여부는 건축주의 의사결정에 중요한 변수이기 때문에 명확한 수치를 제시할 필요가 있다. 그렇지만 지열시스템 보급 역사가 짧은 국내 현황에서 이에 대한 국내 연구사례는 찾아볼 수 없다.

이에 본 연구에서는 5년간 정상적으로 운전되고 있는 지열시스템의 운전성능을 측정 평가함으로써 지열시스템의 장기운전에 따른 운전성능 변화를 고찰하였다.

1.2 연구문헌 고찰

해외 연구로는 지열에너지가 발전용 열원으로 사용되고 있는 필리핀의 BacMan 지역에서 1993년부터 2005년까지 추출된 지열의 온도를 조사한 결과 약 10% 정도의 온도저하 후 취출온도가 안정되었다는 보고가 있으며²⁾, 냉방부하가 난방부하에 비해 상대적으로 많은 지중해안지역에서 수행된 연구에서는 25년간의 장기운전에 따라 지중배관(GHEX)으로부터의 공급온도가 2.6°C 상승했음을 지적하고 있다³⁾. 국내 연구 중에는 조 등⁴⁾이 여름철과 겨울철을 포함하는 6개월 동안의 냉난방 시스템 운전 결과 지열교환기

입·출구 온도차는 평균 2.9°C 이었음을 보고하고 있으나 전술한 바와 같이 국내에서 수년간에 걸친 장기운전에 따른 영향을 연구한 사례는 찾을 수 없었다.

1.3 연구의 범위와 방법

본 연구는 장기운전에 따른 지열시스템의 운전성능 변화를 파악하기 위한 것이다. 단, 기존 연구문헌의 고찰을 통하여 지열시스템의 운전성능에 가장 큰 영향을 미치는 것이 지중에 매설된 지열배관(이하 지열교환기로 표시)의 열교환 능력임을 확인하였기 때문에, 본 연구에서는 지중배관 내를 흐르는 작동유체(Working fluid)의 온도변화에 주목하였다.

본 연구는 지열시스템 설치 후 5년 이상 정상적으로 운전되고 있는 현장의 운전조건과 지열배관 내 작동유체의 온도변화에 대한 실측조사를 수행한 사례연구로, 5년간의 데이터를 비교 평가함으로써 지열시스템의 장기운전에 따른 운전성능 변화를 고찰하였다.

2. 지열교환기 성능평가 개요

2.1 현장 개요

측정현장은 Fig. 1에 과 같이 3개동(棟)으로 구성되어 있으며, 지열시스템에 의한 부하공간은 Fig. 2의 예와 같은 공용공간이다.

본 현장에는 수평형 지열교환기가 시공되어 있으며, HDPE 재질의 평균길이 180m배관 총177개로 15개의 회로를 구성하고 있다. 지열은 1층의 로비(2개 회로)와 지하1층의 체력단련실(13개 회로) 등 공용공간에 공급되는 냉난방열을 생산하는 히트펌프의 열원(heat source, heat sink)으로 활용된다.



Fig. 1 Bird view



Fig. 2 Inside view

2.2 실측 항목 및 방법

본 실험실측을 수행한 각 년도별 계절별 실측 기간을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Measuring periods

| Season | Year | Measuring Period |
|--------|------|-------------------|
| | | Date |
| Summer | 2000 | Jul. 31 ~ Aug. 3 |
| | 2005 | Jul. 26 ~ Jul. 29 |
| Winter | 2000 | Nov. 6 ~ Nov. 9 |
| | 2006 | Jan. 23 ~ Jan. 26 |

지열교환기의 입·출구 온도를 측정하기 위한 열전대(Thermo couple)를 15개 지열교환기 회로의 입·출구에 각각 설치하였으며 10분 단위로 측정하였다. 또한 외기조건을 측정하기 위하여 백엽상에 온도, 습도계를 각각 고정 설치하였고 1시간 단위로 데이터를 취득하였다.

3. 성능측정 결과 및 고찰

3.1 지열시스템 가동시간의 변화

현장은 지열시스템의 가동 초기인 2000년에는 Table 2에 정리한 것과 같이 실내온도 설정조건에 따른 연속운전을 실시하였다. 그러나 2005년과 2006년 1월에는 시스템 전체를 On, Off시키는 간헐운전을 시행하였으며 각 기간별 시간대별 운전 스케줄을 Table 3과 Table 4에 정리하였다. 이러한 시간대의 설정은 관리자와 운전자의 경험에 바탕을 둔 것이며, 또한 관리자들을 대상으로 한 인터뷰를 통해 2005년도 운전 중에는 실내외조건에 따라 관리자의 경험과 판단으로 운전계획을 변경 혹은 중단하는 경우도 발생하고 있음을 알 수 있었다.

Table 2 Operated time table in 2000

| Date | Time | HGHEX for | |
|-----------------|-------------|-----------|-----|
| | | F1 | BF1 |
| Jan. 1 ~ Dec.31 | 07:30~08:00 | Off | On |
| | 08:00~19:30 | On | On |
| | 19:30~20:00 | On | Off |

*Working condition at out of time band is "Off".

Table 3 Operated time table in 2005

| Date | Time | HGHEX for | |
|---------------|-------------|-----------|-----|
| | | F1 | BF1 |
| Jan.1~Mar.8 | 05:00~06:00 | Off | On |
| | 19:00~21:00 | Off | On |
| Mar.9~Aug.21 | 09:00~10:00 | On | Off |
| | 11:00~12:00 | Off | On |
| | 12:00~14:00 | On | On |
| | 15:00~18:00 | On | On |
| | 18:00~18:30 | Off | On |
| | 19:30~21:30 | Off | On |
| Aug.21~Sep.20 | 13:00~15:00 | Off | On |
| Sep.21 | 18:00~18:30 | Off | On |
| Sep.22~Nov.15 | 07:00~07:30 | Off | On |
| | 18:00~18:30 | Off | On |
| Nov.16~Dec.5 | 07:00~07:30 | Off | On |
| | 11:00~11:30 | Off | On |
| | 15:00~15:30 | Off | On |
| | 18:00~18:30 | Off | On |
| Dec.6~Dec.17 | 04:20~06:20 | On | On |
| | 11:00~11:30 | Off | On |
| | 15:00~15:30 | Off | On |
| | 18:50~20:50 | On | On |
| Dec.18~Dec.30 | 02:00~04:00 | On | On |
| | 07:00~08:00 | On | On |
| | 11:00~11:30 | Off | On |
| | 15:00~15:30 | Off | On |
| | 19:00~21:00 | On | On |

*Working condition at out of time band is "Off".

Table 4 Operated time table in Jan. 2006

| Date | Time | HGHEX for | |
|-----------------|-------------|-----------|-----|
| | | F1 | BF1 |
| Jan. 1 ~ Jan.31 | 02:50~05:10 | On | On |
| | 06:50~09:10 | On | On |
| | 10:50~13:10 | On | On |
| | 13:50~15:10 | On | On |
| | 18:50~21:10 | On | On |

*Working condition at out of time band is "Off".

3.2 하절기 성능측정 결과

3.2.1 실외 온습도 조건

2000년, 2005년 각 하절기 측정기간 동안의 일평균 외기 온습도 조건은 Table 5와 같다.

Table 5 Daily outdoor conditions in the summer

| 2000 | Jul. 31 | Aug. 1 | Aug. 2 | Aug. 3 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| $T_{day,avg}$ | 25.3 | 26.3 | 28.8 | 28.3 |
| $H_{day,avg}$ | 68.0 | 69.5 | 59.8 | 61.6 |
| 2005 | Jul. 26 | Jul. 27 | Jul. 28 | Jul. 29 |
| $T_{day,avg}$ | 27.6 | 27.0 | 23.1 | 25.4 |
| $H_{day,avg}$ | 68.4 | 72.5 | 89.9 | 76.9 |

백엽상에서 측정된 외기의 온습도 조건이 가장 유사한 2000년 8월 1일과 2005년 7월 27일의 시간별 온습도 변화를 Fig. 3에 표시하였다.

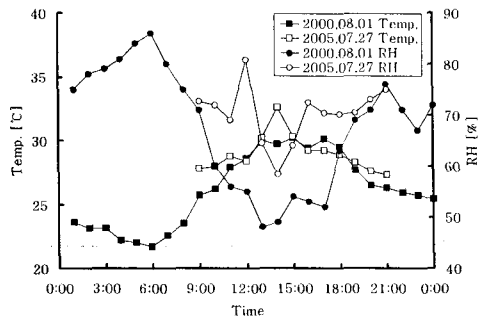


Fig. 3 Hourly outdoor conditions of a day among the surveyed period in the summer

3.2.2 성능측정 결과

Fig. 4와 Fig. 5는 2000년 8월 1일과 2005년 7월 27일의 1층 공용공간용 수평형 지열교환기의 입·출구 온도와 온도차를, Fig. 6과 Fig. 7은 지하1층 공용공간용 수평형 지열교환기의 입·출구 온도와 온도차를 각각 나타내고 있다. 운전초기이고 연속운전을 실시하던 2000년도의 환수온도(Return)가 2005년도에 비하여 높게 나타나고 있다. 이는 하절기 지중온도의 방열로 인해 상승된 지중온도가 비운전시 회복되어야 하지만 연속운전으로 인해 회복속도가 느려졌기 때문으로 판단된다. 또한 년도별 온도차를 살펴보면 연속운전일 경우에는 설정온도를 만족시키기 위해 온도차의 시각별 변동이 큰 반면 간헐운전을 실시한 2005년도에는 온도차가 거의 일정하게 나타나고 있다.

하절기 측정기간 동안의 각 년도별 온도차를 정리하면 Table 6과 같다. 년도별 평균 온도차 (TD_{avg})는 1층용의 경우 2.5°C 이상, 지하1층용의 경우에는 2.1°C 이상 발생하고 있으며 연간 변화가 적다는 것을 보여주고 있다.

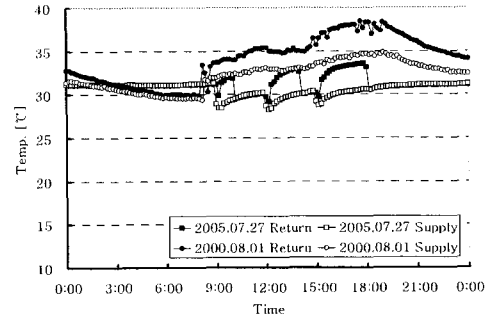


Fig. 4 Temperature variation of HGHEX_{F1} in the summer of 2000 and 2005

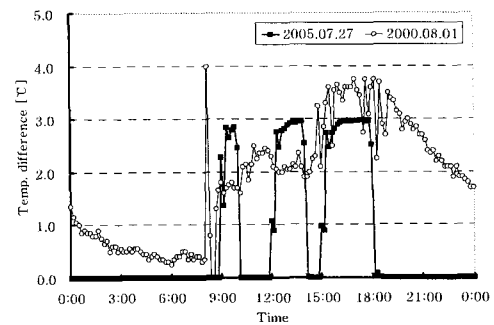


Fig. 5 ΔT variation of HGHEX_{F1} in the summer of 2000 and 2005

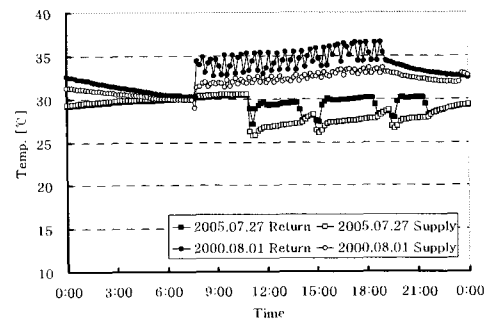


Fig. 6 Temperature variation of HGHEX_{BF1} in the summer of 2000 and 2005

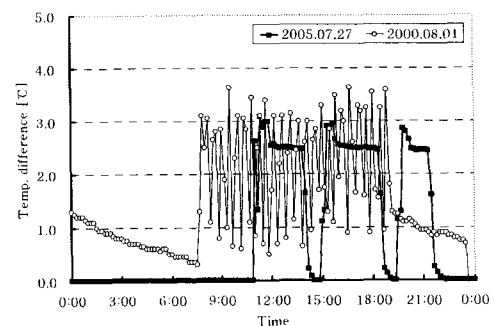


Fig. 7 ΔT variation of HGHEX_{BF1} in summer of 2000 and 2005

Table 6 Temperature differences in the summer

| HGHEX for | Date | TD _{max} | TD _{min} | TD _{avg} |
|-----------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| F1 | 2000.Aug.1 | 4.0 | 0.0 | 2.5 |
| | 2005.Jul.28 | 3.1 | 0.1 | 2.7 |
| BF1 | 2000.Aug.1 | 3.7 | 0.3 | 2.1 |
| | 2005.Jul.28 | 3.6 | 0.0 | 2.5 |

3.3 동절기 성능측정 결과

3.3.1 실외 온습도 조건

2000년, 2006년 각 동절기 측정기간 동안의 일평균 외기 온습도 조건은 Table 7과 같다.

Table 7 Daily outdoor conditions in the winter

| Year | Date | Nov. 6 | Nov. 7 | Nov. 8 | Nov. 9 |
|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 2000 | T _{day,avg} | 13.0 | 9.8 | 2.7 | 4.9 |
| | H _{day,avg} | 48.0 | 50.3 | 42.5 | 37.5 |
| | 2006 | Jan. 23 | Jan. 24 | Jan. 25 | Jan. 26 |
| T _{day,avg} | -4.7 | -3.1 | -0.7 | 0.2 | |
| H _{day,avg} | 45.4 | 42.5 | 47.4 | 62.3 | |

2000년과 2006년 측정기간 동안의 외기 온습도 조건에는 차이가 있으나 온도변화의 경향이 가장 유사한 2000년 11월 8일과 2006년 1월 24일의 시간별 온습도 변화를 Fig. 8에 표시하였다.

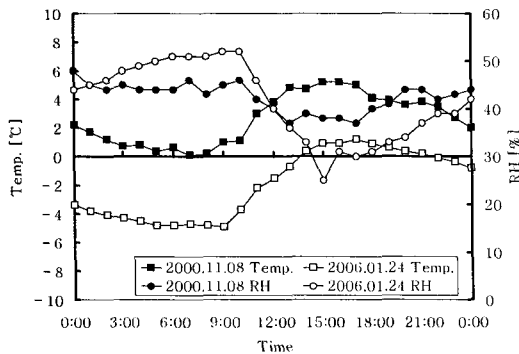


Fig. 8 Hourly outdoor conditions of a day among the surveyed period in the winter

3.3.2 성능측정 결과

Fig. 9와 Fig. 10은 2000년 11월 8일과 2006년 1월 24일의 1층용 수평형 지열교환기의 입·출구 온도와 온도차를, Fig. 11과 Fig. 12는 지하1

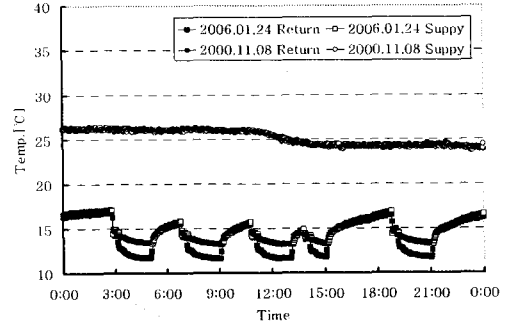


Fig. 9 Temperature variation of HGHEX_{F1} in the winter of 2000 and 2006

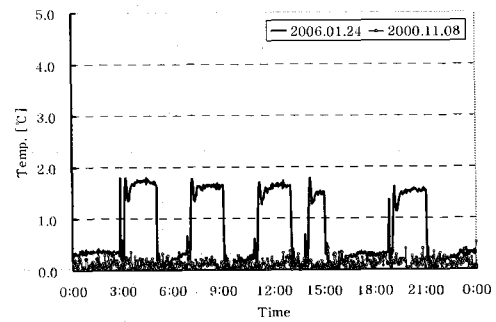


Fig. 10 ΔT variation of HGHEX_{F1} in the winter on year 2000 and 2006

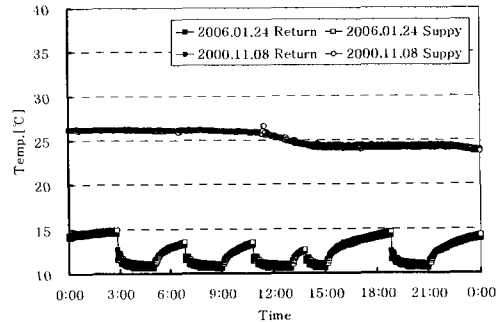


Fig. 11 Temperature variation of HGHEX_{BF1} in the winter of 2000 and 2006

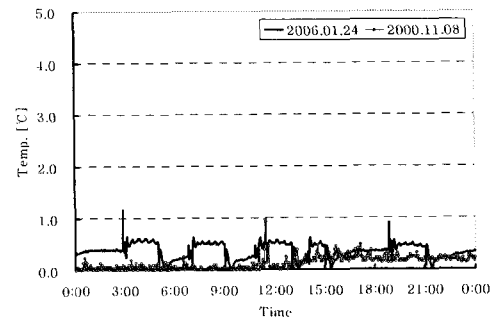


Fig. 12 ΔT variation of HGHEX_{BF1} in the winter of 2000 and 2006

층용 수평형 지열교환기의 입·출구 온도와 온도차를 각각 나타내고 있다. 2000년도의 환수온도(Return)가 2006년도에 비하여 높게 나타나고 있으나, 년도별 온도차를 살펴보면 2000년도의 연속운전일 경우에는 지열교환기 입출구에서의 온도차가 0.1℃ 정도로 미미한 반면 2006년도에는 0.5℃(지하1층), 1.5℃(1층) 정도에서 안정적인 수치를 나타내고 있다. 동절기 측정기간 동안의 년도별 온도차를 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8 Temperature differences in the winter

| HGHEX for | Date | TD _{max} | TD _{min} | TD _{avg} |
|-----------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| F1 | 2000.Nov.8 | 0.5 | 0.0 | 0.1 |
| | 2006.Jan.24 | 1.8 | 0.0 | 1.5 |
| BF1 | 2000.Nov.8 | 0.9 | 0.0 | 0.1 |
| | 2005.Jan.24 | 1.2 | 0.0 | 0.5 |

4. 결 론

본 연구는 성과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수평형 지열시스템의 5년간의 운전성능을 측정함으로써 수평형 지열시스템의 장기운전에 따른 운전성능 변화를 고찰하였다.
- 2) 하절기 지중으로부터의 공급온도는 연속운전방식을 시행하던 2000년 8월에는 33℃, 간헐운전인 2005년 7월에는 27~29℃로 운전방식에 따른 차이가 발생하고 있으나, 수평형 지열교환기의 취득열량, 즉 온도차는 약 2.1~2.7℃의 범위에서 균일하게 발생하고 있었다.
- 3) 동절기 지중으로부터의 공급온도는 연속운전방식을 시행하던 2000년 11월에는 25℃, 간헐운전을 채택한 2006년 1월에는 13~15℃로 큰 차이를 보이고 있으며, 취득열량을 대표하는 온도차 역시 운전방식별로 각각 0.1℃, 1.5℃의 차이를 보이고 있다.
- 4) 본 연구를 통해 운전방식에 따라 지열의 회복속도가 단기적으로 그리고 중장기적으로 시스템 성능 전체에 많은 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 연속운전방식일 때에는 계절간 냉난방부하(흡열량과 방열량)의 균형, 간헐운전일 때에는 하루 혹은 주간 지열회복력을 고려한 운전이 이루어져야만 한다.

지열시스템의 중장기적 성능확보를 위한 설계 방안을 제시하기 위해서 운전방식과 냉난방부하 불균형의 두 변수가 지열시스템의 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

1. 산업자원부, 대체에너지개발 및 이용·보급 촉진법 제11조제2항(2002.3), 동법 시행령 제16조(2004. 3).
2. Fidel S. See et al., The BacMan Geothermal Field, Philippines ; Geothermal Changes and Operational Challenges After Ten Years of Productions, Proceedings World Geothermal Congress 2005
3. 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
4. 조정식 et al., 지열에너지 이용 냉난방시스템 성능분석, 지열에너지저널, 한국지열에너지학회, 2005. 6