

# 지열 히트펌프 시스템의 계절별 지중 열교환 특성 및 지반내 온도 변화

심 병완

## Temperature monitoring and seasonal borehole heat exchange rate characteristics of a geothermal heat pump system

Byoung Ohan Shim

**Key words** : temperature monitoring, borehole heat exchanger, heat exchange rate, geothermal heat pump.

**Abstract** : The geothermal heat pump system is designed for cooling and heating for three stories building (2,435 m<sup>2</sup>) includes total 79 heat pumps. Therefore, the monitoring system is installed for each floor and the data is automatically transmitted to the monitoring system. Heat exchange rate and temperature of a geothermal heat pump system have been monitored for a long period. The seasonal operation of geothermal heat pump shows the different shape of heat exchange rate for cooling and heating. Ground water flow can influence on heat exchange rate and thermal storage of the system. In order to define the hydraulic characteristics and groundwater temperature variation, the relationships among air temperatures, groundwater temperatures, water table, and precipitation are analysed.

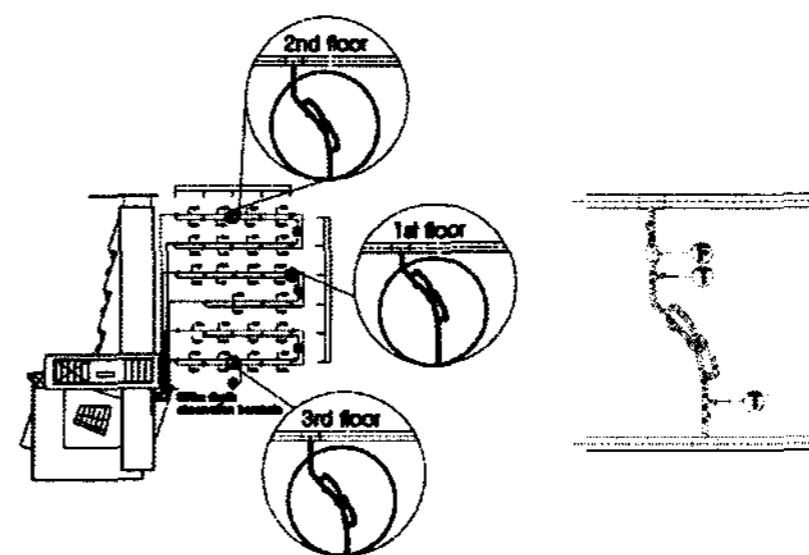
### 1. Preface

지열히트펌프 냉난방 시스템이 국내에서는 약 2000년 초부터 본격적으로 설치되기 시작하였다. 국내 집계된 통계에 따르면 2005년까지 총 5,074 RT 규모의 지열 히트펌프 냉난방 시스템이 설치되었다(2006, 에너지관리공단 신재생에너지센터). 그러나 이러한 시스템에 대한 운영 특성이나 시스템 설계에 대한 평가는 국내에서 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 실증 시스템 운영에 대한 특성을 파악하고 건물 냉난방과 지중열교환율간의 상관성을 파악하고자 한다. Fig. 1은 한국 지질자원연구원내 지진연구동 냉난방 시스템을 위한 지열 히트 펌프 시스템의 지중열교환기 배열 평면도 및 지중열교환기의 장기 온도모니터링 시스템을 나타낸 것이다.

2005년부터 지하수 온도 및 수위의 장기 모니터링이 실시되었으며, 지열히트펌프 시스템의 지중열교환기 유량 및 EWT (entering water temperature), LWT (leaving water temperature)는 2006년 6월부터 모니터링을 수행중이다. 지진연구동의 냉난방시스템 설계는 GLD software(Gaia Geothermal)를 이용하여 실시되었다. 지열 히트펌

프 시스템 설계를 위한 소프트웨어 입력 변수값으로는 실제 시공된 시스템과 유사하거나 같은 값을 이용하였다.

### 2. Method



**Fig. 1. layout of borehole heat exchanger monitoring system (F: flow meter, T: temperature sensor).**

1) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Groundwater & Geothermal Division  
E-mail: boshim@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3055 Fax : (042)868-3358

전체 건물 냉난방면적은 2,435 m<sup>2</sup>이며 체적은 6,777m<sup>3</sup>이다. 계산결과 냉방부하 설계치는 277,768 kcal/hr, 난방부하 설계치는 155,052 kcal/hr이며, 냉난방부하에 의해 계산된 전체 지중열교환기의 길이는 냉방시 5838.3m이며 난방시 5001.0m이다. 이를 이용하여 설계된 시스템의 히트펌프는 층별 부하량에 따라 설계에 따른 각 층의 실험실 및 복도에 설치되었으며 총 수량은 79개이다.

### 3. Results

#### 3.1 Cooling period

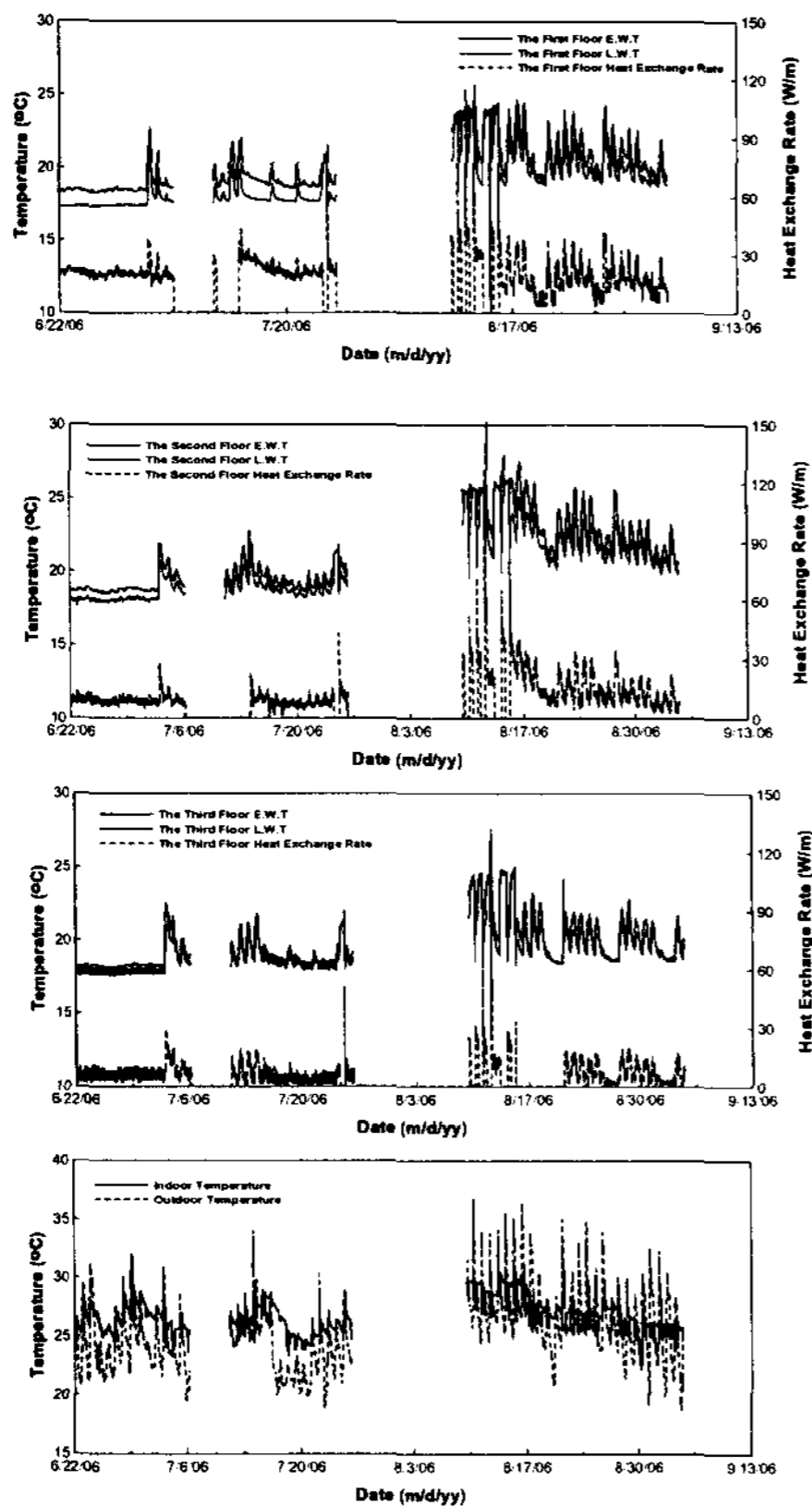


Fig. 2. EWT, LWT, and heat exchange rate of each floor, and the air temperature and indoor temperature variations in the summer season of 2006.

Fig. 2는 지중열교환기의 순환수 유량 및 온도 모니터링 시스템 설치 현황으로서 지중열교환기로 들어가는 EWT, LWT와 유량을 측정하기 위하여 설치되었다. 실시간 모니터링 자료는 지진연구동 지하에 있는 모니터링실로 전송되고 있으며 이 자료를 이용하여 지중열교환기의 열교환율의 계산이 가능하다. 2006년 하절기 지진연구동의 냉

방에 따른 지중열교환기 순환수의 EWT, LWT 및 지중열교환율 변화는 Fig. 2의 그래프에 층별로 나타나 있다. 그래프에서 부분적으로 센서의 수리를 위하여 데이터 값이 없는 부분이 있으나 냉방에 의한 온도 변화 경향을 파악하는 데는 무리가 없는 것으로 판단된다. 시스템 설치 건물의 사무실이 비어있는 곳이 다소 있으므로 당초 설계시 설정한 냉난방 부하에 비하여 실제 이용하고 있는 냉방부하는 매우 적은 것으로 판단된다. 1층에서의 EWT와 LWT간의 온도차가 평균적으로 1층에서는 1.5 ~ 1.1°C정도 차이가 나는 것으로 나타나며, 2층과 3층에서는 1°C 정도의 온도차를 나타내고 있다. 이것은 전체적으로 건물의 설계용량에 비하여 실제 이용하고 있는 냉방부하가 매우 적게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

각 층별 평균 열교환율은 20.0 W/m(1층), 12.2 W/m(2층), 6.6 W/m(3층)으로서 3층에서의 냉방부하가 최소로 나타나며 일일 최대열교환율의 평균은 25 ~ 30 W/m 정도이다. 그리고 냉방부하가 가장 큰 경우의 최대 열교환율은 8월 12일에 각 층에서 약 62W/m 전후로 나타났다. 마지막 그래프는 지진연구동의 1층 사무실에 설치된 실내온도 측정치와 건물 외부의 온도를 나타낸 것이다. 외기온도는 일변화가 급격히 변하는 형태를 나타내며 온도범위는 약 18.7 ~ 36.7°C이며 내기온도는 22.1 ~ 31.2°C로 나타났다. 하절기에 본 건물에서는 대부분 25 ~ 30°C의 실내 온도를 유지하는 것으로 나타나 실제 설계상의 냉방부하에 비하여 매우 적은 양의 냉방을 실시하는 것으로 나타났다.

#### 3.2 Heating period

Fig. 3은 2006-2007년 동절기 지진연구동의 난방에 따른 지중열교환기 EWT, LWT 및 지중열교환율 변화를 층별 순서로 나타낸 것이다. 모니터링 실시 기간에 시스템 설치 건물의 각 사무실이 비어있는 곳이 다소 있으므로 당초 설계시 설정한 난방 부하에 비하여 실제 이용하고 있는 난방부하도 냉방시에 측정된 것과 같이 매우 적은 것으로 판단된다. 1층에서의 EWT와 LWT 간의 온도차가 평균적으로 1층에서는 0.6°C정도 차이가 나는 것으로 나타나며, 주입과 토출온도가 2층과 3층에서는 0.7, 0.2°C 정도의 온도차를 나타내고 있다. 이것은 냉방부하의 경우와 같이 전체적으로 건물의 설계용량에 비하여 실제 이용하고 있는 난방부하가 매우 적게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

각 층별 평균 열교환율은 10.1 W/m(1층), 11.2 W/m(2층), 6.5 W/m(3층)으로서 1층에서 열교환율이 가장 크게 나타나며, 3층에서의 난방부하가 가

장 적게 나타난다. 일일 최대열교환율의 평균은 전체적으로 30 W/m 정도이다. Fig. 3의 마지막 그래프는 지진연구동의 1층 사무실에 설치된 실내 온도 측정치와 건물 외부의 온도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 외기온도는 일변화가 매우 급격히 변하는 형태를 나타내며 온도범위가 약 -10.2 ~ 17.4°C이며, 내기온도는 17.9 ~ 26.5°C로 나타났다. 따라서 동절기에 대부분 근무시간에 15 ~ 25°C의 실내 온도를 유지하고 있으므로 실제 설계상의 부하에 비하여 매우 적게 난방을 이용하는 것으로 나타났다. 난방시 순환수의 유량은 평균 51.9 l/m(1층), 40.5 l/m(2층), 43.7 l/m(3층)으로 나타났다.

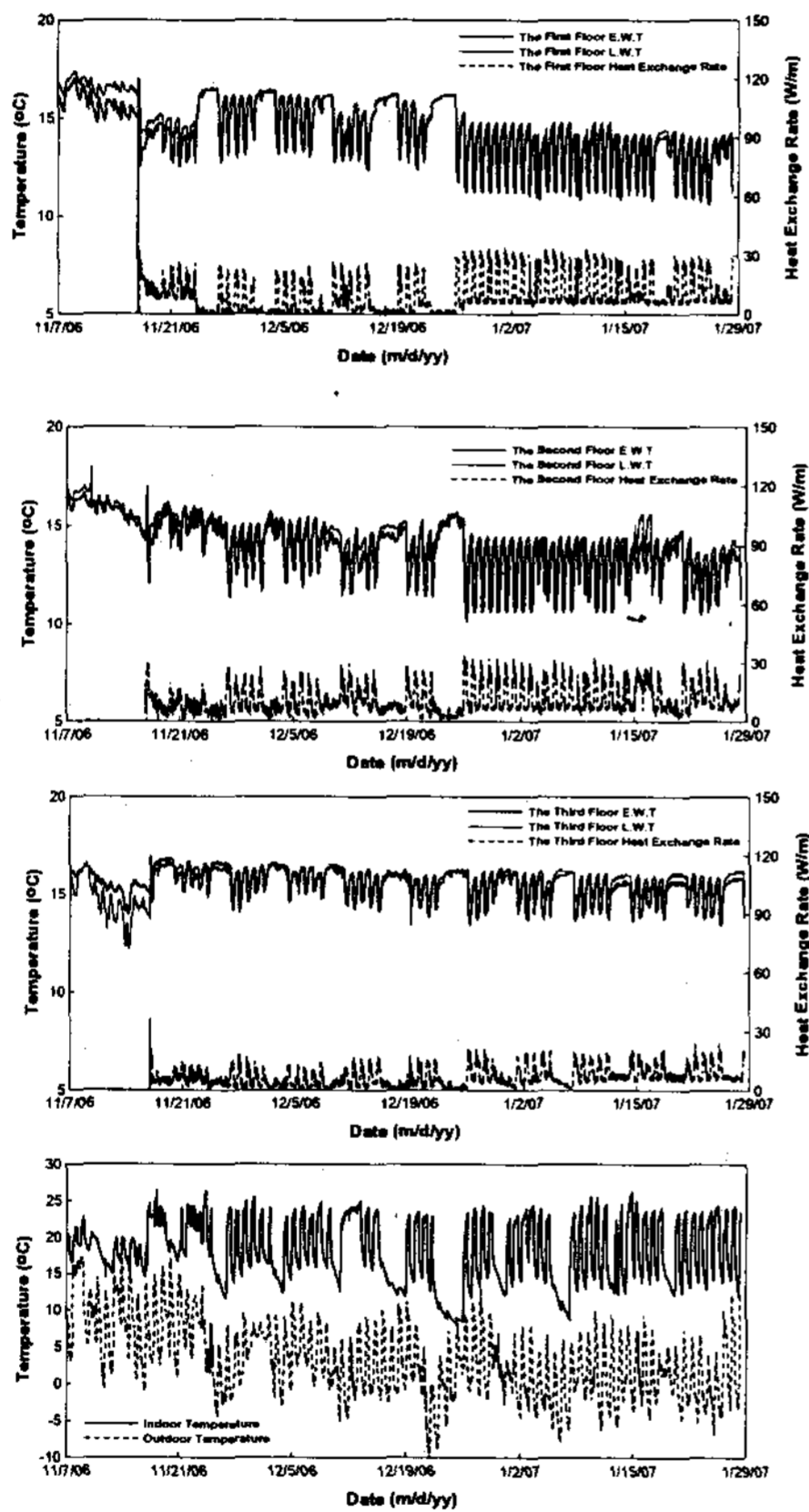


Fig. 3. EWT, LWT, and heat exchange rate of each floor, and the air temperature and indoor temperature variations in the winter of 2006-2007.

### 3.3 Groundwater monitoring

지중열교환기 시스템 부지의 천부 지중 온도 변동특성을 파악하기 위하여 자동수위측정기를 이용한 장기적인 지하수위 및 온도모니터링을 실시하였다. Fig. 4는 시스템 설치 부지의 10 m 심도

에서 지하수 수온변화를 나타낸 것으로서 위상차는 약 4개월 10일로 나타났다. 그리고 지하수 연평균 온도는 14.7°C이고 연평균 변동 진폭은 2.4°C이며 온도범위는 13.7 ~ 16.0°C이다.

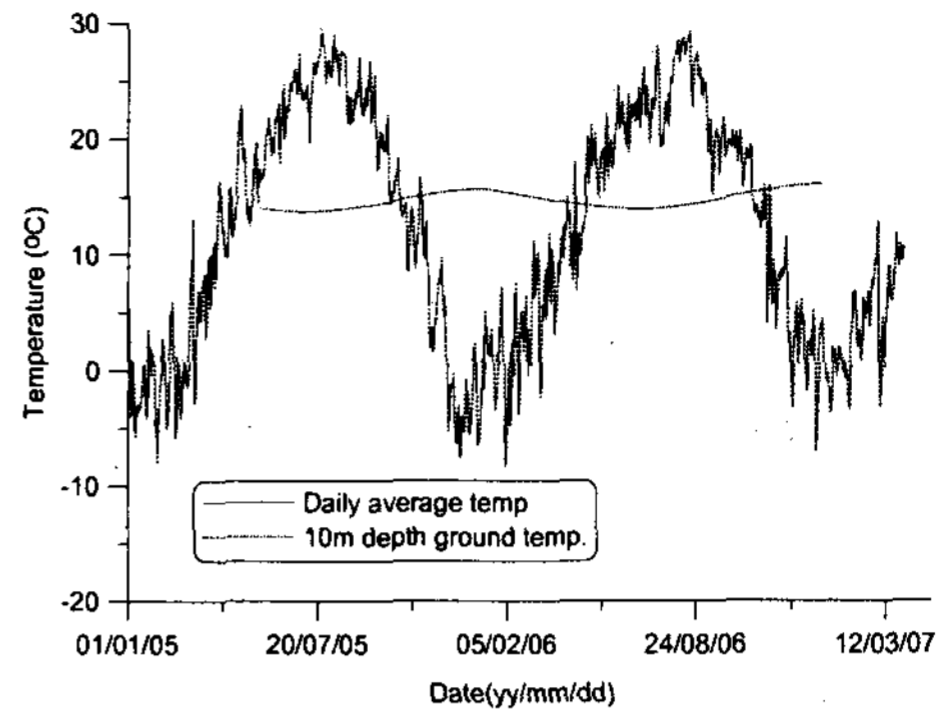


Fig. 4. Daily average air temperature and groundwater temperature of 10m depth in the system.

국내 기상관측소 가운데 2002년까지 지표하 5m지점에서 일별로 측정된 지중온도 자료가 가용한 관측소는 17개소이고, 현재까지 측정하고 있는 관측소는 12개소이다. 지표하 5m심도의 월평균 최고온도 출현시기(월)는 대기온도나 지표면 온도가 가장 높은 8월이 아니라 그 3 ~ 4개월 이후인 10 ~ 11월이며, 월평균 최저온도 출현달은 4 ~ 5월이 대종을 이루고 있다. 국내에서 월평균 최고 대기온과 최고지표면 온도출현시기가 8월인데 비해 지중 5m 지점의 최고지중온도 출현시기와의 차이에 해당하는 위상지연기간은 약 4개월 정도이다 (한정상 등, 2004).

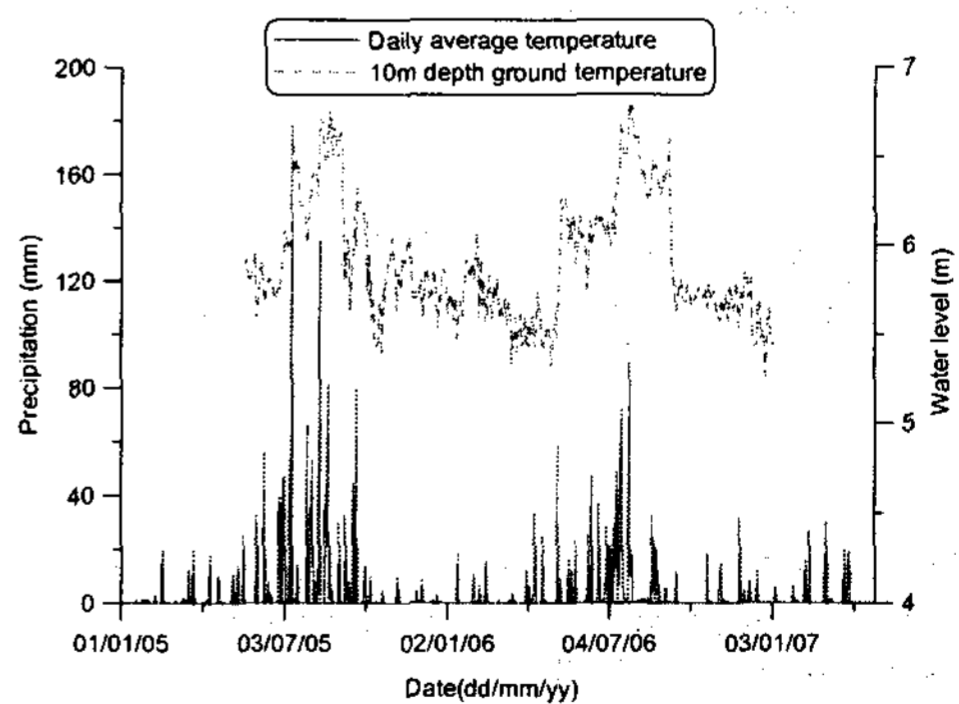


Fig. 5. Groundwater table fluctuation and daily precipitation.

Fig. 5에서는 시스템 설치부지에서 강우에 의한 지하수위 변동은 시간지연이 매우 짧게 나타나고 있는데 이것은 케이싱 하부에서 50m 지점까지 천부에 발달된 파쇄대를 따라 강우의 침투가 직접적으로 천부 대수층으로 유동하고 있는 것을 알 수 있다.

#### 4. Conclusions

계절별 지열 시스템 활용 현황 모니터링 및 해석에서 대상 건물의 1층에 대한 지중열교환기 내 순환수의 EWT와 LWT간의 온도차를 분석한 결과 전체적으로 건물의 설계용량에 비하여 실제 이용하고 있는 냉난방부하가 매우 적은 것으로 파악된다. 여름과 겨울에 일일 최대열교환율의 평균은 전체적으로 25 ~ 30W/m 정도이다. 1층 사무실에 설치된 실내온도 측정치와 건물 외부의 대기 온도를 시간에 따라 나타난 그래프에서 여름철 외기온도는 일변화가 매우 급격히 변하는 형태를 나타내며 온도범위가 약 18.7 ~ 36.7°C이며 내기온도는 22.1 ~ 31.2°C로 나타났다. 그래프에 나타난 결과로서 하절기에 본 건물에서 대부분 25 ~ 30°C의 실내 온도를 유지하고 있다.

겨울철 난방의 경우 외기온도는 약 -10.2 ~ 17.4°C이며, 실내온도는 17.9 ~ 26.5°C로 나타났다. 동절기에 근무시간에 대부분 15 ~ 25°C의 실내 온도를 유지하고 있으므로 실제 설계상의 부하에 비하여 매우 적게 난방을 이용하는 것으로 나타났다. 그리고 여름철의 열교환율은 피크값이 높은 경우가 짧은 기간에 몰려 있으나 겨울철의 열교환율은 여름철보다 지속적으로 일정한 값을 유지하므로 겨울철 난방에 보다 많이 이용하는 것으로 보인다.

10m 심도에서 지하수온 변화에서 대기온도와 위상차는 약 4개월 정도로 나타났다. 그리고 지하수 연평균 온도는 14.7°C이고 변동 진폭은 2.4°C이며 온도범위는 13.7 ~ 16.0°C이다.

#### References

- [1] 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2006, 2005년 신재생에너지통계(2006년판), 122p.
- [2] Gaia Geothermal., 2005. Ground loop design software (version 2.7), Gaia Geothermal, LLC.
- [3] 한정상, 한규상, 한혁상, 한찬, 친환경, 2004, 대체에너지인 천부 지중열을 이용한 지열펌프 냉난방 시스템, 한림원.
- [4] Signorelli, S., 2004. Geoscientific Investigations for the Use of Shallow Low-Enthalpy Systems, Swiss Federal Institute of Technology Zurich. For the degree of Doctor of Science.