

## 개방형 지열히트펌프 시스템의 성능평가

김 태원<sup>1)</sup>

### Performance Evaluation of Open-Loop Ground Water Heat Pump system

Taewon Kim

**Key words** : Ground-source heat pump(GSHP, 지열원 히트펌프), Ground water(지하수), Standing column well(SCW, 스탠딩컬럼웰), Coefficient of Performance(COP, 성능계수)

**Abstract** : Open loop or ground water heat pump systems are the oldest of ground-source systems. Standing column wells can be used as highly efficient ground heat exchanger in geo-thermal heat pump systems, where hydrological and geological conditions are suitable. These systems require some careful considerations for well design, ground water flow, heat exchanger selection etc. This paper describes ground water temperature variations, performances in heating and cooling mode and the results of ground water analysis.

#### Nomenclature

*COP* : coefficient of performance  
*Q* : heat capacity (kcal/h)  
*W* : power (kW)  
*T* : temperature (°C)  
*m* : mass flow rate (kg/h)  
*C<sub>p</sub>* : specific heat of fluid (kcal/kg °C)  
*c* : condenser  
*e* : evaporator

#### subscrip

*c* : cooling  
*h* : heating  
*in* : inlet  
*out* : outlet  
*cm* : compressor  
*p* : pump

### 1. 서론

인류 문명의 발달에 따른 폭발적인 산업 활동으로 인하여 자연의 수용 한계를 벗어나는 현상이 전 세계적으로 일어나고 있다. 화석에너지의 지속적 사용을 기반으로 하는 산업공정, 각종 폐기물, 농축산

업에 따른 부산물 및 비료 사용 등으로 인하여 우리의 생태계를 위협하는 급격한 지구 환경 변화가 발생하게 된 것이다.

특히 에너지 다소비 구조로 되어있는 우리나라의 경우 OECD에서 발표한 2003년 통계연감에 따르면 국내 에너지 소비는 OECD평균 14.5% 대비 82.9%로 5배 이상의 증가율을 보이고 있으며, 에너지 소비증가율에 따른 이산화탄소 증가량 또한 OECD평균 13.2% 대비 73.6%로 선진국에 비해 높은 증가량을 보이고 있다.

이산화탄소 배출과 관련한 국내 상황을 살펴보면 1995년 국내 탄소 배출량 1억 2300만 toe을 100으로 보았을 때 2013년에는 175%, 2020년에는 199%의 온실가스 배출 전망치가 나오고 있으며, 이는 교토의 정서에 조인한 국내 의무 감축량 달성을 위하여 무려 95%를 감축해야만 하는 수치이다<sup>(1)</sup>. 한국이 2013년부터 온실가스 감축 의무를 진다면 예상되는 경제적 여파는 발전량의 30% 축소, 정유-철강-시멘트 생산량의 50% 감소해야 한다. 그러면 원자재 품귀로 인한 경제성장 저하와 2020년 실업률 10%이상의 증가라는 암울한 전망들이 나오고 있다.

국제 에너지 상황을 분석한 결과, 에너지 수요의 지

1) (주)티이엔

E-mail : t1@ten-i.com

Tel : (042)279-7054 Fax : (043)279-7050

속적인 증가는 고비용의 에너지가격 지불을 초래하여 경제성장의 치명적 위협요소가 되고 있음을 확인할 수 있다. 이에 따라 자연과 에너지에 대한 새로운 패러다임과 실천이 필요하게 되었으며 이는 신재생 에너지의 개발과 보급에 대한 역사적 필연성을 재확인하는 계기가 되었다.

2045년이면 석유 등 화석 연료가 바닥을 드러낼 것으로 예상되는 가운데 신재생에너지는 2050년에 이르르면 인류가 사용하는 전체 에너지의 절반 이상을 차지할 것으로 보이며, 전 세계적으로 20~30%씩 성장하여 정보기술, 바이오산업 등과 함께 21C의 최첨단 산업이 될 것이다.

## 2. SCW 시스템

개방형 방식 중 하나인 SCW공법은 하나의 관정에 열매체로 물을 순환하여 히트펌프에서 발생하는 에너지를 지중열과 열교환 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로서 국내처럼 암반 절리가 발달된 지역에 유리하다(미국 북동부 지역)<sup>(2)</sup>. SCW의 열교환 성능은 깊이에 의해 좌우되며, 이 깊이를 결정하는 인자로는 열전달율, 암반의 종류, 블리드의 량 등이다.<sup>(3)</sup>

Table 2 Sites of applied SCW.

| 현장명       | 용량     |
|-----------|--------|
| 경남-오피스텔   | 20 RT  |
| 강원-물류센터   | 90 RT  |
| 서울-복지원    | 105 RT |
| 청주-실버타운   | 70 RT  |
| 충남-교회     | 180 RT |
| 강원-교회     | 300 RT |
| 경북-교회     | 100 RT |
| 경남-농원     | 60 RT  |
| 인천-사회복지관  | 125 RT |
| 충북-소방서    | 120 RT |
| 서울-장애우 학교 | 170 RT |
| 경기-대학교    | 440 RT |
| 경남-박물관    | 100 RT |
| 충남-교회     | 300 RT |
| 충북-테크노파크  | 260 RT |
| 대전-창조의 전당 | 160 RT |
| 충북-대학교    | 800 RT |

1994년 미국에 Carl Origo가 동부지역에서 처음 시작하여 최근에는 낮은 설치비용, 저 운전비용, 고효율 시스템 등으로 주목을 받기 시작하였고<sup>(4)</sup>, 다른 지열원 히트펌프 시스템보다 설치 면적이 적고 온도의 안정적 유지, 높은 열복원력 등으로 인한 장점으로 미국에는 1,000곳 이상이 설치되어 있고, 캐나다 및 중국 등에서 보급이 급속도로 증가하고 있는 추

세이다. 또한 현장에서 높은 성능이 검증됨과 동시에 연구 또한 병행하여 진행되고 있으며, 주요 연구로는 1970년 오클라호마 대학의 Dr. Bose가 SCW현장 시험을 수행한바 있고 후에 루지애나대학의 Dr. Braud 교수 등이 연구를 진행하고 있다.

SCW공법의 특징 중 하나는 우리나라처럼 난방부하가 큰 지역에서 적용이 많다는 점인데 미국의 북태평양지역이나 캐나다, 중국 등 난방부하가 크거나 난방기간이 긴 지역에 주로 적용하고 있다.

국내에서도 SCW를 적용한 지열원 히트펌프 시스템은 빠른 속도로 보급되고 있다. 교회, 관공서, 일반 건물, 농업, 뿐만 아니라 아파트처럼 집단 거주지역에도 적용되기 시작하였다. SCW 지열원 히트펌프 시스템이 적용된 국내 사이트는 Table 1와 같다.

### 2.1 지열원 히트펌프 계통도

지열원 히트펌프 시스템은 히트펌프, 지중열교환기, 순환펌프, 버퍼탱크(축열시스템에는 축열조) 등으로 구성된다. 지열히트펌프 시스템은 지열을 열원으로 히트펌프에서 생성된 냉수 혹은 온수를 이용하여 냉, 난방을 수행하게 된다.

부하측에 공급된 냉, 온수는 FCU, 공조기 또는 온돌 등에서 방열을 한다. Fig. 1은 축열조가 구비된 지열원 히트펌프 시스템의 계통도를 나타낸 것이다.

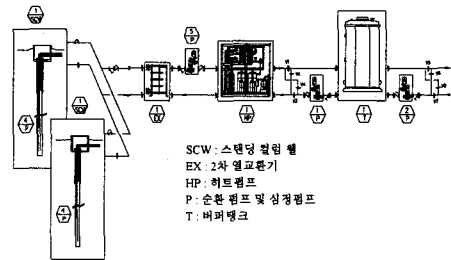


Fig. 1 Schematic diagram of open-loop heat pump system including water thermal storage.

### 2.2 성능평가

#### 2.2.1 성능평가 방법

성능시험의 측정값은 현장에서 냉난방시 자동으로 기록된 것으로 온도는 히트펌프의 입출구(실내 부하측 입출구), 지하수 입출구, 2차 열교환기 입출구에서 측정하였다. 또한 초음파 유량계를 히트펌프의 출구와 지하수 입구측에 설치하여 유량을 측정하였고, 전력량계를 히트펌프(압축기) 및 순환펌프에 설치하여 소비전력을 측정함으로써 냉난방 운전 에 따른 성능을 평가하였다. 온도, 유량, 전력량 등의 측정된 값은 1초 간격으로 평균한 후 5분 간격으로 PC에 기록, 저장하였다. Table 2는 성능 평가를 위한 계측기들의 사양을 나타낸 것이다. 또한 주변에 관측공을 설치하여 운전 에 따른 열유동 특성들을 평가

하였고, SCW 공법으로 설치 완료된 전국 4곳의 수질을 정기적으로 측정하였다.

Table 3 Specifications of measuring equipments

| Equipment          | Specifications        | Measuring Point               |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Power meter        | ± 0.1%                | Heat pump<br>Circulation Pump |
| flow meter         | Ultrasonics<br>± 0.1% | load Fluid<br>ground water    |
| Temperature Sensor | ± 0.2℃                | each line                     |

### 2.2.2 데이터 분석

히트펌프의 성능을 평가하는 지표로 COP (Coefficient of Performance)를 사용한다. COP는 냉방 및 난방 열량을 소비전력으로 나눈 값이다. 냉방시에는 증발기측 열량(증발열량)을 난방시에는 응축기측 열량(응축열량)을 COP 계산에 이용한다. 냉방 및 난방 COP는 식 (1)과 식(2)와 같다.

$$COP_h = \frac{Q_h}{W \times 860} \quad (1)$$

$$COP_c = \frac{Q_c}{W \times 860} \quad (2)$$

식 (1)과 식(2)에서 냉방 열량 및 난방 열량은 다음과 파 식 (3)과 식 (4)와 같다.

$$Q_h = \dot{m} c_p (T_{c_{out}} - T_{c_{in}}) \quad (3)$$

$$Q_c = \dot{m} c_p (T_{e_{in}} - T_{e_{out}}) \quad (4)$$

Table 4 Results of ground water analysis (Cheongju)

| 분석항목                                   | 검사기준<br>(생활용수) | 3월 8일  |        | 6월 1일 |       | 8월 29일 |       | 10월 25일 |       | 12월 8일 |       |
|--|----------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|
|  |                | IN     | OUT    | IN    | OUT   | IN     | OUT   | IN      | OUT   | IN     | OUT   |
| 벤젠                                     | 0.015이하        | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 톨루엔                                    | 10이하           | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 에틸벤젠                                   | 0.45이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 크실렌                                    | 0.75이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 아연(Zn)                                 | 1.50이하         | 0.461  | 0.43   | 0.543 | 0.466 | 0.482  | 0.524 | 1.003   | 0.169 | 0.866  | 0.123 |
| 철(Fe)                                  | 0.3이하          | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 0.5     | 0.12  | 0.2    | 불검출   |
| 알루미늄(Al)                               | 0.3이하          | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 0.07    | 0.05  | 0.03   | 불검출   |
| 염소이온(Cl <sup>-</sup> )                 | 250이하          | 22     | 22     | 20    | 21    | 19     | 22    | 23      | 23    | 19     | 21    |
| 질산성질소(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) | 200이하          | 16.472 | 16.391 | 7.9   | 8.4   | 8.4    | 9.6   | 16.5    | 16.7  | 12.5   | 13.9  |
| 페놀류                                    | 0.005이하        | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 시아니드(CN)                               | 불검출            | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 납(Pb)                                  | 0.10이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 0.09    | 불검출   | 0.04   | 불검출   |
| 카드뮴(Cd)                                | 0.01이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 망간(Mn)                                 | 0.3이하          | 0.02   | 0.02   | 0.043 | 0.027 | 0.036  | 0.037 | 0.015   | 0.019 | 0.018  | 0.017 |
| 비소(As)                                 | 0.05이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 0.019 | 불검출    | 불검출   |
| 6가크롬(Cr6+)                             | 0.05이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 수은(Hg)                                 | 불검출            | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 유기인                                    | 불검출            | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 1,1,1-트리클로로에탄                          | 0.15이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 테트라클로로에틸렌(PCE)                         | 0.01이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |
| 트리클로로에틸렌(TCE)                          | 0.03이하         | 불검출    | 불검출    | 불검출   | 불검출   | 불검출    | 불검출   | 불검출     | 불검출   | 불검출    | 불검출   |

히트펌프의 압축기 및 순환펌프의 소비전력은 다

음의 식들로 계산된다.

$$W_{cm} = \frac{I_{cm} V_{cm} \cos \phi}{1,000} \sqrt{3} \quad (5)$$

$$W_p = \frac{I_p V_p \cos \phi}{1,000} \sqrt{3} \quad (6)$$

### 2.3 수질검사

수질 오염은 SCW열원 지열히트펌프 시스템에서 가장 큰 문제점으로 오인되고 있다. 그래서 SCW 공법에서 주변 지하수 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 수질 검사를 수행하였다.

SCW방식의 열원 지열 히트펌프 시스템으로 냉난방 및 급탕을 사용하는 건물에 대하여 2005년 3, 6, 8, 10, 12월 5차례에 걸쳐 수질 검사를 실시하였다. 조사지역으로는 서울, 청주, 서산, 진주 4곳을 시행하였다.

검사를 위한 시료는 2차 열교환기로 유입되는 유입수와 열교환기에서 열교환후 지중으로 되돌아가는 배출수를 각각 4ℓ씩 채취하여 전문 검사기관인 한국수자원공사에 수질 분석을 의뢰하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 수질 검사 결과

Table 3은 2005년 청주 지역에서 5회 수행된 수질 검사의 결과를 나타낸 것으로 생활용수 검사 기준을 지표한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 대부분의 항목

(단위 : mg/L)

은 검출되지 않았으며, 검출된 몇 개의 항목도 히트

펌프의 운전으로 야기되었다기 보다는 지하수의 수위 변동에 의한 농도의 변화로 판단된다. 2차 열교환기의 입출구에서 미세한 함량변화가 있으나 이 또한 히트펌프의 운전과는 무관한 것으로 판단된다.

즉, SCW공법이 지하수를 오염시킨다는 선입견이나 편견과는 달리 연중 운전에도 지하수의 수질에는 변화가 없음을 확인할 수 있었다.

### 3.2 SCW의 온도

#### 3.2.1 심도에 따른 온도

Fig. 2는 히트펌프 운전하기 전에 관측공에서 심도에 따른 온도를 나타낸 것이다. 0m에서 12.5℃이며 심도가 깊어질수록 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 심도 400m에서 약 22.6℃ 정도이며, 450m에서는 24.8℃이다. 이 그래프를 1차 방정식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$y = 0.0247x + 12.56 \quad (1)$$

여기서,

$$y = \text{temperature } (^\circ\text{C})$$

$$x = \text{depth } (\text{m})$$

식 (1)을 적용하여 지중의 온도를 계산할 경우 지표면의 온도는 약 12℃ 전후이며 심도 100m 마다 약 2.5℃ 씩 상승하는 것을 알 수 있다.

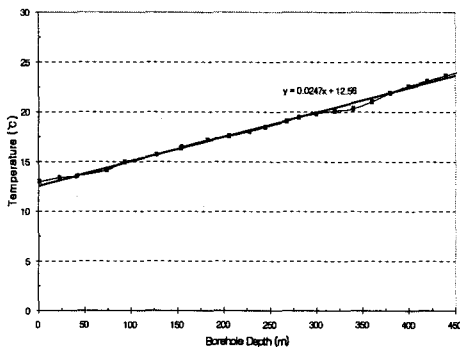


Fig. 2 Temperature variation according to borehole depth.

#### 3.2.2 시간에 따른 심도별 온도

Fig. 3은 2005년 3월부터 2005년 7월까지 관측공에서 심도 50, 200, 350과 400m에서의 온도와 외기 온도를 나타낸 것이다. 난방운전은 4월 11일부터 수행하였으며, 냉방운전은 5월 10일부터 수행하였다.

Fig. 3에서와 같이 히트펌프가 운전하지 않을 때에는 50, 200, 350, 500m에서 13.5℃, 17.1℃, 21.1℃, 24.8℃를 유지하고 있으나 4월 10일경 350m 지점의 온도가 갑자기 하강 한 것으로 나타났다. 이것은 난방을 시작하기 이전이므로 히트펌프의 운전과는 무관한 대수층의 유동에 의한 현상으로 판단된다.

6월 10일경에는 200m과 350m 지점에서 온도가 갑자기 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 히트펌프운전을 약 1개월 전에 시작하였기 때문에 히트펌프의 운전에 영향을 받은 수온의 변화로 판단된다. 200m와 350m에서 수온의 변화가 있는 반면 500m 지점에서는 온도변화가 전혀 나타나지 않았다. 이것은 수온의 변화가 암반의 전도에 의한 것이 아니고 히트펌프의 운전에 의해 온도가 상승한 지하수가 대수층을 통해 유동되었기 때문이다.

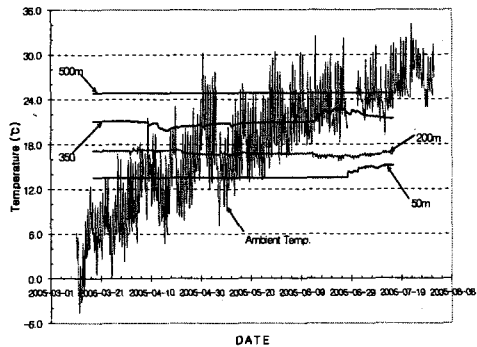


Fig. 3 Water and ambient Temperature variation according to time duration.

### 3.3 시스템의 난방성능 특성

전체 난방기간(2005년 12월 ~ 2006년 3월) 중 2005년 12월 11일부터 21일까지의 운전 데이터를 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 그림은 지중수의 입구온도(EWT), 실내측으로 공급되는 온수의 온도(ELT), 외기온도 및 실내 온도를 나타낸 것이다.

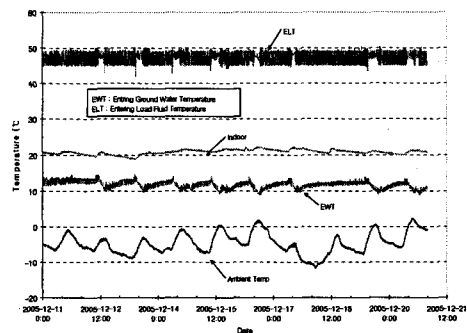


Fig. 4 Temperature variation during 10 continuous days in heating mode.

SCW에서 들어오는 온도는 12℃에서 10℃ 사이로 비교적 안정적인 온도를 유지하고 있으며, 부하측으로 공급하는 온수의 온도 또한 45~50℃로 매우 안정적인 것을 알 수 있다. 이 기간 동안 외기온도는

-10~0℃를 보이고 있지만, 실내의 온도는 20℃ 내외를 유지하는 것을 알 수 있으며, 이것은 적절한 용량 설계가 되었다는 의미한다.

Fig. 5는 운전기간 중 하루(12월 27일)를 선택하여 측정값을 나타낸 것이다. 1일 중 히트펌프가 주로 운전하는 9:00~18:00의 측정데이터를 히트펌프의 성능 계수(COP)와 함께 나타내었다.

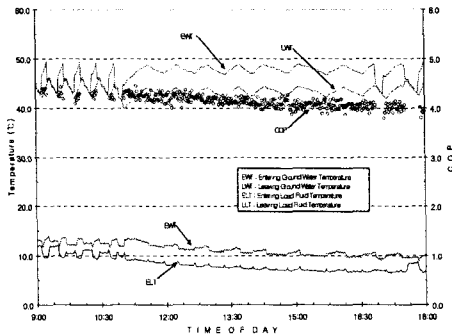


Fig. 5 Temperature and COP variation of heating mode.

지하수는 히트펌프의 운전 시간이 경과함에 따라 12℃에서 10℃로 낮아졌고, 실내로 공급되는 온수의 온도는 45~50℃를 유지하였다. 또한 히트펌프의 성능계수는 약 4.5에서 3.7로 낮아 졌다. 히트펌프의 성능계수는 열원의 온도(지중온도)에 의해 영향을 받음을 알 수 있다.

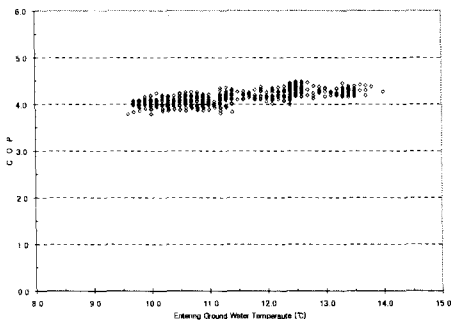


Fig. 6 COP variation according to entering water temperature in heating mode.

Fig. 6은 열원의 온도(지중온도)의 온도에 따른 성능계수의 변화를 나타낸 것이다. 지중의 온도가 14℃일 때 히트펌프의 성능계수는 약 4.3정도이며, 히트펌프가 난방 운전을 함에 따라 지중의 온도 8℃로 하강하였다. 이때 히트펌프의 성능계수는 약 3.7로 나타났다. 즉 응축온도가 같은 경우 지중온도가 높으면 성능계수는 높아지고, 지중온도가 낮아지면 성능계수 또한 낮아지는 것을 알 수 있다.

### 3.3 시스템의 냉방성능 특성

전체 냉방기간(2005년 6월~2005년 8월) 중 2005년 8월 23일부터 31일까지의 운전 데이터를 분석하였으며 그 결과는 Fig. 7과 같다. 그림에서 EWT는 지중수의 입구온도, ELT는 실내측으로 공급되는 냉수의 온도를 나타낸 것이다.

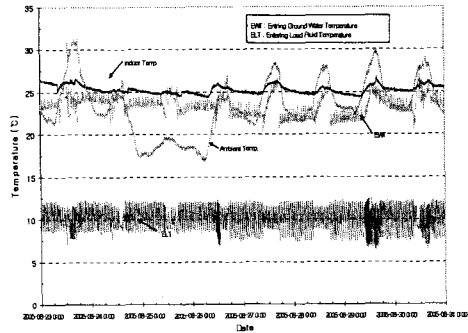


Fig. 7 Temperature variation during 8 continuous days in cooling mode.

SCW에서 들어오는 온도는 23℃에서 27℃ 사이로 비교적 안정적인 온도를 유지하고 있으며, 부하측으로 공급하는 온수의 온도도 12~6.5℃로 매우 안정적인 것을 알 수 있다. 이 기간 동안 외기온도는 23~32℃를 보이고 있지만, 실내의 온도는 25℃ 내외를 유지하는 것을 알 수 있으며, 이것은 적절한 용량 설계가 되었다는 의미한다.

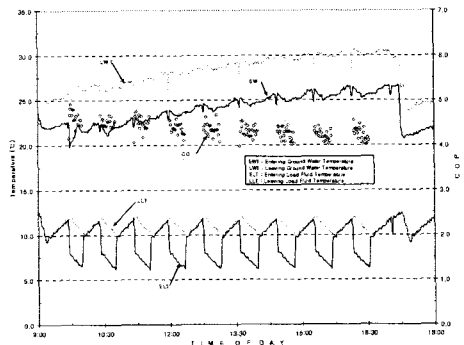


Fig. 8 Temperature and COP variation in cooling mode.

Fig. 8은 운전기간 중 하루를 선택하여 측정값을 나타낸 것이다. 1일 중 히트펌프의 가동 시간이 많은 9:00~18:00의 측정데이터를 히트펌프의 성능 계수(COP)와 함께 나타내었다.

지하수는 히트펌프의 운전 시간이 경과함에 따라 23℃에서 27℃로 상승하였고, 실내로 공급되는 온수의 온도는 6.5~12℃를 유지하였다. 또한 히트펌프의 성능계수는 약 4.8에서 4.0로 낮아 졌다. 이와 같

은 결과로 보아 히트펌프의 성능계수는 응축온도(지중온도)에 의해 영향을 받음을 알 수 있다.

Fig. 9는 응축온도(지중온도)에 따른 성능계수의 변화를 나타낸 것이다. 지중의 온도가 22℃일 때 히트펌프의 성능계수는 약 4.8정도이며, 히트펌프가 냉방 운전을 함에 따라 지중의 온도 27℃로 상승하였다. 이때 히트펌프의 성능계수는 약 4.2로 나타났다. 즉 증발온도(실내 공급온도)가 같을 경우 지중온도 낮으면 성능계수는 높아지고, 지중온도가 높아지면 성능계수는 낮아진다는 것을 알 수 있다.

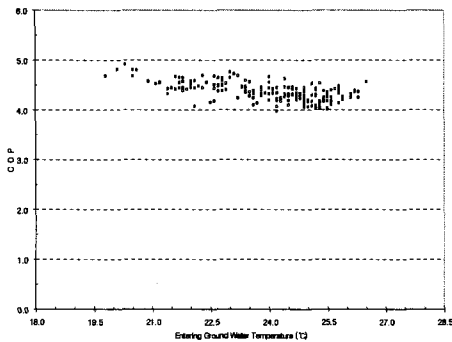


Fig. 9 COP variation according to entering water temperature in cooling mode.

#### 4. 결론

본 연구는 SCW 지열원 히트펌프 시스템을 설치하여 연 중 데이터를 측정 분석하여, SCW의 심도별 온도, 냉난방 운전 특성 및 성능 계수에 대한 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) SCW의 심도 따른 온도는  $y = 0.0247x + 12.56$ 로 나타낼 수 있으며, 외기온도의 변화에 따른 변화는 없다는 것을 확인하였다.
- (2) 본 시스템에서 난방 성능계수는 3.7~4.5로 나타났다, 히트펌프의 성능에 영향을 미치는 지중수의 온도는 8~10℃로 안정성을 보였다. 그리고 난방시 지중수의 온도가 높을수록 성능계수도 높아지고, 지중수의 온도가 낮아지면 성능계수도 낮아짐을 확인 할 수 있었다.
- (3) 본 시스템에서 냉방 성능계수는 4.2~4.8로 높은 성능을 보였으며 냉방시 지중수의 온도가 낮을수록 성능계수도 높아지고, 지중수의 온도가 높아지면 성능계수도 낮아짐을 확인 할 수 있었다.
- (4) SCW 지열원 히트펌프를 적용한 냉난방 시스템에서 냉, 난방 성능을 분석한 결과 지속적인 운전에도 지중수의 온도변화는 아주 적었고 히트펌프가 안정적으로 운전되고 있음을 확인하였다.
- (5) 연중 5차례의 수질검사 결과 지하수의 수질은 히

트펌프의 운전에 의한 어떠한 화학적, 물리적 변화가 없었으며, 이와 같은 결과에서 SCW 지열원 방식이 지하수 오염을 야기시키지 않음을 확인하였다.

본 연구는 개방형에 대표적인 SCW 지열원 히트펌프 시스템을 대상으로 한 성능분석을 수행하였고, 향후 다양한 종류의 지열원 시스템을 대상으로 한 체계적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 바닥 난방을 선호하는 국내 문화 환경 특성에 적합한 효율적인 지열원 히트펌프의 개발이 필요하며 지열히트펌프의 적극적인 보급이 이루어지기를 기대한다.

#### References

- [1] 김현진, 동용승, 2004, "에너지확보를 둘러싼 신국제 질서: 전망 및 시사점", 2004 Issue Paper.
- [2] Kevin Rafferty, 1997, "Design aspects of commercial open-loop heat pump systems", Geo-Heat Center, 3201 Campus Drive Klamath Falls, OR 97601
- [3] Zheng Deng, 2004, "Modeling of Standing Column Wells in Ground Source Heat Pump System", Submitted to the Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University, December, 2004.
- [4] C. D. Orio, 1994, "Geothermal Heat Pumps and Standing Column Wells", Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 18, pp 375-380.