

# 다수의 히트펌프로 구성된 냉난방시스템에서 하절기 히트펌프의 최적운전에 관한 연구

論 文

55P-1-7

## A Study on Optimal Operation of Summer Season Cooling System with Numbers of Heat Pumps

申 寬 雨<sup>†</sup>  
(Kwan-Woo Shin)

**Abstract** - Heat-pump system has a special feature that provides heating operation in winter season and cooling operation in summer season with a single system. It also has a merit that absorbs and makes use of wastewater heat, terrestrial heat, and heat energy from the air. Because heat-pump system uses midnight electric power, it decreases power peak load and is very economical as a result.

By using the property that energy source is converted to low temperature when losing the heat, high temperature energy source is used to provide heating water and low temperature energy source is used to provide cooling water simultaneously in summer season.

This study made up a heat-pump system with 4 air heat sources and a water heat source and implemented the optimal operation algorithm that works with numbers of heat pumps to operate them efficiently. With the heat-pump system, we applied it to cooling and heating operation in summer season operation mode in a real building.

**Key Words** : Heat-pump system, Midnight electric power.

### 1. 서 론

우리나라는 에너지 자원이 부족한 국가임에도 불구하고 경제발전에 따른 에너지의 사용은 나날이 증가하고 있다. 에너지 자원을 효율적으로 사용하고 전력의 첨두부하를 감소시키면서 전력을 효율적으로 사용하는 방법으로 심야전력을 이용한 히트펌프시스템의 활용이 에너지 사용의 효율 면에서나 경제적인 면에서 상당히 각광을 받고 성장하는 분야이다.

히트펌프시스템은 단일 시스템으로 건물의 난방 및 냉방운전을 할 수 있는 특징을 갖고 있다. 목욕탕 등의 생활폐수로부터 열에너지를 흡수하여 에너지를 재활용함으로써 에너지의 절약효과를 크게 하며, 생활폐수열 뿐만 아니라 지열, 공기 중의 열에너지를 흡수하여 난방을 공급함으로써 다양한 에너지를 활용한다는 장점도 있다. 또한, 에너지원으로부터 고온의 에너지를 취함으로써 에너지원은 열을 잃어 저온으로 변환되는 성질을 이용하여 고온의 에너지원은 목욕탕 등의 급탕용 온수를 공급함과 동시에 저온의 에너지는 냉방을 공급함으로써 여름철 급탕과 냉방을 동시에 공급하는 이중의 효과를 얻을 수 있다.[1-5]

본 연구에서는 4대의 공기열원 히트펌프와 1대의 수열원 히트펌프로 구성된 복합히트펌프 시스템에서 다수의 히트펌프를 효율적으로 운전할 수 있는 최적운전 알고리즘을 구현하여 실제 건물에 적용하여 실험 한 것으로 하절기 운전모드

인 건물의 냉방 및 급탕 운전에 대하여 실험을 하였다.

### 2. 히트펌프 시스템의 구성 및 운전특성

히트펌프시스템은 심야전력을 이용하여 하절기에는 냉방 및 급탕용으로, 춘추동절기에는 난방 및 급탕용으로 에너지원을 공급 할 수 있는 시스템이다.

본 연구에서 히트펌프시스템의 구성은 그림 3과 같이 수열원 히트펌프 1대, 공기열원 히트펌프 4대, 냉온수축열조, 급탕축열조, 춘추동절기에 생활폐수로부터 에너지를 재활용 하기 위한 설비로 폐열회수조, 폐열회수기, 여과장치, 폐수조 등으로 구성되어 있다.

심야전력으로 공기열원 및 수열원 히트펌프를 가동하여 냉온수축열조에 냉수를 저장하며, 수열원 히트펌프가 냉수를 발생할 때 얻어지는 온수를 급탕축열조에 저장한다. 건물의 냉방이 필요할 때에는 냉온수축열조에 저장된 냉수를 이용하여 건물을 냉방하며, 객실의 욕실과 목욕탕에 급탕을 공급할 시 급탕축열조로부터 온수를 공급받는다. 수열원 히트펌프는 냉방용 냉수와 급탕을 모두 공급하고 공기열원 히트펌프는 냉방용 냉수만을 공급한다.

히트펌프 시스템의 축열조는 최대 축열부하량의 약 60%정도로 설계되어 있으며, 여름 또는 겨울에 열부하량이 클 때는 주간에도 히트펌프를 가동하여 냉난방부하에 열량을 공급하는 부분축열방식에 의해 운전된다.

하절기의 운전방식은 그림1과 같은 시스템 구조로 부분축열방식에 의해 냉방 및 급탕을 최적으로 공급하기 위해서는 다음과 같은 운전방식이 되어야 한다.

① 히트펌프 운전은 각 축열조에 축열을 위한 가동/정지 두가지 모드로 운전된다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 公州大學交 情報工學部 BK教授 · 工博

E-mail : skw@kongju.ac.kr

接受日字 : 2005년 10월 21일

最終完了 : 2006년 12월 29일

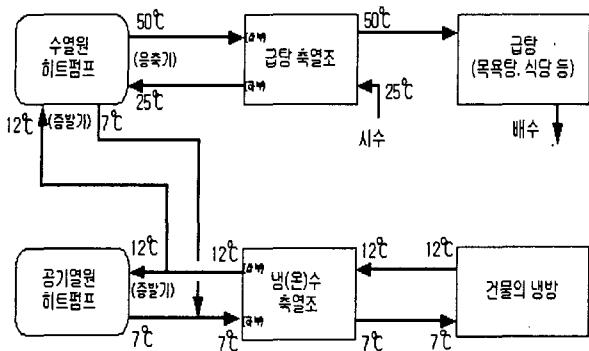


그림 1 히트펌프의 하절기 운전모드 흐름도

Fig. 1 The flowchart of heat pump operation mode in summer season.

② 축열조의 부분축열로 주간에 히트펌프가 열량을 부하에 공급할 경우 히트펌프에 의해 공급되는 열량은 축열조에 축열된 후 부하에 공급되므로 히트펌프가 열량을 공급하는 시각과 공급된 열량이 부하로 공급되는 시각에는 시간지연이 발생한다. 축열조의 열량전달 지연시간을 고려하여 부하열량을 공급할 수 있도록 운전되어야 한다.

③ 하절기 수열원 히트펌프는 냉방용 냉수와 급탕용 온수를 모두 공급하고 공기열원 히트펌프 시스템은 냉수만을 공급한다. 냉온수축열조에 열량이 가득차고 급탕축열조에 열량이 가득차지 않으면 냉온수축열조에 열량이 가득차여 있으므로 수열원 히트펌프를 가동할 수 없게 되어 급탕축열조에 열량을 가득 채울 수 없다. 즉, 급탕축열조에 열량이 가득 차서 수열원 히트펌프가 가동될 수 없더라도 공기열원 히트펌프에 의해 냉온수축열조를 채울 수 있다. 이러한 이유에 의해 급탕축열조에 열량이 충분히 축열될 수 있도록 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프의 조합을 적절하게 운전되어야 한다.

## 2.1 히트펌프의 운전 특성

히트펌프의 각 사양 및 운전특성은 다음과 같다.

### 2.1.1 히트펌프 사양

#### ① 수열원 히트펌프

- 냉각능력/난방능력 : 417,960kcal/hr / 637,300kcal/hr
- 냉수 입출구온도 조건 : 12°C / 7°C
- 온수 입출구온도 조건 : 45°C / 50°C

#### ② 공기열원 히트펌프

- 냉각능력/난방능력 : 302,400kcal/hr / 318,600kcal/hr
- 냉수 입출구온도 조건 : 12°C / 7°C
- 온수 입출구온도 조건 : 45°C / 50°C

### 2.1.2 히트펌프의 운전 특성

① 응축기 및 증발기의 입·출구 온도의 차가 적을수록 히트펌프의 성능은 낮아진다.

② 증발기의 입구온도가 7°C이하(춘추동절기에는 20°C)가 되거나 응축기 입구온도가 50°C 이상이 되면 히트펌프를 정지하여야 한다.

③ 히트펌프를 가동할 때 3분 이상 냉·온수를 순환시킨 후 가동한다.

④ 히트펌프를 정지할 때 정지한 후에 3분 이상 냉온수를

순환시킨다.

⑤ 히트펌프는 가동한 후에는 3분 이상을 가동하며 정지후에는 3분 이상을 정지한 후에 재가동한다.

## 2.2 축열조의 운전 특성

설치된 축열조의 사양 및 운전특성은 다음과 같다.

### 2.2.1 냉온수 축열조

① 총 10개의 축열조를 한 세트로 구성하였다.

② 축열조의 총 축열용량은 8,899,625kcal 이다.

③ 축열조의 축열량 측정을 위한 센서는 1번째와 10번째 축열조의 상·중·하에 각각 온도센서를 2번째에서 9번째까지의 축열조에는 각 1개씩의 온도센서를 부착하여 온도를 측정한다.

### 2.2.2 급탕 축열조

① 총 2개의 축열조를 한 세트로 구성하였다.

② 축열조의 총 축열용량은 4,870,800kcal 이다.

③ 축열조의 축열량 측정을 위한 센서는 각 축열조의 상·중·하에 각각 온도센서를 부착하여 온도를 측정한다.

### 2.2.3 축열열량 계산

#### ① 냉온수 축열조

• 각 축열조의 측정온도를  $T_i$ 는  $i$ 번째 축열조의 중심온도,  $T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}$ 는  $i$ 번째 축열조의 상·중·하 온도라 하고 각 축열조의 부피를  $V_i$ 라 할 때 냉온수축열조 축열열량  $Q$ 는식(1)과 같다. 단,  $K$ 의 단위는 kcal/m<sup>3</sup> · °C이다.

$$Q = K \left[ \frac{T_{i1} + T_{i2} + T_{i3}}{3} V_i + \sum_{i=2}^9 T_i V_i + \frac{T_{101} + T_{102} + T_{103}}{3} V_{10} \right] \quad (1)$$

#### ② 급탕 축열조

•  $T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}$ 는  $i$ 번째 축열조의 상·중·하 온도라 하고 각 축열조의 부피를  $V_i$ 라 할 때 급탕축열조 축열열량  $Q$ 는식(2)과 같다. 단,  $K$ 의 단위는 kcal/m<sup>3</sup> · °C이다.

$$Q = K \left[ \sum_{i=1}^2 \frac{T_{i1} + T_{i2} + T_{i3}}{3} V_i \right] \quad (2)$$

### 2.2.4 축열열량의 전달지연시간

냉·난방시스템은 히트펌프에서 전달되는 열부하가 축열조에 전달된 후 축열조로부터 부하에 전달되는 열전달 지연구조를 갖고 있다. 열부하에 냉난방의 열량을 전달하기 위해서는 열전달 지연시간을 고려하여 미리 열량을 공급해야 한다.

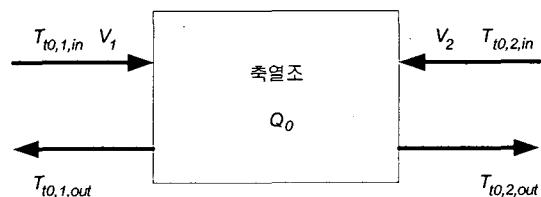


그림 2. 축열조 열량의 입·출력 관계

Fig. 2 The relationship of input/output of calorific power for storage tank.

시각  $t_0$ 에서 축열조에 그림2와 같이 히트펌프로부터 공급되는 입·출력온도가  $T_{t0,1,in}, T_{t0,1,out}$ 이고 단위시간동안에 입력되는 체적을  $V_1$ 이라 하고 부하로 공급되는 입력온도가

입·출력온도가  $T_{t0,2,in}$ ,  $T_{t0,2,out}$ 이고 단위시간동안에 입력되는 체적을  $V_2$ 라 하며 이 시각에 축열조에 축열되어 있는 축열열량을  $Q_{st,0}$ 라 하자. 시각  $t_1$ 에서 대응되는 각각의 데이터를  $T_{t1,1,in}$ ,  $T_{t1,1,out}$ ,  $T_{t1,2,in}$ ,  $T_{t1,2,out}$ 이고  $Q_{st,1}$ 이라 하자.

시각  $t_0$ 에서 축열조에 입·출력되는 열량  $Q_{t0,in}$ ,  $Q_{t0,out}$ 은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} Q_{t0,in} &= \rho (T_{t0,1,in} - T_{t0,1,out}) \cdot V_1 \\ Q_{t0,out} &= \rho (T_{t0,2,in} - T_{t0,2,out}) \cdot V_2 \end{aligned} \quad (3)$$

시간  $\Delta t = t_1 - t_0$ 시간동안 히트펌프로부터 축열된 축열열량  $Q_{in}$ 과 부하로 공급된 열량  $Q_{out}$ 은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \frac{(Q_{t0,in} + Q_{t1,in})}{2} \times \Delta t \\ Q_{out} &= \frac{(Q_{t0,out} + Q_{t1,out})}{2} \times \Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

열에너지 평형식에서 식(5)과 같이 되며 히트펌프로부터 공급되는 열량에 의한 축열조 열량 변화율은 식(6)과 같다.

$$Q_{in} + Q_{st,0} = Q_{out} + Q_{st,1} \quad (5)$$

$$\frac{dQ_{st}}{dt} \doteq \frac{Q_{st,1} - Q_{st,0}}{\Delta t} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{\Delta t} \quad (6)$$

축열조가 열적 성층화가 이상적으로 이루어져 있다면  $Q_{in}$ 의 입력에 대하여 최하부에서 최상부까지 열이 충분히 채워지기 위한 지연시간  $t_{del}$ 은 식(7)을 만족하며 이를 계산하면 식(8)과 같다. 또한, 히트펌프로부터 공급되는 열량은 축열조 지연시간  $t_{del}$  이후에 부하로 공급될 수 있다.

$$\frac{dQ_{st}}{dt} \times t_{del} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{\Delta t} \times t_{del} = Q_{in} \quad (7)$$

$$t_{del} = Q_{in} \times \frac{\Delta t}{Q_{in} - Q_{out}} \quad (8)$$

### 2.3 하절기 운전제어 조건

하절기의 냉방시스템은 그림 3과 같이 시스템을 구성하여 운전한다. 시스템의 운전제어는 다음과 같다.

① 공기열원 히트펌프는 심야에 외부공기로 응축열을 배출하면서 증발기에서 7°C의 냉수를 생산하여 냉온수축열조에 냉수를 저장한다.

② 수열원 히트펌프는 응축기배열을 50°C의 온수를 생산하여 급탕축열조에 온수를 저장하면서 증발기에서 7°C의 냉수를 생산하여 냉온수축열조에 냉수를 저장한다.

③ 냉온수축열조에 저장된 냉수는 7°C로 건물의 냉방을 위해 공급한다.

④ 급탕축열조에 저장된 온수는 50°C로 목욕탕등에 공급된다.

⑤ 수열원/공기열원 히트펌프 중 수열원 히트펌프를 우선하여 가동한다.

<이유> 수열원 히트펌프는 냉수와 급탕을 모두 공급하고 공기열원 히트펌프는 냉수만을 공급한다. 냉온수축열조에 열량이 가득차고 급탕축열조에 열량이 가득차지 않으면 냉온수축열조에 열량이 가득차여 있으므로 수열원 히트펌프를 가동할 수 없게 되어 급탕축열조에 열량을 가득 채울 수 없다.

⑥ 심야전력을 이용하여 축열조에 열량을 충분히 저장한

후 주간에 사용하며 필요시 주간에도 히트펌프를 가동하여 최소화하여야 한다.

⑦ 히트펌프는 가동 후에는 적어도 15분 이상을 가동하며, 정지 후에는 15분 이상을 정지한 후 재가동한다.

⑧ 수열원 히트펌프는 냉온수축열조로부터 유입되는 냉수가 증발기입구에서 온도가 7°C보다 낮거나 급탕축열조로부터 유입되는 온수가 응축기입구에서 온도가 50°C보다 높으면 히트펌프를 보호하기 위해 무조건 정지하여야 한다.

⑨ 공기열원 히트펌프는 냉온수축열조로부터 유입되는 냉수가 증발기입구에서 온도가 7°C보다 낮으면 무조건 정지하여야 한다.

### 3. 하절기 히트펌프의 최적운전

하절기에 수열원 히트펌프는 냉방용 냉수와 급탕용 온수를 모두 공급하고 공기열원 히트펌프는 냉방용 냉수만을 공급한다.

수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프를 다음의 조건에서 운전하는 것을 원칙으로 한다.

• 공기열원 히트펌프와 수열원 히트펌프를 가능한 한 동일한 시간대에 가동되도록 한다. 이는 운전원이 동일시각에 가동되면 관리에 편리하기 때문이다.

• 4대로 구성되어 있는 공기열원 히트펌프는 가능한 한 운전대수를 높여서 운전하여 짧은 시간안에 축열작업을 끝내도록 한다.

시각  $t_0$ 에서 수열원 히트펌프가 급탕축열조에  $Q_{0,W,H}$ , 냉온수축열조에  $Q_{0,W,L}$ 의 열량을 공급하고 있고, 공기열원 히트펌프 1대가  $Q_{0,A}$ 의 열량을 공급하고 있고  $t_1 = t_0 + \Delta t$ 에 각각  $Q_{1,W,H}$ ,  $Q_{1,W,L}$ ,  $Q_{1,A}$ 를 공급한다고 하자. 그러면, 수열원 히트펌프가 단위시간동안 급탕축열조와 냉온수축열조에 열량을 공급하는 능력  $\Delta Q_H$ 와  $\Delta Q_L$ 는 식(9), 식(10)과 같다.

$$\Delta Q_H = \frac{Q_{1,W,H} + Q_{0,W,H}}{2 \cdot (t_1 - t_0)} = \frac{Q_{1,W,H} + Q_{0,W,H}}{2 \cdot \Delta t} \quad (9)$$

$$\Delta Q_L = \frac{Q_{1,W,L} + Q_{0,W,L}}{2 \cdot (t_1 - t_0)} = \frac{Q_{1,W,L} + Q_{0,W,L}}{2 \cdot \Delta t} \quad (10)$$

또한, 공기열원 히트펌프 1 대가 단위시간동안 냉온수축열조에 열량을 공급하는 능력은  $\Delta Q_A$ 는 식(11)과 같다.

$$\Delta Q_A = \frac{Q_{1,W,A} + Q_{0,W,A}}{2 \cdot (t_1 - t_0)} = \frac{Q_{1,W,A} + Q_{0,W,A}}{2 \cdot \Delta t} \quad (11)$$

급탕축열조와 냉온수축열조의 최대축열용량을 각각  $Q_{H,VORM}$ ,  $Q_{L,VORM}$ 이라 하고, 시각  $t_0$ 에서 급탕축열조와 냉온수축열조의 축열량을 각각  $Q_{0,H}$ ,  $Q_{0,L}$ 이라 하자.

수열원 히트펌프 단독으로 급탕축열조와 냉온수축열조의 최대축열량을 채우는데 걸리는 시간  $T_H$ ,  $T_L$ 은 각각 식(12)와 식(13)과 같다.

$$T_H = \frac{Q_{H,VORM} - Q_{0,H}}{\Delta Q_H} \quad (12)$$

$$T_L = \frac{Q_{L,VORM} - Q_{0,L}}{\Delta Q_L} \quad (13)$$

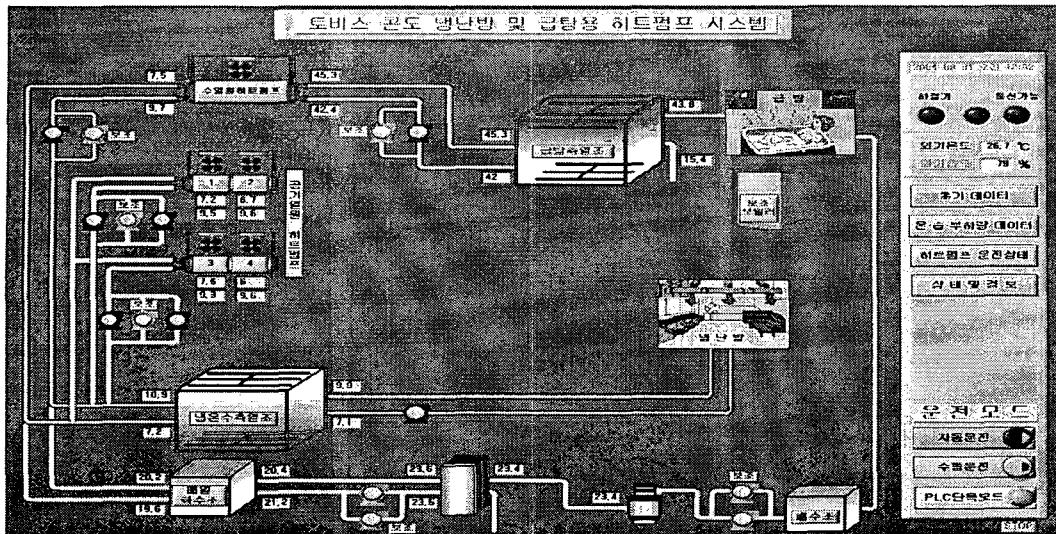


그림 3. 히트펌프 냉난방시스템 구성도

Fig. 3 A schematic diagram of the heat pump for an air-conditioning system.

### 3.1 $T_L \leq T_H$ 인 경우

이 경우는 수열원 히트펌프 단독으로 급탕축열조를 최대축열량으로 축열시키는 시간이 냉온수축열조를 최대축열량으로 축열시키는 시간보다 긴 경우로서 공기열원 히트펌프를 가동하지 않고 수열원 히트펌프만을 가동하여 급탕축열조와 냉수축열조에 열량을 공급하는 것으로 한다.

### 3.2 $T_L > T_H$ 인 경우

이 경우는 수열원 히트펌프 단독으로 냉온수축열조를 최대축열량으로 축열시키는 시간이 급탕축열조를 최대축열량으로 축열시키는 시간보다 긴 경우로서 수열원 히트펌프를 가동하여 급탕축열조와 냉온수축열조를 축열하면서, 수열원 히트펌프가 냉온수축열조를 최대축열량으로 축열시키지 못하는 열량만큼을 공기열원 히트펌프로 냉온수축열조에 축열시키는 것으로 한다.

## 4. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 MMI(Man Machine Interface)개발 소프트웨어로 National Instrument사의 LabView를 이용하여 그림3과 같이 화면을 구성하여 컴퓨터상에서 시스템의 동작 상태 및 제어가 가능하도록 하였다.[6]

히트펌프시스템을 설치한 건물은 경주에 신축한 00콘도로서 연면적 4,902평에 냉·난방면적 3,992평, 급탕공급면적 3,992평의 관광 숙박시설로 축열조의 구성은 냉온수 축열조 10개와 급탕 축열조 2개, 폐열회수조 그리고 폐수조로 구성되어 있으나, 하절기 운전시 사용되는 축열조는 냉온수 축열조 10개와 급탕축열조 2개이다. 데이터의 취득은 냉수축열을 하는 냉온수 축열조 1번, 5번 10번의 온도와 급탕축열조 1번, 2번의 상부 온도만을 실험결과 그래프로 나타내었다.

냉온수 축열조는 총 2,160Ton의 용량을 갖는 10개의 축열조로 구성이 되어있다. 하절기에는 냉수를 저장하여 냉방에 사용하고 춘추동절기에는 온수를 저장하여 난방에 이용한다. 하절기에는 수열원, 공기열원 히트펌프가 냉수축열에 이용되

나 춘추동절기에는 공기열원 히트펌프만으로 열에너지를 얻어 난방용 온수축열을 한다.

그림4는 냉온수축열조의 각 축열조 온도 및 수위를 나타내는 화면이다.

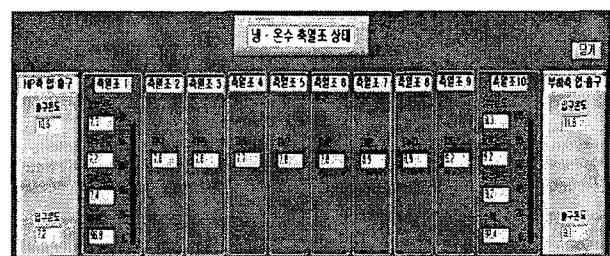


그림 4 냉온수 축열조 온도 및 수위 화면

Fig. 4 The screen of temperature and water level of hot and cold water storage tank.

급탕축열조는 총 400Ton의 용량을 갖는 2개의 축열조로 구성되어 있으며 하절기, 춘추동절기 구분없이 급탕을 저장한다. 오직 수열원 히트펌프에서만 열량을 얻는다. 그림5는 급탕 축열조의 온도 및 수위를 나타내는 화면이다.

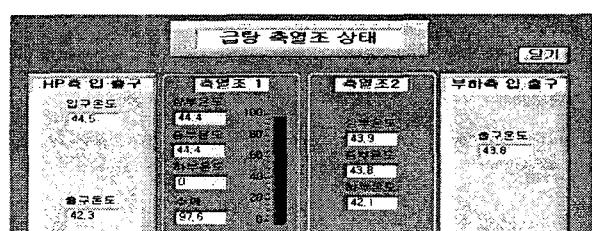


그림 5 급탕축열조 온도 및 수위 화면

Fig. 5 The screen of temperature and water level of hot water storage tank.

폐열회수용으로 사용되는 폐열회수조와 폐수조는 춘추동절기에만 사용하기 때문에 하절기 운전에서는 사용하지 않는다.

#### 4.1 경부하시 운전

하절기 경부하시 운전은 수열원 히트펌프가 급탕축열과 냉수축열을 동시에 하기 때문에 수열원 히트펌프를 우선으로 하나 급탕축열이 없을 시에는 냉수 축열만 필요한 경우에는 공기열원 히트펌프를 가동하도록 하였다. 그러나 운전결과 경부하시에는 수열원 히트펌프만이 동작을 하였다.

수열원 히트펌프 운전이 우선시 되는 이유는 하절기 운전 시 수열원 히트펌프는 급탕과 냉방을 모두 가능하지만 공기열원 히트펌프는 냉방에만 사용되기 때문이다. 그리고 히트펌프의 제한 온도가 있어서 냉방은 5°C 이하로 내려가거나 급탕 및 난방은 50°C 이상으로 올라가면 히트펌프에 알람이 발생하기 때문에 경부하시 운전은 그림6과 그림7에서 보듯이 급탕축열조와 냉수축열조의 온도가 자동운전 설정 조건인 급탕축열조 48°C, 냉수축열조는 7°C에 충족되자 새벽 3시경 수열원 히트펌프가 정지되었음을 알 수 있다.

외기온도가 높지 않아 냉방부하량이 적어 냉수축열조 사용량이 적었고, 급탕의 수요만 약간 있기 때문에 심야시간 축열량도 많지 않았고, 축열조 온도 변화도 적게 나타났다. 또한 수열원 히트펌프가 공기열원 히트펌프에 비해서 용량이 두 배이고 공기열원 히트펌프에 비해 성능계수 COP(Coefficient of Performance)[6]가 높기 때문에 같은 시간 운전을 하여도 적은 비용으로 많은 열을 회수할 수 있었다.

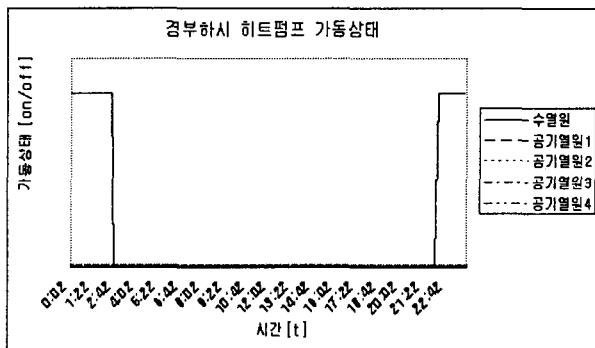


그림 6 경부하시 히트펌프 가동상태

Fig. 6 The operational status of heat pump with a low cooling load condition.

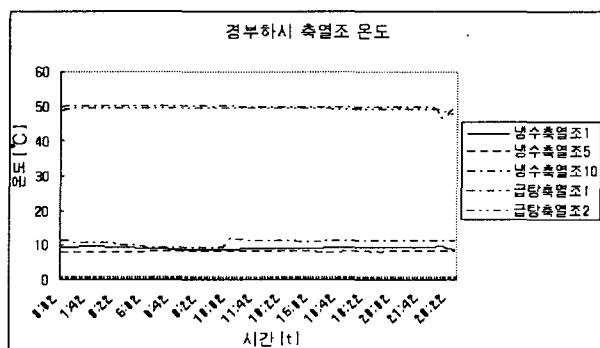


그림 7 경부하시 축열조 온도

Fig. 7 The temperature of storage tank with a low cooling load condition.

#### 4.2 중부하시 운전

하절기 중부하 운전시 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프가 동시에 가동을 하고 급탕축열조의 온도나 냉수축열조의 온도에 따라 운전을 한다. 수열원 히트펌프의 효율이 높아 수열원 히트펌프가 먼저 정지하는 경우가 실험결과 나타났다.

중부하시 운전은 급탕 및 냉수축열을 하는데 냉수축열이 수열원 히트펌프만으로는 부족할 경우 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프가 같이 동작을 하다가 급탕축열조가 목표온도에 도달하면 수열원 히트펌프는 가동을 정지하고 공기열원 히트펌프만 가동을 하여 냉수축열조에 냉수의 온도를 떨어뜨렸다.

그림8과 그림9에서 보듯이 경부하 운전과는 달리 공기열원 히트펌프가 수열원 히트펌프보다 가동을 오래하게 되는데 이것은 하절기의 급탕부하보다 냉방부하가 상대적으로 크기 때문이다. 특히 열대야 현상이 일어나면 심야시간에도 냉방부하가 크기 때문에 급탕축열조의 축열량에 비해 냉수축열 위주로 운전을 하게 되므로 공기열원 히트펌프가 주로 가동하는 특성이 나타났다.

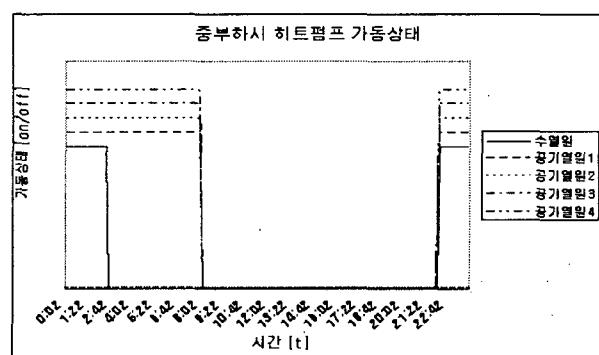


그림 8 중부하시 히트펌프 가동상태

Fig. 8 The operational status of heat pump with a mid cooling load condition.

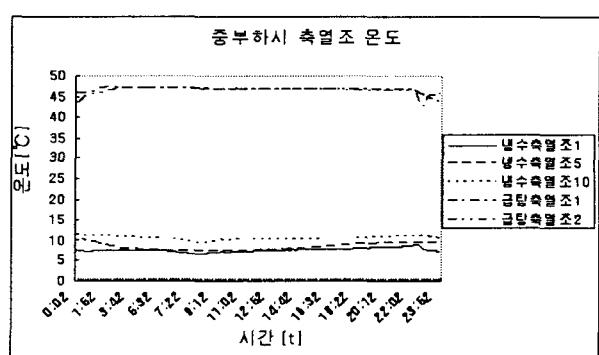


그림 9 중부하시 축열조 온도

Fig. 9 The temperature of storage tank with a mid cooling load condition.

#### 4.3 고부하시 운전

하절기 고부하시 운전은 심야시간 내내 수열원 및 공기열원 히트펌프를 모두 가동한다. 폭염과 열대야 현상이 지속적으로 일어나고, 휴가철에 따른 콘도에 숙박객이 늘어나서 냉

방부하와 급탕부하가 증가하여 냉수축열조와 급탕축열조의 열량의 소비가 많아 그림10과 같이 심야시간 내내 가동되는 상태가 발생한다.

고부하시 운전은 부하량이 급증하여 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프를 모두 심야시간 내내 가동을 한다. 운전원이 초기 데이터에서 주간에도 운전을 할 것인지에 대한 항목에 체크를 하였을 경우에는 부족 축열량에 따라 주간에도 운전을 하도록 하였으나, 그림10과 같이 주간 운전 조건(축열조의 축열량이 40% 이하로 떨어지는 경우)에 도달하지 않아 자동운전 모드에서는 주간에 히트펌프가 가동되지 않았다.

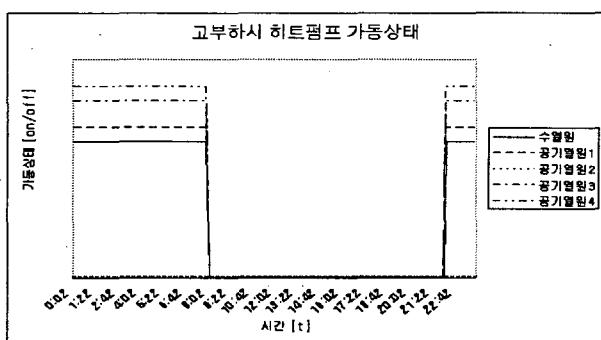


그림 10 고부하시 히트펌프 가동상태

Fig. 10 The operational status of heat pump with a high cooling load condition.

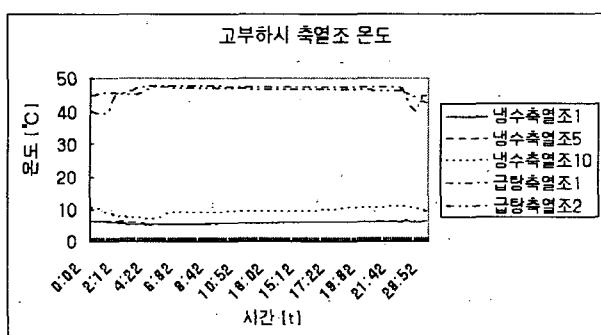


그림 11 고부하시 축열조 온도

Fig. 11 The temperature of storage tank with a high cooling load condition.

## 5. 결 론

본 연구에서 사용된 수축열식 히트펌프 시스템은 전력 수요가 적은 심야전력을 이용하여 건물의 냉난방을 담당하고 있어 국가적인 측면에서는 하절기 냉방부하에 따른 전력계통의 파크부하를 줄일 수 있고, 수용기측면에서는 저렴한 심야전력을 이용함으로써 매우 경제적이다. 심야전력을 이용하여 히트펌프를 가동하여 냉·온열을 발생시켜 축열조에 냉수 및 온수를 저장하여, 주간에 그 열을 이용하여 건물의 냉방 및 급탕을 공급하는 시스템으로서 빙축열 시스템과 달리 수축열 방식은 별도의 저온용액을 사용하지 않고 현열축열제인 물을 이용하여 환경친화적이고 방냉 효율도 높다. 또한 히트펌프를 이용한 수축열시스템은 비수축열 시스템에 비해 히트펌프

용량을 50%이하로 감소시키며 초기 수전공사비도 절감이 되고 월전기요금도 기본요금이 작아지며 특히 가격이 찐 심야전력을 이용하므로 매우 경제적이다. 고유가시대에 기름을 사용하지 않고 저가의 심야전력을 이용하여 급탕과 난방을 하므로 친환경적이고, 하절기 전력파크부하의 주 요인인 냉방부하를 수축열조를 이용하므로 전력계통의 안정적인 공급에 많은 도움이 된다.

기존의 단일종류의 히트펌프 구성이 아닌 본 논문에서는 수열원 히트펌프 1대와 공기열원 히트펌프 4대로 복합 구성된 히트펌프시스템의 병렬 운전에 따른 냉방에 필요한 냉수와 급탕용 온수를 안정적으로 공급할 수 있는 제어 알고리즘을 개발하여 실험한 결과 저·중·고부하시 공기열원 히트펌프와 수열원 히트펌프가 적절히 가동되어 매우 안정적인 냉방용 냉수와 급탕용 온수를 공급되는 것을 알 수 있었다.

차후에 동절기 운전모드에서 실험한 결과를 합쳐 일반적인 건물에서의 냉난방 운전과의 비교하여 히트펌프의 경제성 평가를 할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] V.D.Baxter, J.C.Moyers, "Field-Measured Cycling, Frosting, and Defrosting Losses for a High-Efficiency Air-Source Heat Pump", ASHRAE Transactions Volume 91, part 2B, pp537-554, 1985.
- [2] S.G.Penoncello, "Multiple Source Heat Pump Development at the University of North Dakota", International Journal of Refrigeration, Vol. 6, No. 1, pp21-24, 1982.
- [3] R.D.Heap, "American Heat Pumps in British Houses", Elektrarwarme Int. 35(A2), A77-A81, 1977.
- [4] T.G.N. haldane, "The Heat Pump an Economical Method of Producing Low-Grade Heat from Electricity", JIEEE 666-75, 1930.
- [5] 최병윤 외, "폐수열을 이용한 복합건물에서의 축열식 히트펌프 시스템 개발", 한국전력공사, 2004.
- [6] Jeffrey Y. Beyon, "Hands-on Exercise Manual for LabView Programming Data Acquisition and Analysis", National Instruments, 2000.

## 저 자 소 개



신·관·우 (申 寛 雨)

1971년 1월 4일생. 1996년 호원대 전기공학과 졸업. 공주대학교 전기공학과 대학원 석사(1998), 동대학원 박사(2003). 2003년~현재 공주대학교 정보통신공학부 BK 교수.

E-mail : skw@kongju.ac.kr