

## 생활배수열을 이용한 에너지절약형 냉방 및 급탕시스템

최병윤, 이경호, 주용진  
한전 전력연구원

### Cooling and Water Heating System for Energy Saving by Using Daily Waste Water Heat

Byoung-Youn Choi, Kyoung-Ho Lee, Young-Jin Joo  
Korea Electric Power Research Institute

#### 1. 서론

최근 국민소득이 증대되어 레저 및 스포츠에 대한 관심이 높아짐에 따라 사우나 및 수영장 등의 시설을 갖춘 에너지 다소비형 복합건물이 늘어나고 있다. 지금까지는 이러한 대형건물의 급탕을 주로 경유 및 가스보일러에 의존하여 왔으나, 최근 도심지 또는 관광지의 공해방지에 대한 규제가 강화되어 청정에너지로의 대체방안이 요구되고 있다.

일반적으로 히트펌프는 전기히터에 비하여 동일한 전력으로 2~4배의 열을 더 발생시킬 수 있어 우수한 에너지 절약기기로 각광받고 있으며, 전기히터에 의한 온수기를 히트펌프 시스템으로 대체하면 전력비용이 약 1/3로 줄어든다. 또한 히트펌프의 열원으로 건물에서 발생하는 배열을 활용하면 기기 성능이 향상되며, 하계에는 최대 전력량의 20%에 해당되는 냉방부하 증가에 따라 전력부족의 우려가 심각한 상황에서 주간전력을 심야로 유도할 수 있다.

한전 전력연구원에서는 목욕탕 배수열을 재활용하여 에너지를 절약하고 주간 냉방 전력피크부하를 심야로 전이할 수 있는 생활배수열이용 축열식 히트펌프 시스템을 개발하였으며, 한전 속초 생활연수원 건물을 대상으로 '94년도에 시범 적용하여 현재까지 운전중에 있다. 본 내용에서는 이 시스템에 대한 설명과 아울러 실제 적용에 따른 경제성 분석결과를 제시하고자 한다.

#### 2. 배수열 이용현황

복합건물에서 버려지는 배수열 현황을 조사하면 시스템 적용의 타당성을 검토할 수 있고 건물에 적합한 배열이용 시스템을 개발할 수 있다. 이용가능한 배열 활용 장소로 폐온수를 많이 사용하는 객실 목욕탕, 사우나, 대중탕, 샤워시설 등을 갖춘 건물로서 크게 호텔, 스포츠센터, 수영장, 골프장 등이 있다.

본 연구에서는 표본으로 대전 근교의 호텔 5개소, 스포츠 센터 2개소, 골프장

2개소, 수영장3개소의 4가지 유형을 조사하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 각 건물의 배수온도는 하절기에 28℃ - 31℃의 범위로 나타났으며, 동절기에는 목욕탕 이용객이 많고 이용온도도 높아 배수온도가 하절기보다 더 높다.
- (2) 조사된 건물 중 배열이용 축열식 히트펌프 시스템 적용대상으로는 냉방규모, 조건 및 급탕량을 고려할 때 스포츠 센터와 대형건물에 부속된 수영장 등이 최적이고 대중탕, 사우나 시설이 있는 호텔도 적정대상이다.
- (3) 본 연구의 시범적용 대상건물인 온천수의 온도가 30℃이하인 온천관광지 부근 호텔 및 여관도 배열이용 히트펌프 시스템으로 구성하면 경제적이다.
- (4) 현재 각 건물에 배수열 회수기가 설치되어 있으나 관리, 운용의 소홀로 인하여 사용되는 곳은 단 2곳(22.2 %) 뿐이었고 그로 인한 절약효과는 약 15%이다.

### 3. 적용대상별 적정시스템 설계

#### 3.1. 시스템 개요

생활배수열이용 축열식 히트펌프 급탕·냉방 시스템의 개요도가 Fig. 1에 나타나 있으며, 급탕용 급수는 각각 시수 또는 온천수를 이용하고 있다. 시스템은 배열활용으로 에너지 절약에 기여하는 춘·추·동계운전 모드와 에너지 절약 뿐만 아니라 축열식 냉방시스템으로 전력피크 감소에 기여하는 하계운전 모드로 구분되며, 구체적인 운용 과정을 살펴보면 다음과 같다.

##### (1) 춘추동계 운전모드

- 복합건물의 사우나와 샤워장 등에서 목욕후 배출되는 30℃의 배열수를 폐열수조에 저장
- 값싼 심야전력을 이용 히트펌프를 가동하여 증발기에서 축열조에 저장된 배열수를 열원으로 사용하고 하수로 배출
- 히트펌프 가동시 응축기에서는 이 열을 받아 온천수조에 저장된 30℃의 온천수(시수는 약 10℃)를 45℃까지 상온 시킴
- 온천수조에 저장된 45℃의 온천수(시수)를 보조급탕조에서 보일러를 이용 50℃까지 높인후 사우나와 샤워장 등의 급탕에 사용

##### (2) 하절기 운전모드

- 하절기에는 배열수를 이용하지 않고 하수로 배출
- 심야에 히트펌프 가동하여 증발기에서 냉축열조(배열수조를 이용)에 저장된 12℃의 시수를 7℃까지 저하시킴
- 주간에는 냉축열조에 저장된 7℃의 냉열을 건물냉방에 사용
- 히트펌프 가동시 응축기에서 발생하는 열을 온천수조에 저장된 온천수(시수)의 온도를 45℃까지 상온시킴
- 이 온천수(시수)를 하계시에는 온도를 높이지 않고 급탕에 직접 사용
- 온천수조 전체의 온도가 45℃ 이상으로 올라가서 배열이 불가능하면 냉방 운전이 지장이 없도록 냉각탑을 운전하여 이 열을 배출

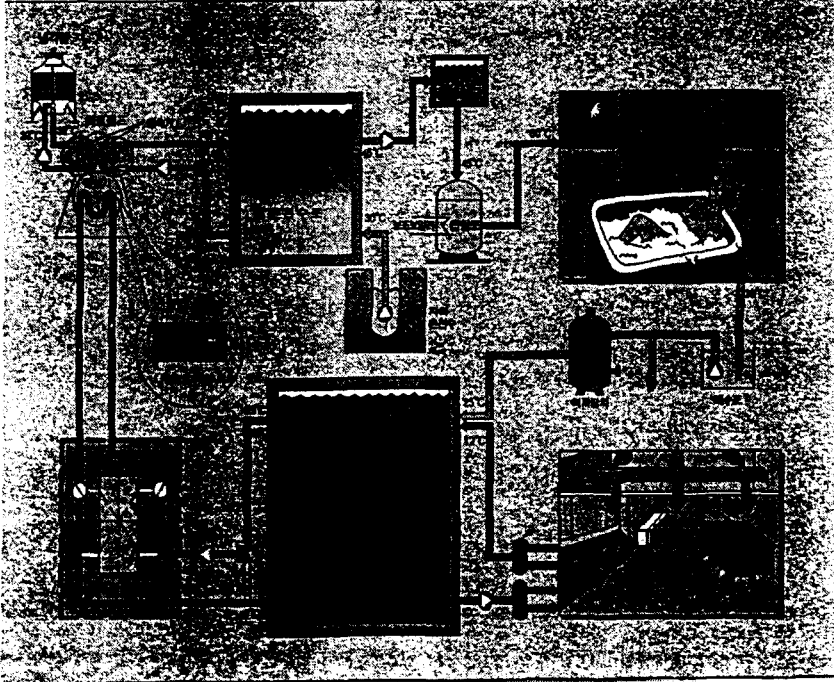


Fig. 1. Schematic of Thermal Storage Heat Pump System by Using Daily Waste Water

### 3.2. 적용대상별 시스템 설계기준

배열이용 축열식 히트펌프 시스템의 적용은 건물에 대중목욕탕이나 사우나 시설이 있어 동절기에 온수사용량이 많아 배수량이 많고, 하절기에 냉방부하가 큰 건물이면서 중앙공급에 의해 급탕과 냉방이 동시에 이루어 지는 건물이어야 효율가치가 크다고 볼 수 있다. 따라서 많은 온수를 소비하는 목욕탕이나 수영장을 포함하는 스포츠센터, 호텔, 골프장 등이 적용가치가 높은 것을 알 수 있다.

축열식 히트펌프 급탕·냉방 시스템의 적용 타당성 분석 및 시스템 설계시 다음과 같은 사항을 면밀히 고려하여야 한다.

- (1) 히트펌프가 담당하는 동.하절기의 급탕 및 냉방부하 크기
- (2) 동절기에 히트펌프가 감당할 급탕부하와 배수량 및 배수온도와의 관계
- (3) 하절기에 급탕부하와 냉방부하와의 관계
- (4) 공조방법 (중앙집중식이 유리)

규모가 큰 복합건물에서는 축열식 히트펌프 시스템으로 전체 급탕 및 냉난방 부하를 감당하는 것은 투자비가 크므로 경제적 측면에서 비효율적이다. 따라서 부하특성에 따라 축열식 히트펌프 시스템이 담당하는 부하를 합리적으로 결정하여야 하며, 부족한 부하는 기존방식으로 설계하는 것이 바람직하다.

#### 4. 속초 생활연수원 건물에 시범적용

본 시스템의 시범적용을 위한 대상건물은 한국전력공사에서 직원 휴양소로 건립하는 속초 생활연수원 증축건물로 선정하였다. 이 건물은 년중 계속해서 하루 평균 300명 정도가 이용하며, 사우나 시설은 물론 각 객실에 욕조와 샤워시설이 되어 있어 배열수가 많이 발생하는 건물이다.

이 건물은 정남향으로 위치한 지하 1층, 지상 5층 구조로 되어 있으며, 객실이 15평형 30실, 14평형 20실로서 총 50실의 건축면적 1540.7m<sup>2</sup>, 연면적 5335 m<sup>2</sup>, 냉방체적이 6871 m<sup>3</sup>인 콘크리트 조적조 건물이다. 현재 본 시스템은 속초 생활연수원 건물에 설치되어 '94년초부터 성공적으로 운전되고 있으며, 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 1년간 운전 성능측정 분석 및 경제성 평가를 수행하였다.

##### 4.1. 냉방·급탕 부하계산

건물의 냉방부하는 열전달의 여러 형태의 효과를 고려하여 아래와 같이 일반적인 냉방부하 산정방식에 의하여 각 열부하의 합으로 계산하였으며, 냉방부하가 가장 큰 7월의 경우, 일일 부하가 **2,302,401kcal/day** 로 나타났다.

급탕부하계산은 속초생활연수원이 휴양지인 점을 고려하여 호텔에서의 급탕사용량 기준인 1인당 일일 급탕사용량을 250ℓ로 하였고, 사용인원은 건물 최대 사용인원인 400명을 기준으로 하였다. 동절기에는 급탕온도는 온천수 온도를 31℃에서 60℃로 승온시킨 경우에 대하여 계산하면 **2,900,000kcal/day** 이며, 하절기에는 급탕사용량을 동절기의 50%로 하고, 온천수 온도를 33℃에서 60℃로 상온시킨 경우에 대하여 계산하면 **1,350,000kcal/day**으로 나타났다.

##### 4.2. 축열식 히트펌프 시스템 설계

속초 생활연수원 증축건물의 경우는 냉방부하가 그리 크지 않고, 별도의 보조냉방기가 없으며, 급탕이 부족한 경우 보조보일러로 충당이 가능하므로 시스템 용량은 냉방을 기준으로 산정하였다.

히트펌프 용량은 냉방부하가 가장 큰 7월의 피크일의 부하는 2,302,000kcal/day 이며, 냉축열조는 심야시간대에 최대 냉방부하의 약 50%를 담당하는 것으로 하고 운전시간을 10시간으로 가정하여 **40RT**로 산정하였다.

히트펌프는 정격출력 37kW의 스크류식 압축기를 사용하였으며, 응축기는 shell & tube식 구조로 하여 shell측의 냉매가 응축되고 전열관 내부로 냉각수 또는 온수가 흐르도록 하였다. 증발기는 만액식으로 하여 전열관 외측에서 냉매가 증발하고 냉수나 배열원수는 전열관 내부를 통과하면서 냉각된다.

냉축열조의 용량산정은 냉방부하를 충분히 만족하여야 하며, 축열조 용량산정 결과는 약 **220TON**으로 나타났다. 본 시스템에 사용한 축열조는 축열효율을 향상시키기 위하여 물의 비중차에 의한 일조식의 성층형으로 구성한 것이 특징이다. 이를 위하여 축열조에 연결되는 배관에는 축열조 내측에 원판형 디퓨저를 설치하였다. 축열조의 설치장소는 건물과 인접한 외부의 지중이고, 이중벽의 철근

콘크리트 구조로 이중벽 사이에 단열재를 삽입하였다.

배수저장조로 유입되는 배수의 원천이 되는 사우나와 객실 목욕탕에서는 약 80TON의 급탕을 사용하며, 목욕시 급탕된 온수와 시수인 냉수를 혼합하여 사용하므로, 실제 일일 배열수량은 온수(60℃ 기준)와 냉수(15℃ 기준)의 혼합비율을 0.8:1 로 산정하여 계산할 결과 132.7TON으로 나타났다. 배수저장조는 춘추동계 시 냉축열조로 사용한다.

히트펌프 응축기에서 공급하는 급탕축열조의 용량은 급탕기구 수량에 의하여 일일 급탕 사용시간을 대략 6시간으로 가정하였고, 급탕축열조 이용온도차는 히트펌프 출구온도인 최대급탕온도 50℃에서 온천수 온도인 30℃를 제한 20℃로 하였으며, 히트펌프 40RT에 대하여 심야시간 10시간 동안 가동시키는 조건으로 급탕축열조 용량을 80TON 으로 선정하였다.

히트펌프 증발기 열교환기에 배수가 유입됨에 따라, 장기간 운전하면 튜브 내에 부착된 오물로 인하여 히트펌프의 효율이 떨어져 효율적인 운전에 지장을 초래하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 스폰지 볼을 튜브내로 통과시켜 오물을 제거하는 자동세정장치를 개발하였다. 또한 배수저장조로 유입되는 배수는 머리카락 등 고체 물질의 오물을 미리 제거하여야 히트펌프 운전시 지장이 없게 되므로, 배수저장조 전단 배관에 오물을 제거하는 자동여과장치를 설치하였다.

#### 4.3. 시스템 성능측정 및 경제성평가

설계된 배수열이용 축열식 히트펌프 시스템을 시범적용하여 '94년초 부터 1년간 계측장치를 설치하여 시스템 성능을 측정하였으며, 그 결과를 토대로 시스템의 경제성을 평가하였다.

경제성평가를 위하여 <급탕> 및 <급탕 + 냉방> 기간으로 구분하여 각각에 대한 기존시스템과 축열식 히트펌프 시스템의 에너지 소비량을 계산하여 비교하였다. 경제성평가를 위하여 산출한 기존 냉동기와 보일러 시스템과 축열식 히트펌프 시스템과의 에너지 사용량에 따른 연간 에너지 소요비용은 Table 1과 같다.

경제성 분석에 입력된 추가 투자비용 및 운전비 절감액과 경제성인자는 다음과 같으며, 한전 속초생활연수원에 설치된 배수열이용 축열식 히트펌프 시스템의 경제성 분석결과는 약 1.2년으로 경제성은 대단히 좋은 것으로 나타났다.

- 히트펌프 시스템의 추가 투자비용 : 28,886천원
  - 터보냉동기 적용시 : 96,768천원
  - 히트펌프 시스템 적용시 : 147,254천원
  - 한전 지원금 : 21,600천원 (히트펌프 시스템 적용시)
- 히트펌프 시스템의 연간 운전비 절감액 : 24,730천원
  - 터보냉동기 적용시 : 32,877천원
  - 히트펌프 시스템 적용시 : 7,137천원
  - 연간 보수 및 탱크청소 비용 추가 : 1,010천원(히트펌프 시스템 적용시)

Table 1. Comparison of Operating Cost

냉동기 + 보일러 방식(기존)	히트펌프 + 온천수이용 방식(개선)
1) 전력기본요금 : 6,288천원 - 100kW×5,240원×12월	1) 전력기본요금 : 1,656천원 - 50kW×6,210원×24,538/55,210×12월
2) 하계 냉방요금 : 2,500천원 26,946kWh×92.8원(일반용 전력)	2) 하계 냉방요금 : 2,687천원 (심야전력) - 심야=30,672kWh×26.2원= 803천원 - 기타=24,538kWh×76.8원=1,884천원
3) 급탕 경유요금 : 24,089천원 가. 하절기(7~8월) : 2,598천원 - 5,414 l ×480원/l (경유연료비) 나. 기타계절(9~6월) : 21,491천원 44,774 l ×480원/l (경유연료비)	3) 급탕 전기요금 : 2,794천원 가. 하절기(7~8월) : 없음 나. 기타절기(9~6월) : 2,794천원 106,673kWh×26.2원 (심야전기료)
**년간 총 운전비용= 32,877천원	** 년간 총 운전비용 = 7,137천원
년간 운전비용 차이 : 32,877 - 7,137천원 = 25,740천원	

## 5. 결론

본 연구에서는 생활배수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 실용화를 위하여 배수열 이용 실태조사, 시스템의 구성, 용량산정 등에 대하여 고찰하였으며, 최종적으로 이 시스템의 보급 및 활용을 위한 경제성 분석을 수행하였다.

그 결과 본 시스템을 복합건물에 설치 운영하면 투자회수기간은 약 1.2년으로 경제성이 상당히 우수하며, 배수열이용 실태조사 결과 본 시스템의 적용 대상은 스포츠센터, 호텔 등 목욕탕이 부속된 대형건물이 유리한 것으로 나타났다.

국내에서 에너지원을 거의 전량 수입하고 있고 최근 외환위기에 처해 있는 국내 현실에 비추어 볼 때, 에너지를 절약할 뿐 만 아니라 하계 전력피크 감소에도 기여하는 본 시스템을 적극적으로 설치 및 보급하여야 한다.

## 참고문헌

1. Heat Pump Systems, John Wiley & Sons, 1983
2. 전전화 빌딩에 관한 연구(최종보고서), 한전 전력연구원, 1991.8
3. Utilities and Heat Pump Serving and Maintenance, IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol 10. 1992
4. 폐수열을 이용한 복합 건물에서의 축열식 히트펌프시스템 개발(최종보고서), 한전 전력연구원, 1995.3
5. 도심지 폐열이용 지역냉난방 사업 타당성 조사 연구(최종보소서), 한전 전력연구원, 1996.4