

# 생활배수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 적용사례

## An Application of Regenerative Heat Pump System by Using Daily Waste Water Heat

최 병 윤  
B. Y. Choi  
한전 전력연구원



· 1956년생  
· 축열식 냉난방 시스템 및  
히트펌프 응용분야에 관심  
을 가지고 있다.

### 1. 서 론

최근 국민소득이 증대되어 레저 및 스포츠에 대한 관심이 높아짐에 따라 사우나 및 수영장 등의 시설을 갖춘 에너지 다소비형 복합건물이 늘어나고 있으나, 이 건물에서 발생하는 양질의 폐수열을 제대로 활용하지 못하고 하수로 배출되고 있는 실정이다. 또한 하계에 최대 전력량의 20%에 해당되는 냉방부하의 증가로 인하여 전력부족의 우려가 심각한 상황에서 주간전력을 심야로 유도하기 위한 국가적인 노력이 필요한 시점이다.

이상과 같은 문제점을 해결하기 위하여 심야전력을 이용한 축열기술에 대한 관심이 커지고 있으며, 최근 일본등지에서는 폐수열을 이용한 시스템을 실용화하여 여름철의 첨두부하의 감소 및 심야전력의 수요창출의 효과를 보고 있다. 국내의 경우 아직까지 생활 폐수열을 이용한 연구기술이 공식적으로 발표된 바가 없어 이러한 시스템의 확대, 보

급을 위한 연구가 필요한 실정이다.

이에 따라 복합건물에서 발생하는 폐수열을 재활용하여 에너지를 절약하는 동시에, 냉방에 필요한 냉열을 심야전력으로 저장하여 주간에 사용할 수 있는 축열식 히트펌프 시스템의 적용사례를 제시하고자 한다.

### 2. 폐수열 이용현황

복합건물에서 버려지는 폐수열 현황을 조사하면 시스템 적용의 타당성을 검토할 수 있고 건물에 적합한 폐열이용 시스템을 개발할 수 있다. 이용가능한 폐열활용 장소로 폐온수를 많이 사용하는 객실 목욕탕, 사우나, 대중탕, 샤워시설 등을 갖춘 건물로서 크게 호텔, 스포츠 센터, 수영장, 골프장 등이 있다.

본 연구에서는 표본으로 대전 근교의 호텔 5개소, 스포츠 센터 2개소, 골프장 2개소, 수영장 3개소의 4가지 유형으로 조사하였고, 조사된 각 건물의 온·냉수 사용량 및 폐수

표 1 각 건물의 온·냉수 사용량(동절기) 및 폐수온도

건물	구분	급탕공급 온도 (℃)	온수 사용량 (m <sup>3</sup> )	냉수 사용량 (m <sup>3</sup> )	사용 시간	폐수온도 (℃)	동절기 이용객수 (인)
호텔 (여관)	AD	43	90	180	5:00-21:00	31	200
	HI	43	335	700	5:30-20:30	31	2,000
	HY	70	50	70	6:30-20:00	30	120
	GR	80	20	35	5:30-20:30	30	250
	BW	80	25	40	5:30-21:00	30	350
	MA	60	35	50	5:30-20:00	31	350
스포츠 센터	KS	60	145	180	5:30-20:30	30	1,700
	MS	60	58	78	6:00-21:00	29	1,065
골프장	KR	80	30	70	8:30-18:00	30	200
	YS	60	30	60	일출-일몰	29	150
수영장	HS	60	60	100	6:00-20:30	28	850
	OP	80	30	65	6:00-19:00	28	550
	NS	60	50	120	6:00-20:20	28	800

온도는 표 1과 같다.

표본건물에 대한 폐수열량 조사 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 각 건물의 폐수온도는 하절기에 28℃~31℃의 범위로 나타났으며, 동절기에는 목욕탕 이용객이 많고 이용온도도 높아 폐수온도가 하절기보다 더 높을 것으로 추측된다.

(2) 조사된 건물 중 폐열이용 축열식 히트펌프 시스템 적용대상으로는 냉방규모, 조건 및 급탕량을 고려할 때 스포츠 센터와 대형건물에 부속된 수영장등이 최적이고 대중탕, 사우나 시설이 있는 호텔도 적정대상이다.

(3) 본 연구의 시범적용 대상건물인 온천수의 온도가 30℃이하인 온천관광지 부근 호텔 및 여관도 폐열이용 히트펌프 시스템으로 구성하면 경제성이 확보될 수 있다.

(4) 현재 각 건물에 폐수열 회수기가 설

치되어 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

폐수를 축열식 히트펌프 급탕, 냉방 시스템의 개요도가 그림 1에 나타나 있으며, 급탕용 급수는 각각 시수 또는 온천수를 이용하고 있다. 시스템은 폐열활용으로 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 목욕 후 배출되는 30℃의 폐열수를 폐열수

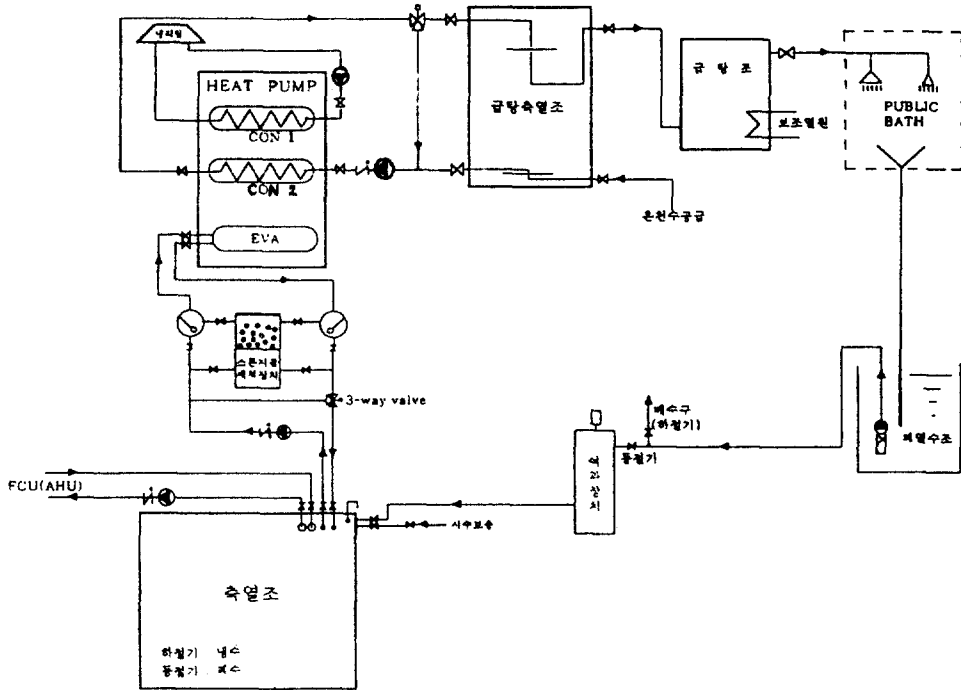


그림 1 폐수열이용 축열식 히트펌프 시스템 개요도(온천수 이용)

- 조에 저장
- 심야에 심야전력을 이용하여 히트펌프를 가동하고 증발기에서 축열조에 저장된 폐열수를 열원으로 사용하고 하수로 배출
  - 히트펌프 가동시 응축기에서는 이 열을 받아 온천수조에 저장된 30℃의 온천수(시수는 약 10℃)를 45℃까지 상승시킴
  - 온천수조에 저장된 45℃의 온천수(시수)를 보조급탕장에서 보일러로 50℃까지 높인 후 사우나와 샤워장 등의 급탕에 사용
- (2) 하절기 운전모드
- 하절기에는 폐열수를 이용하지 않고 하수로 배출
  - 심야에 히트펌프 가동하여 증발기에서 냉축열조(폐열수조를 이용)에 저장된 12℃의 시수를 7℃까지 저하시킴
  - 냉축열조에 저장된 7℃의 냉열을 주간

에 건물냉방에 사용

- 히트펌프 가동시 응축기에서 발생하는 열을 온천수조에 저장된 온천수(시수)의 온도를 높이는 데 사용함
- 이 45℃의 온천수를 하계시에는 온도를 높이지 않고 급탕에 직접 사용
- 온천수조 전체의 온도가 45℃ 이상으로 올라가서 배열이 불가능하면 냉방운전에 지장이 없도록 냉각탑을 운전하여 이 열을 배출

3.2 적용대상별 시스템 설계기준

폐열이용 축열식 히트펌프 시스템의 적용은 건물에 대중목욕탕이나 사우나 시설이 있어 동절기에 온수사용량이 많아 폐수량이 많고, 하절기에 냉방부하가 큰 건물이면서 중앙공급에 의해 급탕과 냉방이 이루어지는 건물이어야 효율가치가 크다고 볼 수 있다. 따라서 많은 온수를 소비하는 목욕탕이

나 수영장을 포함하는 스포츠 센터, 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 폐수량 및 폐수온도와와의 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.

예를 들면 건물부하 특성에 의하여 냉방부하가 급탕보다 지나치게 크면 냉방기준으로 설계시 히트펌프 용량과 축열조 크기가 너무 커서 비경제적이므로, 이 경우 동계 급탕부하를 기준으로 설계하고 부족한 냉방은 별도의 냉동기로 해결하는 것이 경제성을 확보할 수 있다.

급탕운전의 경우는 목욕탕에서 사용되는 급탕수가 목욕후 배출되어 폐열수가 되고 이 폐열수를 열원으로 히트펌프에 의하여 급탕수를 목욕탕에 공급하므로, 급탕온도 및 수량과 폐열온도 및 수량과는 상호 밀접한 연관관계가 있다. 따라서 필요한 급탕부하를 공급받을 수 있도록 폐열수량을 충분히 확보할 수 있도록 설계하여야 한다. 그 방법중의 하나로 각 객실 또는 방에 목욕탕 배수와 기타배수를 분리하여 시공하면 충분한 폐수량의 확보가 가능하다.

또한 하절기에는 히트펌프는 냉방과 급탕을 동시에 해결하는 데, 이 경우 급탕부하와

냉방부하의 열균형이 적절히 이루어져야 한다. 특히 하절기에는 계절관계로 급탕부하가 적어서 히트펌프의 용축기축이 급탕조로 열배출이 불가능 한 경우 별도의 냉각탑을 설치하여 냉방운전에 지장이 없도록 설계하여야 한다.

#### 4. 속초 생활연수원 건물에 시범적용

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

이 건물은 정남향으로 위치한 지하 1층, 지상 5층구조로 되어 있으며, 객실이 15평형 30실, 14평형 20실로서 총 50실의 건축면적 1540.7m<sup>2</sup>, 연면적 5335m<sup>2</sup>, 냉방체적이 6871m<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

##### 4.1.1 냉방부하 계산

건물의 냉방부하(Qc)는 열전달의 여러 형태의 효과를 고려하여 아래와 같이 일반적인 냉방부하 산정방식에 의하여 각 열부하의 합으로 계산하였다.

$$Q_c = \sum Q = Q_w + Q_{SOL} + Q_{SOL'} + Q_v + Q_p + Q_l$$

위식에서 Qc : 시간별 냉방부하(kcal/hr),

Q : 각종 시간별 냉방부하,

Qw : 외피 전열부하,

QSOL : 일사취득부하(투명 구조체),

QSOL' : 일사취득부하(불투명 구조체),

Qv : 환기에 의한 열부하,

Qp : 인체에 의한 열부하,

Ql : 조명에 의한 열부하이다.

냉방부하 계산결과 냉방부하가 가장 큰 7월의 경우, 부하가 2,302,401kcal/day로 나타났다.

4.1.2 급탕부하 계산

급탕부하계산은 속초생활연수원이 휴양지인 점을 고려하여 호텔에서의 급탕사용량 기준인 1인당 일일 급탕사용량을 250ℓ로 하였고, 사용인원은 건물 최대 사용인원인 400명을 기준으로 하였다. 동절기와 하절기의 급탕부하를 살펴보면 다음과 같다.

동절기에는 급탕온도를 60℃로 온천수의 온도를 31℃로 하였을 경우에 대하여 계산하면 2,900,000kcal/day로 나타났다.

$$Q_{water} = 250,000kg \times 4.2kJ/kg^{\circ}C \times (60 - 31)^{\circ}C \times 0.24Kcal/kJ = 2,900,000Kcal/day$$

4.2 축열식 히트펌프 시스템 설계

속초 생활연수원 증축건물의 경우는 냉방부하가 그리 크지 않고, 별도의 보조 냉방기가 없으며, 급탕이 부족한 경우 보조보일러로 충당이 가능하므로 시스템 용량을 냉방을 기준으로 산정하였다. 속초 생활연수원 증축건물과 같이 축열식 히트펌프 냉방·급탕 시스템을 냉방기준으로 설계하는 경우 검토하는 순서는 다음과 같다.

- (1) 우선 건물의 냉방부하량에 의하여 히트펌프와 냉축열조 용량을 결정한다.
- (2) 히트펌프 용량과 아울러 급탕부하와 폐열량을 종합적으로 분석하여 급탕조와 폐수저장조(냉축열조) 용량을 결정한다.
- (3) 만일 급탕부하가 히트펌프로 제공가능한 급탕용량보다 크면 히트펌프 공급가능한 급탕량을 기준으로 급탕조 용량을 결정하고, 부족분은 보조보일러 용량결정시 반영한다.
- (4) 만일 폐수저장조 용량이 냉축열조 용량보다 크면, (2)에서 폐수저장조를 냉축열조 용량으로 선정하여 급탕조 용량을 다시 결정하며, 급탕부하 부족분은 보조보일러 용량결정시 반영한다.

본 시스템의 효율적인 운용을 위하여 건물의 50개의 객실을 목욕탕배수와 주방 및 변기배수로 분리하여 배관하였으며, 폐수저장조에는 객실 50개의 목욕탕배수와 사우나배수가 유입되어 히트펌프의 열원으로 사용된다.

4.2.1 히트펌프 용량 산정

냉방부하가 가장 큰 7월의 피크일의 부하는 2,302,000kcal/day이며, 냉축열조는 심야시간대에 최대 냉방부하의 약 50% 정도를 담당하는 것으로 하고 10시간을 운전시간으로 가정한 히트펌프 기기의 용량은 40RT이다.

- 피크일 부하(냉방기준) : 2,302,000kcal/day
- 여유율 : 1.1
- 일일 총 운전시간 : 22시간 (야간:10시간, 주간:12시간)

$$Q = \frac{2,302,000kcal/day \times 1.1}{22Hr/day} = 132,400kcal/Hr(40RT)$$

본 히트펌프 시스템에 대한 설계조건을 표 2에 나타내었다. 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 폐열원수는 전열관 내부를 통과하면서 냉각되게 하며, 증발한 냉매 중에서 완전한 냉매증기만 압축기로 유입되도록 기액 분리를 증발기 상부에 설치하였다. 그리고 증발기로 냉매액과 함께 유입된 오일을 분리하는 오일분리기를 설치하였다.

4.2.2 냉축열조의 설계

냉축열조의 용량산정은 냉방부하를 충분히 만족하여야 하며, 축열조 용산산정 결과는 약 220TON으로 나타났다.

- 히트펌프 냉방용량 :

표 2 히트펌프 설계조건

항 목	단 위	규 격	항 목	단 위	규 격					
냉방 용량	Kcal /Hr	120,000(40R /T)	용량 제어	%	30~100(비례제어)					
급탕 용량	Kcal /Hr	130,000	냉매 종류	-	R 22(HCFC-22)					
냉 방	냉 수 조 건	입구/출구 온도	℃	12 / 7	급 탕 수 조 건	입구/출구 온도	℃	10 / 7		
		접속 배관경	A	65		접속 배관경	A	65		
		유 량	m <sup>3</sup> /H	24.2		유 량	m <sup>3</sup> /H	20.6		
		수 두 손 실	mAq	3.8		수 두 손 실	mAq	2.7		
	운 전	온 수 조 건	입구/출구 온도	℃	45 / 50	운 전	온 수 조 건	입구/출구 온도	℃	45 / 50
		접속 배관경	A	80	접속 배관경		A	80		
		유 량	m <sup>3</sup> /H	29.7	유 량		m <sup>3</sup> /H	26.0		
		수 두 손 실	mAq	3.2	수 두 손 실		mAq	2.4		

132,400kcal /Hr (40RT)

- 축열조 효율 : 95%(일조식 축열조)
- 축열조 이용온도차 : 5℃
- 심야전력 이용시간 : 10Hr
- 심야부하 : 272,000Kcal

$$V = \frac{132,400Kcal/Hr \times 10Hr - 272,000Kcal}{5℃ \times 0.95 \times 1,000Kcal/m^3℃}$$

$$= 221m^3$$

본 시스템에 사용한 축열조는 축열효율을 향상시키기 위하여 물의 비중차에 의한 일조식의 성층형으로 구성한 것이 특징이다. 이를 위하여 축열조에 연결되는 배관에는 축열조 내측에 원판형디퓨저를 설치하였다. 축열조의 설치장소는 건물과 인접한 외부의 지중이고, 이중벽의 철근콘크리트 구조로 이중벽 사이에 단열재를 삽입하였다. 그림 2

에 냉축열조의 평면도와 단면도가 나타나 있다.

4.2.3 급탕축열조 및 폐수저장조의 설계

폐수저장조로 유입되는 폐수의 원천이 되는 사우나와 객실 목욕탕에서는 약 80ton의 급탕을 사용하며, 목욕시 급탕을 통하여 들어온 온수와 시수인 냉수를 혼합하여 사용하므로, 실제 일일 폐열수량은 온수(60℃ 기준)와 냉수(15℃ 기준)의 혼합비율을 0.8:1로 산정하여 계산한 결과 132.7TON으로 나타났다. 폐수저장조는 춘추동계시 냉열축조를 사용할 계획이므로, 계산한 폐열수량이 냉축열조 용량인 220TON보다 적어서 충분히 폐열수를 저장할 수 있다.

히트펌프 옹축기에서 공급하는 급탕축열조의 용량은 급탕기구수 방법에 의하여 일

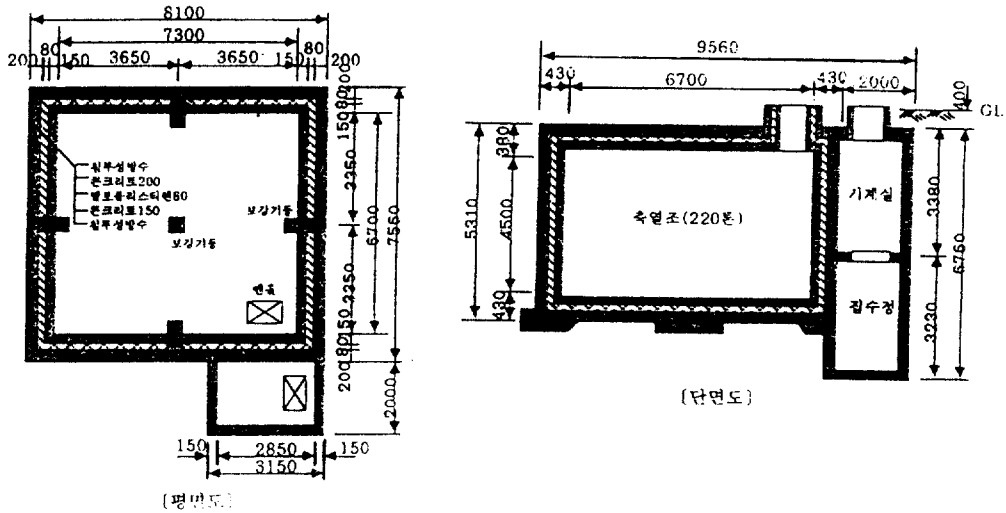


그림 2 냉축열조의 구조도

일 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 조건으로써 급탕축열조 용량을 80TON으로 선정하였다.

- 히트펌프 급탕용량 : 150,000Kcal /Hr
- 급탕축열조 축열효율 : 92%
- 급탕축열조 이용온도차 : 20℃ (50℃ - 30℃)
- 심야전력 이용시간 : 10Hr

$$V = \frac{150,000Kcal/Hr \times 10Hr}{20℃ \times 0.92 \times 1,000Kcal/m^3℃} = 81m^3$$

#### 4.2.4 자동세정장치 및 여과장치 설치

히트펌프 증발기 열교환기에 폐수가 유입됨에 따라 튜브내에 오물이 부착되는 데, 장기간 운전하면 부착된 오물로 인하여 히트펌프의 효율이 떨어져 효율적인 운전에 지장을 초래하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 스폰지 볼을 튜브내로 통과시켜 오물

을 제거하는 자동세정장치를 개발하였다. 운전방식은 크게 나누어 정상운전, 역세정 운전, 불순환운전, 불채순환운전의 4가지가 있고 자동으로 주기적 운전이 수행된다. 각 운전방식에 대한 폐수의 순환경로를 보여주는 계통도가 그림 3에 있다.

또한 폐수저장조로 유입되는 폐수는 머리 카락 등 고체 물질의 오물을 미리 제거하여야 히트펌프 운전시 지장이 없게 되므로, 폐수저장조 전단 배관에 자동으로 오물을 제거하는 여과장치를 설치하였다. 작동원리는 다음과 같다. 여과장치내의 원형 스크린을 통하여 폐수를 통과시키면 오물이 스크린에 부착되게 된다. 일정시간후 스크린의 오물이 많이 축적되면 자동으로 모터로 움직이는 브러쉬가 회전하여 스크린을 청소하고 오물을 자동밸브를 통하여 외부로 배출시킨다.

#### 4.3 시스템 성능측정 및 분석

설계된 폐수열이용 축열식 히트펌프 시스템을 시범적용하여 '94년초 부터 1년간 기본적인 시스템 성능을 측정하고 분석하였다. 성능측정 및 분석은 주로 시스템의 전반적

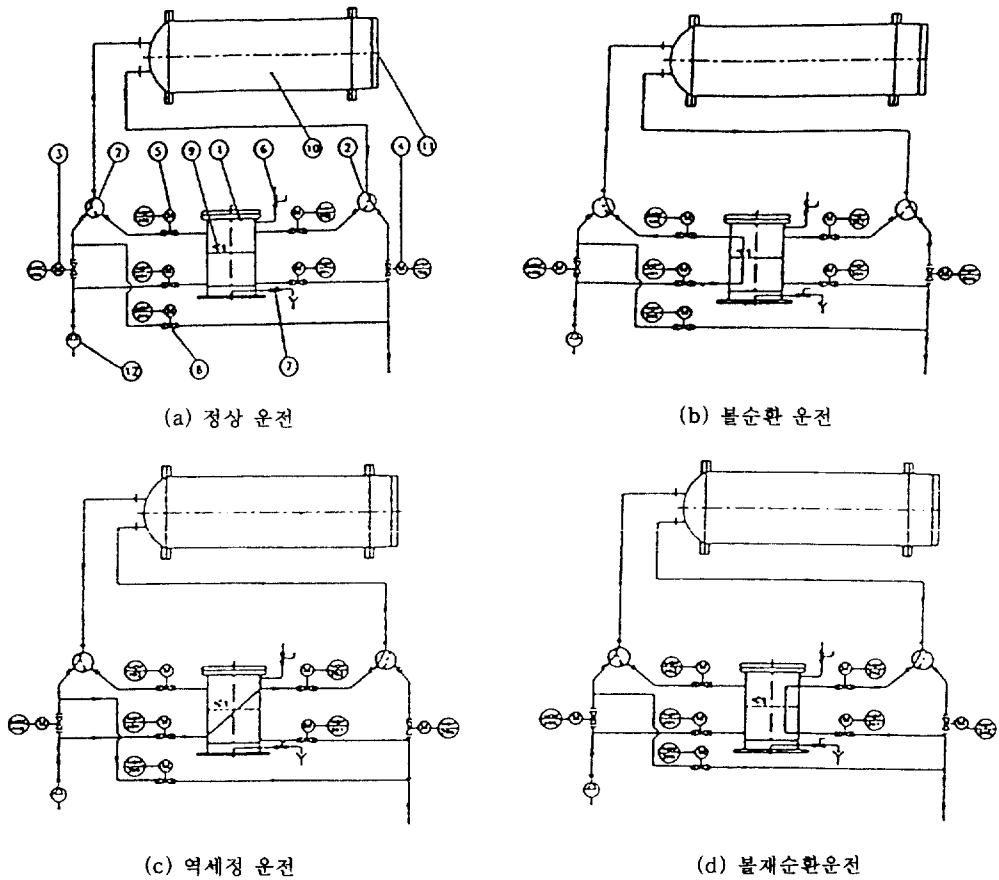


그림 3 스폰지불 자동세척장치의 폐수순환 흐름도

인 열성능과 시스템 각각의 구성요소들의 성능으로 구분하여 수행되었으며, 한전 속 초생활연수원에 시범적용된 본 폐수열 이용 축열식 히트펌프 시스템은 기존의 시스템을 최대한 이용하면서 추가로 필요한 기기 및 배관, 축열조 등을 부착하는 것으로 하였다.

또한, 본 시범적용 시스템 연구를 위한 실험용으로 작동시켰다가보다는 건물의 냉방 및 급탕을 위해 작동되었으므로 정상적인 작동하에서 필요한 자료를 수집하였다. 성능측정 및 분석은 가능한 한 향후 폐수이용 축열식 히트펌프 시스템의 설계에 이용될 수 있도록 하였고, 특히 신뢰성 및 성능향상에 그 초점을 맞추었다.

#### 4.3.1 센서 및 컴퓨터 계측시스템 설치

한전 속초생활연수원에 시범설치된 폐수열 이용 축열식 히트펌프 시스템은 시스템 성능측정을 위하여 그림 4와 같이 각종 센서와 컴퓨터 계측시스템을 설치하였다. 온도센서는 T-type의 열전대를 사용하였으며 열량 이동을 알기 위하여 각 배관의 출구 및 입구에 각각 2개씩, 축열조에 바닥 10cm에서 45cm 수직 등간격으로 10개, 급탕축열조에 바닥 10cm에서 50cm 수직 등간격으로 5개를 설치하였다. 그리고 사무실 및 객실에 각각 4개, 측정실에 2개, 외기온용으로 2개를 설치하였다.

유량계는 냉각수(응축기 순환수), 냉수



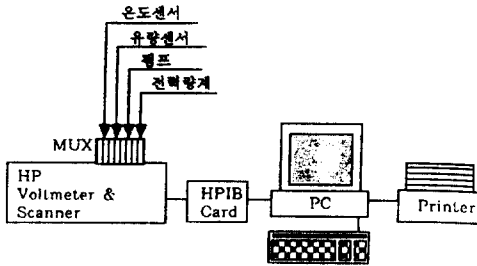


그림 4 각종센서 및 계측장치 설치 개요도

(증발기 순환수), 냉방수 측정을 위해 배관 상에 각각 1개씩, 그리고 온천수공급배관, 폐수저장조에 폐수공급배관 및 축열조 시수 보충배관에 각각 1개씩의 유량계를 설치하였다. 또한 히트펌프(압축기와 공기 타입 응축기 팬)의 소요전력량을 측정하기 위하여 1개의 전력량계를 설치하였다.

4.3.2 하절기 성능분석(급탕+냉방)

(1) 열부하 및 냉방성능 분석

그림 5에 측정데이터상에 전혀 문제가 없는 '94년 하계의 시스템 측정결과를 종합하였다. 하루 평균 냉방공급 열량은 1,287.4Mcal/day이고, 최대치는 8월 15일로 2150Mcal/day로 나타났다. 히트펌프로 냉열을 생산하면서 동시에 급탕수를 가열한 열량은 일 평균 622.6Mcal이며 급탕사용량은 52.6m<sup>3</sup>/day이다. 이 냉방 및 급탕부하 전체를 히트펌프에 의해서 공급되었다. 히

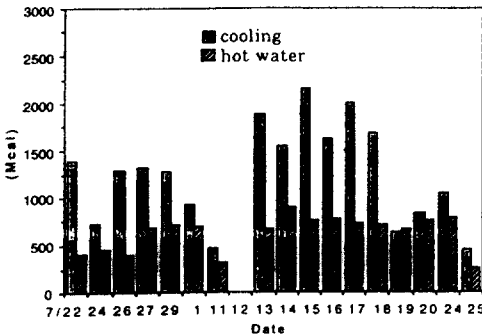


그림 5 일별 냉방 및 급탕 사용열량 비교

트펌프에 의해 가열된 급탕의 온도는 대략 40~50℃ 정도이다.

본 시스템 설계시 계산된 설계 냉방부하(년중 일최대부하 임)는 2,302.4Mcal/day로서 이 계산치가 연중 일 최대부하 임을 고려할 때 본 측정치와 대단히 유사하다고 볼 수 있다.

(2) 히트펌프 기기 성능분석

하절기 정상적인 작동조건하에서 히트펌프의 성능을 보면 순간 냉방 COP는 대략 9~2.5 나타났다. 한편 동시에 급탕을 가열할 경우에 COP는 4.1~5.2까지로 그 변화폭이 크게 나타났다.

1일동안 히트펌프가 냉열을 생산하면서 급탕을 가열하는 시간은 대략 6~7시간이며, 그 회수는 4~5회 정도이다. 하절기에는 그림 6의 히트펌프의 COP의 분포에서도 알 수 있는 바와 같이 히트펌프가 “냉방+급탕”모드로 작동하는 것이 공냉식의 “냉방”모드로 작동하는 것보다 COP가 2배이상 높아 효과적이라는 것을 알 수 있다. 그러므로 하절기 냉방부하보다 오히려 급탕부하가 약간 많은 것이 본 시스템을 효과적으로 이용할 수 있는 것이라 할 수 있다. 급탕을 가열하지 않을 때는 히트펌프의 작동은 공기냉각식 응축기에 의존한다.

(3) 축열조 온도층화 현상 분석

축열조의 온도층화는 히트펌프의 성능에 영향을 미친다. 냉방기간 중에 축열조의 온

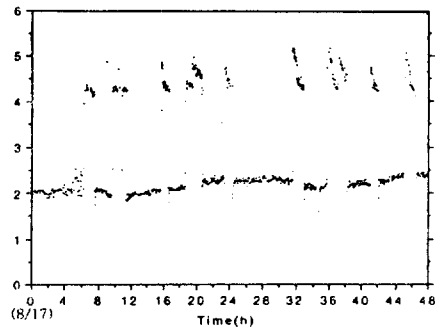


그림 6 히트펌프의 순간 COP

도층화 현상을 그림 7에 나타나 있다. 여기서 보면 냉방없이 축열과정을 7시간 30분

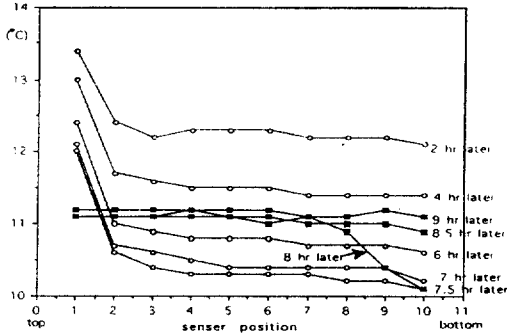


그림 7 축방열 과정시의 축열조 온도층화 현상

동안 지속하고 그 이후에 축열 및 냉방을 동시에 수행하였을 때의 축열조의 수직방향의 온도분포이다. 축열과정에는 상단부에는 온도변화(gradient)가 크게, 그리고 그 이하는 완만하게 나타나면서 경과시간에 관계없이 동일한 현상을 지속적으로 유지하였다.

4.3.3 기타계절 성능분석(급탕만을 고려했을 때)

히트펌프가 폐수를 저온열원으로 하여 급탕을 가열하기 시작한 것은 '95년 9월 1일부터며, 표 3에 동절기의 성능측정결과 일부(12월 19일~1월 12일)를 요약하였다. 이 기간 중에 측정결과를 보면 휴관하는 날을 제외하고는 온수 사용량은 일평균 58.4톤, 히트펌프에 의해 온수를 가열한 열량(손실열

표 3 동절기 축열식 히트펌프 시스템의 측정결과

월 / 일	급탕부하 (Mcal)	온수사용량 (m <sup>3</sup> )	전력사용량 (kWh)	평균cop	작동시간 (hr)
12 / 19	1013.7	46.4	388.5	3.03	7.67
12 / 20	964.1	58.5	390.7	2.87	7.73
12.21	1107.1	53.4	440.1	2.93	8.70
12.22	1131.3	65.1	451.1	2.92	8.84
12.23	1093.2	56.8	427.8	2.97	8.34
12 / 24	1017.8	56.1	391.4	3.02	7.54
12 / 25	588.5	28.7	229.3	2.98	4.41
12 / 26	1070.2	54.0	400.9	3.10	7.79
12 / 27	1018.8	66.6	390.9	3.03	7.55
12 / 28	1161.0	63.5	440.1	3.07	8.48
12 / 29	1184.0	71.9	448.9	3.07	8.60
12 / 30	935.3	50.3	356.5	3.05	6.86
12 / 31	1071.3	66.9	416.8	2.99	8.08
1 / 1	1107.3	58.3	416.6	3.09	7.97
1 / 2	1236.3	73.8	471.7	3.05	9.09
1 / 3	1063.7	58.9	406.9	3.04	7.84
1 / 9	1151.0	56.3	428.6	3.12	8.15
1 / 10	1044.4	59.0	393.2	3.09	7.51
1 / 11	1212.7	69.8	457.1	3.09	8.66
1 / 12	971.4	53.8	364.7	3.10	6.96
표 준	1057.2	58.4	405.6	3.03	7.84

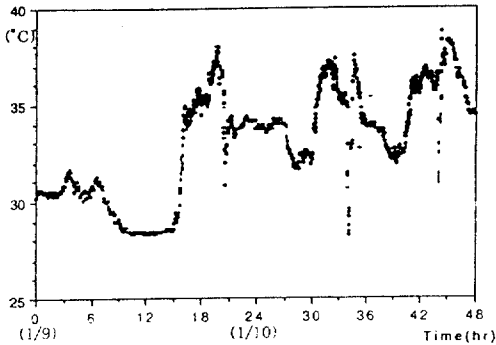


그림 8 폐수조내 폐수의 평균온도

량 포함)은 1057.2Mcal / day이다. 그리고 히트펌프의 평균 COP는 3.03이다.

히트펌프는 폐수를 저온열원으로 사용하므로 히트펌프의 성능은 무엇보다도 폐수의 온도가 중요한 영향을 미친다. 이 폐수조내의 폐수의 온도는 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 시간에 따라 많은 변화가 있으며 대략 28.5~27.5°C 정도이다. 그런데 이 폐수조의 용량은 2톤 정도이고 상단부가 개방된 비단열 수조이므로 열손실이 많아 장시간 온수를 사용하지 않을 때는 탱크내에 정체되어 있는 폐수의 온도가 낮아진다. 그러므로 주로 축열조로 유입되는 폐수의 온도는 온수를 많이 사용하는 입소하는 (그림에서는 1월 9일)의 저녁시간과 평일의 아침 및 저녁시간대의 폐수조의 온도인 32~35°C 전후라고 볼 수 있다.

이 온도의 폐수가 축열조로 유입되어 히트펌프의 저온열원으로 사용되는데 축열조내의 폐수의 평균온도는 대략 21~24°C 정도이다. 히트펌프의 성능과 직접적으로 연관된 폐수의 증발기 입출구 온도는 대략 축열조의 평균온도와 유사하며 입출구 온도차는 대략 5°C 정도가 된다. 폐수의 증발기 순환 유량은 하절기보다 약간 적은 19m<sup>3</sup> / hr 전후이다.

#### 4.4 시스템 경제성 평가

폐수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템

의 경제성 검토를 하기 위해서는 먼저 여러 가지 변화수들에 대한 정보가 필요하다. 본 분석에서는 한전 속초생활연수원의 성능실험 결과와 시공에 따른 실제 비용을 근거로 수명가 산정법(Life Cycle Analysis Method)으로 분석하였다.

##### 4.4.1 에너지 소비량 계산

경제성평가를 위하여 급탕 및 급탕+냉방 기간으로 구분하여 각각에 대한 기존시스템과 축열식 히트펌프 시스템의 에너지 소비량을 아래와 같이 계산하여 비교하였다.

##### (1) 급탕 기간

한전 속초생활연수원은 1년내내 계속해서 월 4일의 보수기간을 제외한 기간을 한전 가족이 3박4일 일정으로 입소하기 때문에 7월과 8월의 급탕+냉방기간을 별도로 하면 급탕만 하는 동절기를 포함한 기타계절의 급탕기간은 263일이다.

이 기간중에 1일 평균 급탕공급량, 급탕사용량, 전력소모량, 히트펌프의 COP는 성능측정에서 다음과 같이 나타났다.

- 급탕공급량 : 1,057.2Mcal
- 급탕사용량 : 58.4m<sup>3</sup>
- 전력소모량 : 405.6kWh
- COP : 3.03

한편 기존 보일러를 사용할 경우 에너지 소비량은 다음과 같은 조건 즉

- 단속운전 계수 : 0.9
- 경유ℓ 당 발열량 : 9,200kcal / ℓ
- 기기효율 : 0.75

하에서 다음과 같이 계산된다.

- 보일러 사용시 경유 사용량 :

$$Q = (1,057,200 \text{ cal / day} \times 263 \text{ day}) / (0.9 \times 9,200 \text{ kcal / ℓ} \times 0.75) = 44,774 \text{ ℓ}$$

##### (2) 급탕+냉방기간

급탕+냉방기간은 7월과 8월 2개월로 보수기간을 포함하여 생활연수원 휴관일이 월 4일이므로 54일이 된다.

이 기간 중에 1일 평균 급탕부하, 급탕사용량 및 전력소모량, COP는 성능측정에서

다음과 같이 나타났다.

- 급탕공급량 : 622.6Mcal
- 급탕사용량 : 52.6m<sup>3</sup>
- 냉열공급량 : 1,287.4Mcal
- 전력소모량 : 1,022.4kWh  
(심야 : 568, 기타 : 464.4)
- COP : 2.67

여기에서 전력소모량은 히트펌프가 냉방을 위한 냉수제조를 위하여 가동될 때의 전력소모량으로 급탕을 위해서는 별도로 히트펌프가 작동되지 않았으므로 급탕용 전력소모는 없다고 보았다. 이는 히트펌프를 가동하여 증발기에서 냉수제조시 냉매가 흡수한 열이 압축기를 통과하여 응축기로 가는데 이 열을 이용하여 급탕용 온천수를 가열하기 때문이다.

전력소모량 중 심야시간과 기타시간의 비율은 실제 시스템 운전에서는 24시간 히트

펌프가 가동되었으나 이는 40RT 용량의 히트펌프가 실체는 75% 수준인 30RT 정도의 냉동능력을 발휘하였을 경우이고 히트펌프가 40RT의 냉동능력을 발휘한다면 하루 18시간만 가동되면 된다. 따라서 심야 10시간, 기타 8시간 가동하는 것으로 보았다.

한편 기존 보일러와 냉동기를 사용하는 시스템에서의 에너지 소모량은 다음과 같다.

- 보일러로 온수가열시 경우 사용량 :

$$Q = (622,600\text{kcl} / \text{day} \times 54\text{day}) / (0.9 \times 9,200\text{kcal} / \ell \times 0.75) = 5,414 \ell$$

- 냉동기로 냉열공급시 전력사용량(P)

펌프동력 및 냉동기의 냉각탑의 동력을 고려하지 않으면 냉동기의 전력사용량은 냉동기의 COP를 3.0으로 가정할 때 다음과 같다.

표 4 운전비용 비교검토

냉동기+보일러 방식(기존)	히트펌프+온천수이용 방식(개선)
1) 전력기본요금 - 140kW * 4,370원 * 12월 = 7,342천원	1) 전력기본요금 - 50kWh * 4,370원 * 24,538 / 55,210 * 12월 = 1,165천원
2) 난방요금 : 개선시스템과 동일	2) 난방요금 : 기존시스템과 동일
3) 하계 냉방요금(2개월) - 전기사용료 : 2,070천원 26,946kWh * 76.8원 = 2,070천원	3) 하계냉방요금(2개월) ◦ 심야전기사용료 : 2,386천원 - 심야 = 30,672kWh * 25.3원 = 776천원 - 기타 = 24,538kWh * 65.6원 = 1,610천원
4) 급탕요금 가. 하절기(7~8월) : 1,283천원 - 경유사용량 = 5,414ℓ - 연료비 5,414ℓ * 237원 / ℓ = 1,283천원 나. 기타계절(9~6월) : 10,612천원 - 경유사용량 = 44,774ℓ - 연료비 44,774ℓ * 237원 / ℓ = 10,612천원	4) 급탕요금 가. 하절기(7~8월) : 없음 나. 기타절기(9~6월) : 2,699천원 - 전기료 : (히트펌프 가동) 106,673kWh * 25.3원 = 2,699천원
· 연간 총 운전비용 = 21,307천원	· 연간 총 운전비용 = 6,250천원
년간 운전비용 차이 : 21,307 - 6,250 = 15,057천원	

$$P = (1,287.4 \text{Mcal / day} \times 54 \text{day}) / (3.0 \times 0.86) \text{Mcal / kWh} = 26,945 \text{kWh}$$

4.4.2 에너지 소요비용 계산

경제성평가를 위하여 산출한 기존 냉동기와 보일러 시스템과 축열식 히트펌프 시스템과의 에너지 사용량에 따른 연간 에너지 소요비용은 표 4와 같다.

4.4.3 시스템 경제성분석

본 한전 속초생활연수원에 설치된 축열식 히트펌프 시스템의 경제성 분석은 한국전력 공사의 지원금(21,600천원)이 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 실시하였다. 경제성 분석에 입력된 추가 투자비용 및 운전비 절감액과 경제성인자는 다음과 같다.

- 히트펌프 시스템의 추가 투자비용 : 50,486천원
  - 터보냉동기 적용시 : 96,768천원
  - 히트펌프 시스템 적용시 : 147,254천원
- 히트펌프 시스템의 연간 운전비 절감액 : 14,047천원
  - 터보냉동기 적용시 : 21,307천원
  - 히트펌프 시스템 적용시 : 6,250천원
  - 연간 보수 및 탱크청소 비용 : 1,010천원(매년 초기투자비의 2%)
- 기타 경제성 인자
  - 일반물가 상승율(Inflation rate) : 6.9%

- 전기 및 물가상승율 : 6.0%
- 할인율(Discount rate) : 9.6%

한전 속초생활연수원에 설치된 폐수열이용 축열식 히트펌프 시스템의 경제성 분석 결과는 감소전력에 따른 한전 지원금이 있는 경우에는 투자회수기간이 2.4년 그리고 없는 경우에는 4.0년으로 경제성은 시스템 수명을 감안한다면 대단히 좋은 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 폐수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 실용화를 위하여 폐수열 이용 실태조사, 시스템의 구성, 용량산정 및 시스템 제어 등에 대하여 고찰하였으며, 최종적으로 이 시스템의 보급 및 활용을 위한 경제성 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 폐수열이용 실태조사 결과 본 시스템의 적용 대상은 스포츠센터, 호텔 등 수영장, 사우나가 부속된 대형건물이 유리하다.
- (2) 경제성 분석결과 본 시스템을 복합건물에 설치운영하면 투자회수기간은 약 3년 이내로 시스템의 평균수명을 10년으로 볼 경우 경제성이 우수하므로, 에너지 자원이 부족한 우리나라에서는 본 시스템을 적극적으로 설치 및 보급하여야 한다.