

# 온천폐수열이용 히트펌프시스템

온천과 같이 온수를 다량으로 사용하는 시설을 대상으로 에너지 회수 방법을 검토하여 운전비 절감이 가능한 사례를 소개하고자 한다.

김 종 틀

(주)이앤이시스템 기술연구소(jrkim@enesystem.co.kr)

온천 시설은 다량의 물을 시설내에서 사용하므로 내부의 운영시설의 종류에 따라 일정시간 간격에 의한 배수나 간헐적 배수가 반복 진행되며 이러한 과정은 폐수라고 통칭되는 배수가 수영장, 사우나 등과 같은 다양한 시설로부터 지속적으로 발생시킴으로 일종의 규칙성이 발생하게 된다. 폐수를 방출할 때는 수처리 시설을 통하여 수질을 개선할 수 있으며 비교적 고온의 폐수가 발생할 경우 열을 회수하는 시스템을 고려하는 것도 에너지 절약적 측면과 넓게는 미활용에너지 측면에서 바람직하다.

온천에서 운영되는 시설로부터 배출되는 배출수는 시설의 성격에 따라 다양하지만 일반적으로 수영장의 경우 18 ~ 24℃, 샤워장의 경우 32 ~ 40℃, 사우나장의 경우 35 ~ 42℃의 온도 수준이며 시설 운영 방침과 이용객 수에 따라 시설별 배수량이 결정되지만 수처리를 위해 수처리탱크에 모이는 배수의 온도는 28 ~ 30℃가 일반적이다. 또한 배수는 인체로부터 발생한 오염물질이 포함되어 있어 수열원으로 활용할 경우 열회수를 위한 열교환기 적용이 매우 까다로운 경우도 있으므로 현장 여건을 충분히 파악하고 이를 충분히 고려할 필요가 있다.

일반적으로 시설물에서 배출되는 배수 또는 배공기로부터 열을 회수하는 것은 잘 알려진 바와 같이 많은 어려움을 포함하고 있다. 먼저 사용처 별로 발생하므로 배출되는 장소가 일원화 되어 있지 않은 경우가 많고 시설별로 사용온도가 다르므로 최종 방

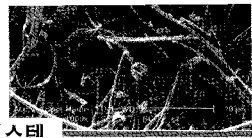
출온도가 상이한 경우가 일반적이다. 다음으로는 배수 또는 배공기의 깨끗한 정도로 포함된 여러 가지 물질들로 인해 발생하는 것으로 열회수를 위해 설치하는 열교환기의 성능저하는 물론 기기자체의 손상을 유발하는 경우와 배관막힘 등의 문제를 발생시킬 수도 있다.

## 현장 및 설비 현황

먼저 2007년 경기도의 모시설로부터 운전비용 절감을 위한 에너지 회수 시스템 제안을 요청받아 대상 시설에 대한 현황을 파악하기 위하여 현장을 방문하였다. 방문한 시설은 온천 개념이 적용된 물놀이 시설로 수영장과 사우나 시설을 보유하고 있었으며 최근 인기시설로 시공되고 있는 야외수영장을 보유하고 있다. 방문시기가 봄철이라 따뜻한 기온이 아직 그리운 시기임에도 불구하고 열은 수증기가 피어 오르는 야외 수영장은 인기 있는 이용시설 중의 하나로 운영되고 있었다. 설치운영 중인 시설을 살펴 본 후 기계설비를 방문하여 설비종류와 운전조건 등 시설운영을 위한 기계설비의 기본사항을 확인하였다.

## 열원설비

- 열원 설비
  - 스팀보일러 : 설비 공급수 승온용
  - 흡수식 냉동기 : 냉방용



- 사용연료 : LPG
- 주요 사용처 및 생산온도
  - 샤워용 온수 : 60℃ 생산
  - 수영장 공급수 승온 : 32℃ 생산

**방류수**

- 일일 방류량 : 800 ~ 1,000 m<sup>3</sup>
- 방류 온도 : 29℃
- 방류수 수질 : 5 ppm 이하
- 배수처리탱크 : 3개소 운영(저장용량합계 : 313 m<sup>3</sup>)

**에너지 사용**

- 연료(LPG) 사용 : 1,060백만원/년(2006년 기준)
- 주요 소비처 : 수영장 승온(약 60% 소비)

이상에서 언급된 본 시설에 대한 열원설비 계통도를 간략화하여 다음의 그림 1에 나타내었다. 냉방 시에는 앞서 언급된 흡수식 냉동기가 사용하여 7℃의 냉수를 공조기(AHU)에 공급하고 수영장, 사우나 및 샤워장의 온수 공급에는 스팀 보일러를 사용하고 공급수의 수질확보를 위하여 증기열교환기를 이용한 간접열교환 방식으로 운영된다.

앞에서 나타난 시설별 에너지 소요량은 계절에 따라 차이를 나타낼 수 있으나, 연간 평균적으로 에너지 사용량의 약 60%를 수영장 공급수 승온과 온도유지에 사용하고 있는 것으로 나타났다. 물론 이것은

특히 겨울철 기준으로 비율이 더 높고 여름철의 경우는 외기온도가 높고 냉방을 위한 흡수식 냉동기가 가동되므로 비율이 더 낮아진다. 연간 운영 현황을 통하여 인기시설을 운영하기 위한 운영비용이 적지 않은 것으로 나타나 열회수 등을 통한 운영비용 절감 방안 도입시 시설운영에 많은 도움이 될 것으로 판단되었다.

**회수 열량 산출**

시설에서 배출수의 온도가 29℃로 나타났으므로 이와 같은 온도는 미활용에너지로 분류되는 여러 종류의 열원중에서 매우 높은 온도 수준이다. 열원의 종류가 물이고 온도수준을 감안할 경우 매우 많은 열을 회수할 수 있는 조건이며 실제 일반적인 시설운영을 기준으로 판단할 경우 방류수를 약 14℃ 정도로 최종 배출되므로 약 15℃의 현열을 이용할 수 있다.

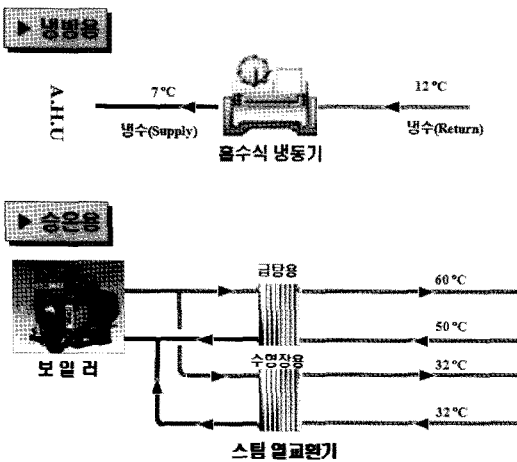
따라서 본 시설에서 회수 가능한 최소 이용가능 열량을 일일 최소 방류량을 토대로 계산하면

• 일일 최소 이용 가능 열량  

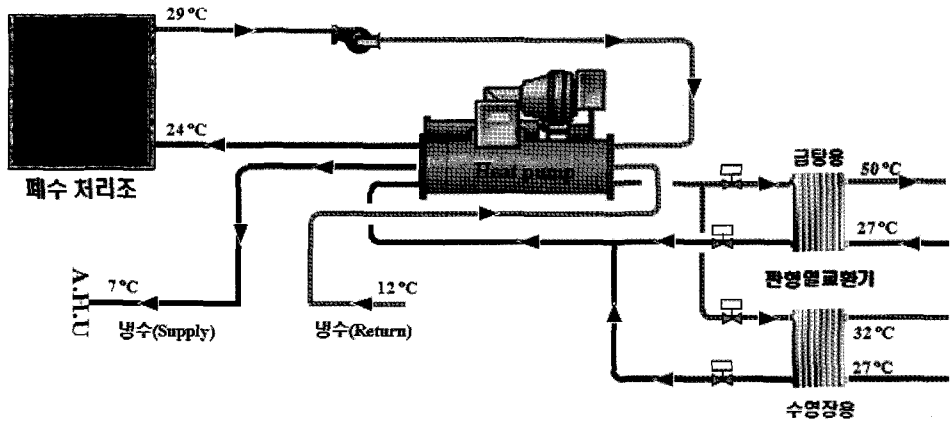
$$: 800 \text{ m}^3/\text{day} \times (29^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}) \times 1,000 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 12,000,000 \text{ kcal/day}$$

결과에서 나타난 것과 같이 온천시설의 경우 각종 물놀이 시설로부터 비교적 높은 온도의 배수가 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 부차적으로 샤워시설로부터도 열회수에 적합한 온도의 배수가 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 열회수에 가장 어려운 환경으로 인식되는 수질이 측정결과 5 ppm으로 매우 양호한 상태로 측정되어 열회수용 열교환기에 대한 심각한 고려는 불필요하게 되어 시스템이 한결 간결하고 효율적으로 구성될 수 있었다.

이상의 검토를 통하여 일일 최소 12,000,000 kcal의 열량 회수가 가능한 것으로 나타났으므로 이를 활용할 수 있는 열회수시스템으로 히트펌프를 적용할 경우 안정적으로 열회수가 가능한 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다. 히트펌프는 잘 알려진 바와 같이 크게 공기열원을 이용하는 경우와 수열원을 이용하는 경우로 나눌 수 있으며 본 현장의 경우 우수한 온도조건과 풍부한 배수량을 토대로 수열원 히트펌프를 가동할 경우 안정적인 열회수가 가능할 것으로 판단되며 이에 적합한 시스템은 다음과 같이 구성된다.



[그림 1] 열원설비 현황 간략도



[그림 2] 제안시스템 계통도

### 시스템 설계 및 계통구성

본 시설에 적합한 시스템을 제안하기 위하여 앞서와 같이 시설 현황과 계통을 살펴보았다. 시설에서 배수되는 폐수는 폐수처리조로 통칭되는 시설배수 임시저장탱크로 모두 모이게 된다. 본 시설의 경우 3개의 저장탱크가 있고 수중펌프를 이용하여 탱크의 수위를 조절하는 방식으로 운영되고 있어 통상적으로 총저장 가능 용량인 313 m<sup>3</sup>의 70 ~ 80% 가량의 열원수가 항상 탱크에 잔류하게 되므로 이를 증발기의 열원으로 사용하고 수영장 및 샤워장으로 공급되는 공급수를 응축기에서 승온하는 히트펌프시스템을 구축하였다. 이제 상기 운영조건을 만족하는 시스템을 제안하며 그 계통도는 그림 2와 같다. 계통도에서 나타난 것과 같이 히트펌프로 회수된 열량은 앞서 살펴 본 시설의 소비처로 공급되며 본 시설의 경우 수영장, 사우나 시설 및 샤워장으로 공급된다. 또한 여름철에는 배수에서의 열회수 대신 냉수를 생산하도록 전환하여 흡수식 냉동기의 사용을 줄여 가스 사용량을 줄일 수 있도록 하였다.

#### 히트펌프 시스템 구성

- 히트펌프시스템 종류 : Screw Compressor Type
- 히트펌프 용량 : 120 USRT
- 생산가능 열량 : 482 Mcal/h
- 소비전력 : 140.8 kW
- 열교환기 : 500 Mcal/h × 2대

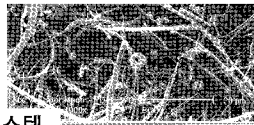
### 시스템 구축

상기의 열회수 시스템을 시설에 적용하기 위하여 다음과 같이 설치공사를 진행하였다. 먼저 기계실 열회수를 위한 히트펌프의 위치는 기계실의 가용한 곳 중 배과 거리를 고려하여 배출수 처리탱크와 가능한 가까운 곳으로 선정하였다. 설치현장의 경우 기계실 내의 처리 탱크 인접한 곳으로 그림 3에 나타난 것과 같은 장소를 설치위치로 결정하였다.

상기 설치장소를 중심으로 각종 배관 및 기타 부속 설비가 설치되며 열회수의 핵심인 히트펌프 시스템은 그림 4에 나타난 것과 같이 설치되었다. 앞서 설명과 같이 120 USRT 용량의 히트펌프이므로 발생하는 부하변동에 적절히 대응가능하며 부분 부하운전이 원활하여 소용량에서도 비교적 높은 성적계수(COP)를 발휘할 수 있도록 2대의 스크류 압축기(Screw Compressor, Mitsubishi)를 사용하여 제작하였다.

수영장 및 급탕으로의 열공급은 히트펌프에서 승온된 열원수가 수영장 및 급탕으로 공급되는 물을 열교환기로 승온시키는 간접열교환 방식을 사용하여 수질 문제등이 발생하지 않도록 하였다. 이에 사용된 열교환기를 그림 5에 나타내었다.

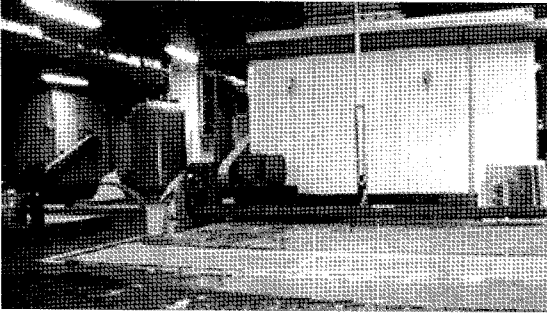
시설에서 배출되는 배수의 온도는 앞서 언급된 것과 같이 배출당시는 특정계절기준으로 약 29°C로 거의 일정한 수준을 유지할 수 있으나 열회수시스템인 히트펌프가 가동되면 14°C까지 배출수의 온도가 떨어



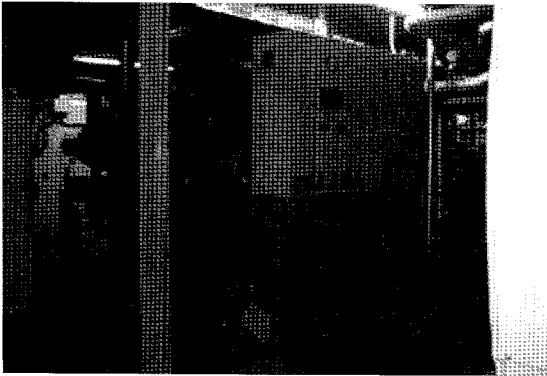
지게 된다. 이과정에서 히트펌프는 열을 흡수하는 냉동기로 유입되는 배출수의 온도가 점차 낮아지게 되므로 운전 사이클이 시간에 따라 점차 최초 가동시와

는 다른 운전점에서 운전되므로 점차 변하게 되는 운전점에 따라 최적의 운전이 가능하도록 제어시스템을 구축하는 것은 매우 중요한 것 중의 하나이다. 본 열회수 시스템에서는 그림 6에 나타난 것과 같이 배열회수에 적합한 제어패널을 제작하여 설치하였다.

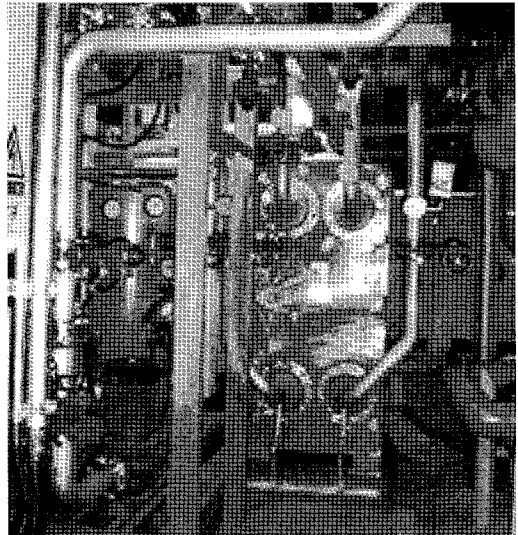
열회수시스템의 열생산과 열공급이 항상 동일시간에 일어나지 않을 경우 수요와 공급에 불균형이 발생할 경우 애써 생산한 열량이 손실될 수 있고 경우에 따라서는 공급이 필요한 시점에 공급을 할 수 없는 문제가 발생할 수 있으므로 이를 해결하기 위하여 그



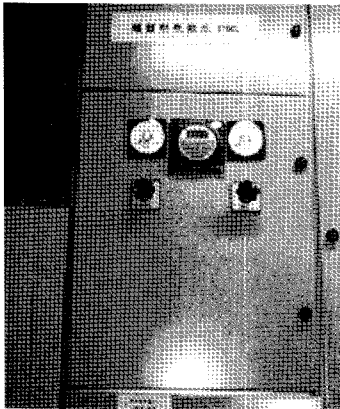
[그림 3] 히트펌프 설치 장소



[그림 4] 설치된 히트펌프 시스템



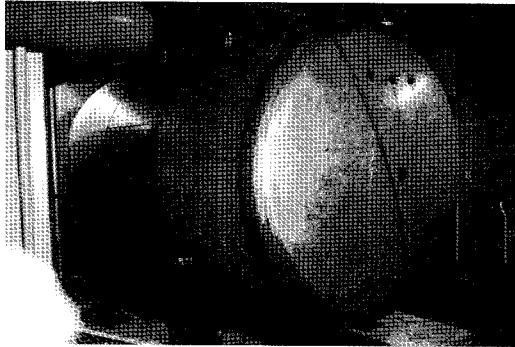
[그림 5] 열교환기



[그림 6] 자동제어

림 7에 나타난 것과 같이 탱크를 설치하여 수요와 공급의 균형을 이룰 수 있도록 하였다.

또한 실제 회수된 열량을 그림 8에 나타난 열량계를 설치하여 측정하여 확인하였다. 설치된 열량계는 온도 및 유량을 측정하여 승온된 열량을 계산하는 것으로 정도가 높고 자동제어와의 인터페이스(Interface)가 용이한 Multical(Kamstrup Co. LTD.)을 사용하였다.



[그림 7] 버퍼탱크

### 운전비 예상 절감액 산출

이상과 같이 설명한 열회수용 히트펌프 시스템 시 설운동을 통하여 예상되는 운전비 절감액을 산출하여 표 1에 나타내었으며 이를 그림 9에 도표로 나타내었다.

산출 결과에서 나타난 것과 같이 배수에서의 열회수를 통하여 연간 생산가능한 열량은 2,983,925

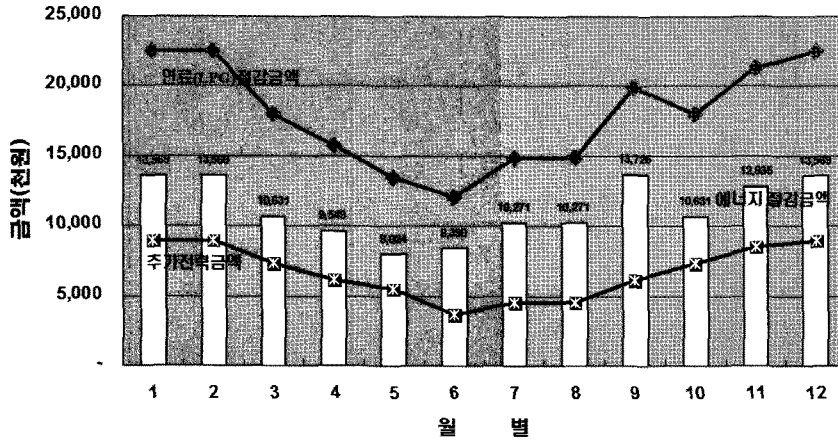


[그림 8] 열량계

<표 1> 열회수시스템 설치에 따른 월별 에너지 절감 효과 산출

월	필요열량 Mcal	부하율 %	히트펌프 생산열량		연료(LPG)절감		추가전력		에너지 절감액 전원
			온수생산 Mcal	냉수생산 usRth	절감량 Nm <sup>3</sup>	절감금액 전원	전력량 kWh	전력금액 전원	
1	668,760	100	346,968	-	28,095	22,476	124,992	8,907	13,569
2	668,760	100	346,968	-	28,095	22,476	124,992	8,907	13,569
3	535,008	80	277,574	-	22,476	17,981	99,994	7,350	10,631
4	468,132	70	242,878	-	19,666	15,733	87,494	6,184	9,549
5	401,256	60	208,181	-	16,857	13,485	74,995	5,461	8,024
6	234,066	35	121,439	25,985	15,054	12,044	43,747	3,654	8,390
7	234,066	35	121,439	43,308	18,535	14,828	43,747	4,557	10,271
8	234,066	35	121,439	43,308	18,535	14,828	43,747	4,557	10,271
9	468,132	70	242,878	25,985	24,888	19,910	87,494	6,184	13,726
10	535,008	80	277,574	-	22,476	17,981	99,994	7,350	10,631
11	635,322	95	329,620	-	26,690	21,352	118,742	8,517	12,835
12	668,760	100	346,968	-	28,095	22,476	124,992	8,907	13,569
합계	5,751,336		2,983,925	138,586	269,460	215,568	1,074,930	80,535	135,033

1. 월별 부하량 : 실외수영장+급탕가열기 공급열량 (2006년 LPG사용량 기준)  
 2. LPG요금 : 800원/Nm<sup>3</sup>, 전력요금 : 일반용 전력 (을) 고압선력 II 적용



[그림 9] 열회수시스템 설치에 따른 예상 절감액

<표 2> 실제운전에서의 운전비절감

	히트펌프 설치 전	히트펌프 설치 후	비교
사용 기간	2006.12 ~ 2007.11	2007.12 ~ 2008.11	
LPG 사용량 [ton]	1,337	981	356(▽)
LPG 금액 [천원]	1,060,042	1,162,513	102,471(△)
LPG평균 금액 [원/kg]	792.8	1,184.9	

Mcal인 것으로 나타났으며, 여름철 냉수 생산량은 연간 419,084 Mcal(138,586 RTh)인 것으로 나타났다. 이를 통한 운전비 절감액은 연료절감액과 추가 발생한 전력요금을 상쇄한 후 연간 135백만원 이상 절감이 가능한 것으로 나타났다.

### 실제운전에서의 운전비 절감

이상의 설비를 현장에 설치하여 실제 운전비 절감을 확인하기 위하여 설치 현장의 설비 담당자의 협조를 구하였으며, 상세한 데이터 공개는 불가하여

개략적인 내용만을 표 2에 정리하였다.

2007년 12월부터 2008년 11월까지 LPG 사용량은 연간 240톤 줄어든 것으로 나타났으며 전력 추가 사용량을 상쇄하여 순수 절감액을 산출한 결과 253백만원으로 계산되었으며 시스템 제안시 계산된 135백만원과 비교하여 87% 더 높게 나타났다. LPG평균 금액이 약 50% 상승한 것을 감안하면 실제 운전을 통한 절감액이 계산 보다 더 높게 나타났으므로 시스템 설계 및 운전이 우수한 수준임을 나타낸다. 이를 통하여 시스템 설계 및 시공능력에 대한 공지와 자부심을 높이게 되었다. \*