

# 폐열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 국내 개발 현황

최 병 윤 / 한국전력공사 전력연구원

본고는 여러가지의 첨두부하 억제 방안 가운데 첨두부하 증가의 주요 요인인 냉방부하를 줄일 수 있는 축열식 공조시스템에 관하여 제시하였으며, 특히 폐열을 이용함으로써 에너지절약과 전력피크 절감을 동시에 도모할 수 있는 수축열식 히트펌프 시스템의 국내 개발 및 적용에 관한 내용이다.

## I 서론

최근 경제성장과 더불어 생활수준이 향상 됨에 따라 에너지 수요는 갈수록 증가하고 있으며, 특히 고급 에너지원인 전력수요는 공급이 미처 따라가지 힘들 정도로 급격히 늘어나고 있다.

이에 따라 지금까지는 급증하는 전력수요에 맞추기 위하여 발전소 건설 등을 통한 전력공급 능력을 키워 왔으나, 이 역시 전원입지 확보난 가중과 막대한 발전소건설 투자비 그리고 환경규제 강화 등으로 인하여 공급설비의 적기확보가 갈수록 어려워지고 있는 실정이다.

따라서 수요증가를 전력공급 능력 뿐만 아니라 수요관리를 통하여 최적화함으로써 해결하는 정책에 대하여 선진국을 포함한 각 국가에서 관심을 기울이기 시작했다.

이 수요관리를 통하여 전기이용 효율 향상을 통한 합리적 수요절감으로 국민에게 불편을 주지 않으면서도 전기 사용자가 최소의 비용으로 쾌적하게 전기에너지를 사용할 수 있다.

또한 전력회사는 주간 피크부하를 심야로 전이하는 전력수요 평준화를 통하여 전원설비 투자규모 축소와 전력설비를 효율적으로 운용할 수 있는 기반을 조성하여 전력공급 비용을 절감할 수 있으며, 가변부하 조정 등을 통하여 필요시 운전예비율을 분담시켜 전력수급 안정을 도모할 수 있다.

국내에서도 수년전부터 하계 냉방부하의 급증으로 전력예비율이 위험수위에 도달됨에 따라 수요관리, 특히 첨두부하 억제의 필요성이 크게 부각되고 있으며, 한전에서는 전력수급 안정을 위하여 관련사업 추진에 총력을 기울이고 있다.

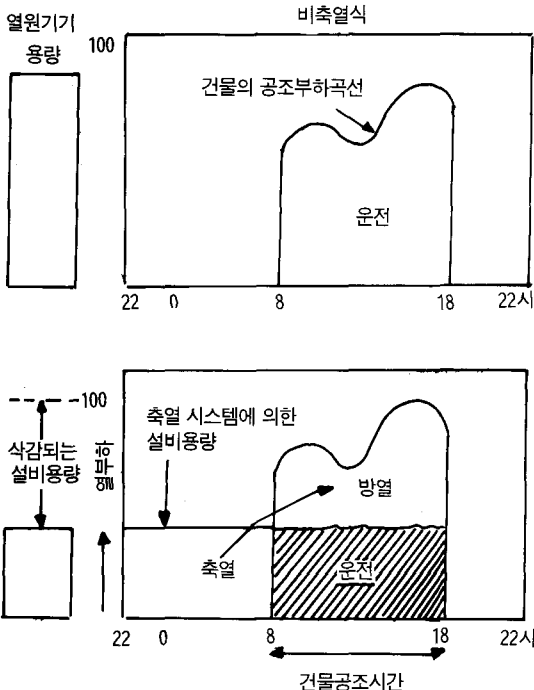
## II 축열식 공조시스템 개요

축열식 공조시스템은 주간 피크 냉난부하를 심야로 전이함으로써 현재 하계 전력피크의 문제가 되고있는 냉방부하를 50%이상 줄일 수 있으며, 전력부하 평준화를 통하여 전력설비 이용율을 향상시킬 수 있는 우수한 시스템으로 알려져 왔다

축열시스템의 피크절감 효과로 추가 발전소 건설비 절감 등 에너지 수급계획이 25% 향상되는 한편, 야간송전으로 이전되는 부분의 송전손실을 5% 정도 절감하는 등 현존의 송배전설비를 항상 높은 효율로 운전할 수 있는 장점이 있다.

또한 기존의 일반냉방방식에서 '냉동기의 년평균 정격부하운전시간이 가동시간의 1/4에 불과한 것의 개선을 도모할 수 있어 연간 전력소모량의 10%정도를 절감할 수 있다는 것이 보고되고 있으며, (그림 1)에서와 같이 부하이동 효과를 최대한 활용함으로써 최대 순간부하를 기준으로 냉동기를 선정하는 일반방식에 비해 1/2~2/3의 용량으로 시스템 구성이 가능하다.

(그림 1) 비축열방식과 축열방식의 비교



그리고 축열조에서의 자연적인 열손실과 추가 설치비용 부담 등의 경제적인 부분도 유리한 설계가 가능하며, 미국의 EPRI는 1996년까지 등급의 규모에서 일반냉방방식에 비해 초기투자비용이 10% 절약된 축열시스템의 설계가 가능할 것으로 예상하고 있다.

위에서 열거한 이외의 축열시스템 이점을 소개하면 다음과 같다.

### (1) 운전비용의 절감

연간 냉동기 및 히트펌프의 운전시간의 대부분을 심야전력으로 사용할 수 있기 때문에 냉난방 운전 운전비를 대폭 절감할 수 있다.

### (2) 쾌적한 냉난방, 운전상의 적응성

운전시작시나 극심한 부하 변동시에도 각 부하에 대하여 대처하는 능력이 뛰어나 소비자가 원하는 온도로 운전되어 항상 쾌적한 냉난방을 유지할 수 있다. 또한 peak 또는 off-peak 기간 등 부하패턴의 변화에 구애받지 않고 합리적 운전이 가능하며 특히 순간 극대부하의 처리 등 부하추종성을 크게 향상시킬 수 있다.

### (3) 기존설비에도 설치 가능

공기조화기, 배관, 펌프 등의 기존공조설비를 그대로 이용하여 축열식 공조시스템을 실현할 수 있으며, 신축건물에 설치시에는 설치비용을 더욱 줄일 수 있다.

### (4) 정전시의 냉난방계속

주간에 방열을 하는 동안에는 fan나 pump만이 작동하므로 소요 전력량이 작으며, 정전시에도 예비전력원에 연결하여 냉난방을 계속할 수 있다.

### (5) 저온급기방식

빙축조의 해빙운전시 출구 수온은 보통 0℃~1.5℃의 저온이 되고 냉수온도차가 커서 저온급기 기술을 채택할시 배관경, 펌프를 작게할 수 있다. 또한 저온냉수의 이용에 있어서 송풍온도를 낮게 하고 풍량을 작게하여 덕트크기, 송풍동력을 각각 30~40% 절감할 수 있으며 건물내 설비설치 면적을 줄일 수 있고 공조기의 크기도 30~50% 정도 축소가 가능한 것으로 보고 있다.

축열식 공조시스템이 특히 유리한 건물은 다음과 같다.

① 연간 냉방기간이 길거나, 냉방용량이 비교적 큰 건물(인텔리전트 빌딩, 호텔, 백화점, 방송실, 연구소 등)

② 낮시간의 전력수요를 줄여 전력비를 절감하고자 하는 건물(공장, 대형빌딩 등)

③ 냉방용량은 크면서도 냉방시간이 짧거나, 불규칙적인 건물(대형회의장, 실내 경기장, 종교 시설 등)

④ 냉방시간이 특히 낮시간으로 한정된 건물(사무실 건물, 오피스텔 등)

⑤ 저온(5℃~30℃)의 생활배수열이 다수 발생하는 장소(스포츠센터, 호텔, 목욕탕, 수영장 등)

### III 폐열이용 수축열식 히트펌프 시스템

현재 냉난방에 사용되고 있는 축열방식은 축열매체가 상변화를 일으키지 않고 온도차 형태로 열을 저장하는 현열(sensible heat) 축열방식과 물질의 상변화 과정에서 많은 열의 수수를 동반하는 물리적 현상을 이용한 잠열(latent heat) 축열방식으로 대별할 수 있으며 전자의 경우 물을 저장매체로 사용하는 것이 보통이다.

현열 축열방식에서는 축열매체로 값이 저렴하고 축열방식이 단순한 물을 현재 널리 사용되고 있다. 이 수축열방식은 다른 방식에 비하여 큰 체

적의 저장조가 필요하나, 냉난방을 동시에 해결할 수 있으며, 히트펌프를 사용할 경우 폐열을 활용할 수 있는 장점이 있다.

상변화물질을 이용하는 잠열축열 방식은 다시 얼음의 형태로 축열하는 빙축열방식이 가장 널리 보급되고 있으며 共晶物(eutectics)의 상변화 현상 또는 包接化合物(clathrate)의 특성을 이용하는 適溫축열방식 등이 일부 실용화되고 있다.

[표 1]에 잠열 축열방식의 종류를 나타내었다.

본 내용에서 다루고자 하는 현열축열방식의 수축열식 히트펌프 시스템 가운데 국내에서 실용화 되어 있는 시스템은 다음과 같으며, 각각에 대한 시스템 개요와 국내적용 현황을 소개하고자 한다.

- ① 공기열원 수축열식 히트펌프 냉난방시스템
- ② 변전소 주변압기 배열이용 수축열식 히트펌프 냉난방시스템
- ③ 생활배수열 이용 수축열식 히트펌프 급탕·냉방 시스템

#### [1] 공기열원 수축열식 히트펌프 시스템

한전에서는 히트펌프 적용을 위한 최초의 사업으로 공기열원 수축열식 히트펌프 시스템을 선정하였으며, '84년도에 한전 여수지점 신축사옥에 국내 처음으로 본 시스템을 설치하였다. 이 시스템은 난방시 히트펌프의 열원으로 외부의 공기를 이용하는 방식이며, 외부 공기온도가 히트펌프의 성능을 결정하게 되므로 설치시 지역 기후 조건을 면밀히 고려하여야 한다.

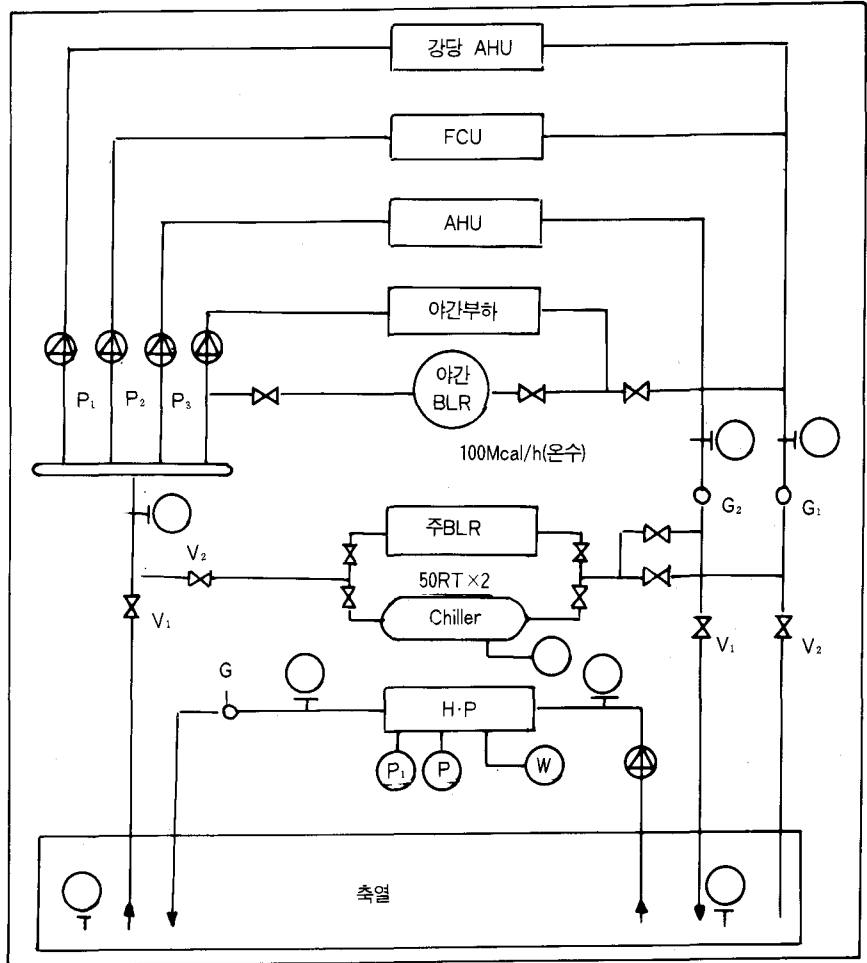
여수지점에 설치한 (그림 2)의 축열식 히트펌프 구성도에서 보는 바와 같이 이 시스템은 저렴한 심야전력 요금으로 심야에 히트펌프를 가동하여 동계 난방시에는 고온의 열(40~45℃)을 하계 냉방시에는 저온의 열(7~12℃)을 수축열조에 저장하고, 주간에 이 열을 냉난방에 이용하는 방식이다.

[표 1] 잠열 축열방식의 종류

정적 방식 (Static)	관외착빙형	外融/內融	- ice on coil
	관내착빙형 용기형	ice/기타물질 板型/圓筒型/球形	- container, capsule
동적 방식 (Dynamic)	빙편형	고온가스/stippery ice	- harvest
	슬러리형	빙슬러리/기타물질	- sturry
기타분류	사용목적에 따라	피크절감/저온수 안정공급/예비용	
	냉각방법에 따라	부동액/직접팽창	
	축열정도에 따라	전축열/부분축열	
	축열상에 따라	고체빙/액체빙	
	상변화온도에 따라	빙축냉/적온축냉/저온축냉	
	설계 및 운전제어방식에 따라	냉동기우선/축열조우선	
	시공방법에 따라	현장시공형/공장조립형	
축열물질에 따라	빙축/공용염/포접화합물/기타		
	화학축열(chemical cool storage)		

이 시스템에 대한 경제 분석결과 투자 회수 기간이 5년 이내로 우수한 것으로 나타났다. 우리나라의 중북구지역에서는 겨울에 낮은 기온으로 인하여 히트펌프의 성능이 저하되어 경제성이 떨어지므로, 기온이 온화한 남부지역에 설치하여야 경제성이 확보될 수 있다는 연구결과가 제시되었다. 이에 따라 한전에서는 남부 지역에 한전사옥을 신축하는 경우 본 시스템을 적용하고 있으며, 국내에 설치되어 운전중인 공기열원 히트펌프 시스템의 현황은 [표2]와 같다.

(그림 2) 공기열원 수축열식 히트펌프 시스템 기본구성도



[표 2] 한전에서 설치한 공기열원 히트펌프 시스템 설치내역

번호	설치사업소	준공일자	축열도(M <sup>3</sup> )	용량(R/T)	냉난방방식
1	여수지점	1986. 1. 21.	200	40x1	50% 축열
2	광주보급소	1987. 12. 31.	200	40x1	50% 축열
3	나주지점	1988. 1. 7.	200	40x1	50% 축열
4	장비관리사무소	1988. 4. 3.	200	40x1	50% 축열
5	부산지사	1988. 4. 8.	600	60x2	50% 축열
6	경남지점	1988. 5. 24.	420	40x2	50% 축열
7	진해지점	1989. 1. 12.	180	40x1	50% 축열
8	경주지점	1989. 4. 6.	350	60x1	50% 축열
9	밀양지점	1990. 6. 26.	350	80x1	50% 축열
10	전남지사	1990. 6. 30.	600	60x2	50% 축열
11	보성지점	1990. 8. .	220	40x1	50% 축열
12	고리연수원	1990. 8. .	1,250	120x4	50% 축열
13	진주지점	1990. 12. .	350	80x2	50% 축열
14	강진지점	1992. 6. .	350	30x2	50% 축열

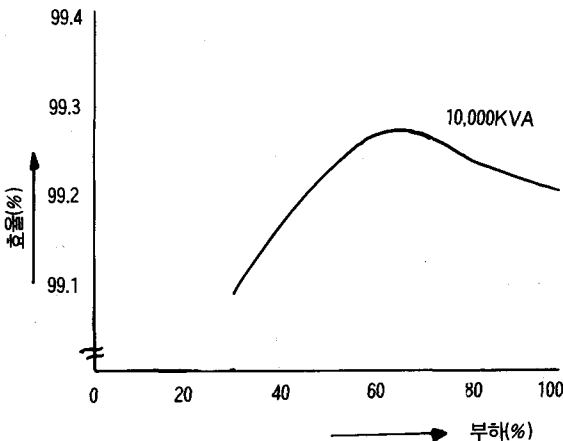
## [2] 변압기 배열이용 수축열식 히트펌프 시스템

최근 생활수준의 향상과 도시발전과 더불어 에너지의 소비가 갈수록 늘어나고 있는 실정이다. 에너지 자원의 80% 이상을 해외수입에 의존하며 특히 석유에 대해서는 거의 100% 수입에 의존하는 국내현실에 비추어 에너지 절약에 대한 관심과 노력이 절실한 시점이다.

특히 우리가 사용하는 에너지의 과반수이상은 최종적으로 폐열로 되어 버려지며, 이는 대부분 50℃ 이하의 저온 폐열이다. 이는 변전소 변압기, 송전선 케이블, 지하철, 하수처리장, 냉동창고, 화력발전소 등 다양한 도시시설에 발생되며 발생량은 막대한 것으로 알려져 있다.

이러한 저온 폐열은 도시역에 폭 넓게 존재하고 있으며, 히트펌프의 승온기술이 진보되어 유효이용이 가능하게 되었다. 이에 따라 대도시에 존재하는 폐열을 활용하여 신도시 또는 도심재개발지역에 중앙집중식으로 냉·난방을 공급하는 연구 및 사업이 국내외에서 활발히 진행되고 있는 실정이다.

다양하고 막대한 미이용 도시배열 가운데 전력회사의 시설물에서 발생하는 배열은 변전소 변압기 배열과 송전케이블 배열을 들 수 있다. 이 배열은 도심지서 발생되므로 활용이 용이하며, 통상 전력기기는 냉각을 위하여 별도의 시설과



(그림 3) 변압기의 부하와 효율간의 관계

동력이 필요한 데 배열을 냉난방 에너지로 활용함으로써 기기 냉각과 배열 이용의 2가지를 동시에 만족시킬 수 있으므로 상당히 에너지를 절감할 수 있어 다른 도시 미이용 도시배열과 비교하여 유리한 조건을 지니고 있다.

본 내용에서는 미이용 도시배열 가운데 국내에서 실용화되고 있는 변전소 변압기 배열에 관한 내용을 이론과 사례를 중심으로 설명하고자 한다.

### 1) 변압기 배열이용 시스템 이론

변전소에서는 전압을 높이거나 낮추기 위하여 변압기를 사용한다. 이 변압기는 부하의 증가에 비례하여 손실이 발생하고, 이 손실은 열에너지로 변하여 변압기 내부에 있는 절연유의 온도를 상승시킨다. 이 온도상승을 억제하기 위해서 변압기는 자연대류로 냉각하거나, 변압기의 냉각을 위하여 냉각팬 및 냉각탑을 이용하여 공기나 물로 강제 냉각한다.

이 변압기에서 발생하는 냉각에 필요한 동력을 감소시킬 뿐만 아니라 건물에서 난방비용이 절약되는 2중의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다.

#### (1) 전력용 변압기의 발열량

전력용 변압기는 통상 60~75% 정도의 부하율에서 운전하는 경우가 많기 때문에 그 부하율에서 최고 효율을 유지하도록 설계되어 있다. 변압기의 입력과 출력은 전력인데, 입출력 차이의 손실은 열에너지로 변환된다. 또한 변압기의 손실은 전압 인가시 발생하는 무부하손과 부하전류에 의하여 발생하는 부하손으로 구분되며, 부하손은 부하전류의 제곱에 비례한다.

즉 부하손을  $I^2 R$ , 무부하손을  $L_E$ , 출력을  $EI$ 로 하면

$$\begin{aligned} \text{변압기의 효율 } \eta &= \frac{EI}{EI + I^2 R + L_E} \\ &= \frac{E}{E + IR + L_E/I} \quad \dots(\text{식 1}) \end{aligned}$$

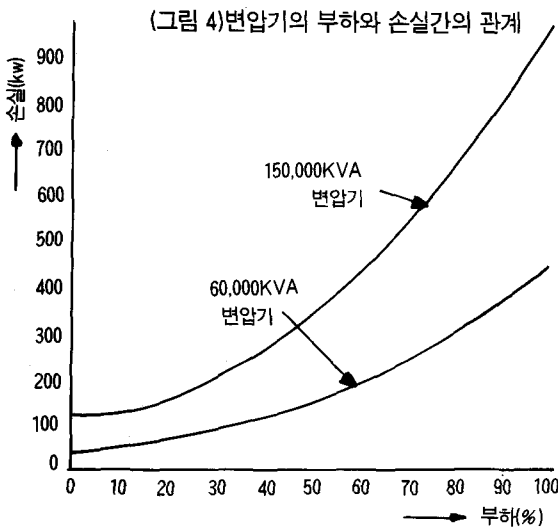
이 되고 무부하손은 부하에 따라 변화지 않으

므로 효율이 최대가 되는 것은 (식 1)의 분모가 최소가 되는 조건이다.

$$\frac{d}{dI} (E+IR+L_E/I) = R - \frac{L_E}{I^2} = 0$$

$$\therefore I^2 R = L_E$$

즉 무부하손이 부하손과 같은 값이 되는 경우이다. (그림 3)은 변압기의 부하와 효율간의 관계를 (그림 4)는 변압기의 부하와 손실간의 관계를 나타내고 있다.



[표3] 변전소 주변압기의 냉각방식

	냉각방식	열전달방식	특성 및 적용범위
1	건식자냉식	(자연대류) 열 → 공기	소용량의 변압기에 적용, 배전용 트랜스에서 사용하는 경우가 많음
2	건식풍냉식	(강제대류) 열 → 공기	수만 KVA이하의 변압기에서 채용 경향이나 고가이며 송풍설비의 신뢰성에 문제가 있음
3	유입자냉식	(자연대류) (자연대류) 열 → 절연유 → 공기	중소용량에 적합하며, 배전용 변압기에서 일반적으로 사용하는 방식
4	유입풍냉식	(자연대류) (강제대류) 열 → 절연유 → 공기	상부의 절연유를 공기로 열전달을 촉진하기 위하여 송풍기로 공기를 공급하여 냉각하는 방식, 중용량 이상의 변압기에 채용
5	송유자냉식	(강제대류) (강제대류) 열 → 절연유 → 공기	절연유를 유펌프로 방열기에 전달하여 냉각, 수만 KVA의 배전용 변압기에서 일반적으로 사용
6	송유풍냉식	(강제대류) (강제대류) 열 → 절연유 → 공기	위의 방열기로 열전달을 촉진하기 위하여 냉각을 부착한 방식, 옥외의 수십만 KVA 변압기나 옥내의 수만 KVA 변압기에 채용
7	송유수냉식	(강제대류) (강제대류) 열 → 절연유 → 수	옥내변전소에서 수만 KVA 이상의 대용량 변압기에 채용, 냉각수 순환방식은 지하수 또는 하천수를 사용하는 경우가 있음

## (2) 변압기 냉각 및 열회수

변압기에서 발생하는 배열은 적당한 방법으로 제거시켜야 하는데, 만일 변압기의 내부온도가 상승하면 절연열화 및 절연과피가 되어 운전에 지장을 초래하기 되므로 [표 3]과 같은 냉각방법을 사용하여 변압기를 냉각한다. 전력공급용 대용량 변압기는 가격 및 용적 등의 이유로 건식 변압기를 사용하는 경우가 적으므로 습식의 유입 변압기에 대하여 주로 설명하고자 한다.

변압기의 발열은 코일 철심부에서 발생하여 주변의 절연류로 전한다. 더워진 절연유는 자연 대류 또는 송유펌프에 의하여 油-空氣 또는 油-水 열교환기로 전달되고, 이 열교환기에서 절연유는 공기 또는 물에 의하여 냉각되어 다시 코일 철심부로 돌아온다. 각 유입 변압기의 권선 및 유의 설계조건이 [표 4]에 있다. 열회수는 이 절연유를 통하여 직접 또는 간접적으로 이루어지며, 열이용 입장에서 보면 가능한 한 고온의 열을 회수하면 좋으나, 고온의 온도에서 운전하게 되면 절연열화를 촉진할 우려가 있으므로 적당한 온도 조건을 선정할 필요가 있다.

## 2) 국내의 변압기 배열이용 사례

### (1) 개요

한전 전력연구원에서는 변압기 배열이용 냉난

[표 4] 유입변압기의 설계조건

		온도측정법	온도 상승 한도 (°C)
권선	유 자연대류의 경우	저 항 법	55
	유 강제대류의 경우	저 항 법	60
유	유가 직접 외기에 접촉하는 경우	온도계법 *1	50
	유가 직접 외기에 접촉하는 않는 경우	온도계법 *2	55
절심이 타금속부분의 절연물에 근접한 표면		온도계법 *3	근접 전연물을 손상하지 않은 온도

[표 5] 국내의 변전소 변압기 배열이용 시스템 설치사례

번호	설 치 사 업 소	준 공 일 자	축열조 용량 [m <sup>3</sup> ]	열원기기 용량 [RT]	비 고
1	서 부 지 점	1987. 8	200	히트펌프 80x1	50% 축열
2	광 명 지 점	1989. 9	360	히트펌프 50x2	50% 축열
3	대구전력 관리처	1989. 12	200	히트펌프 60x2	50% 축열
4	부산진전력소	1992. 11	100	히트펌프 30x1	50% 축열
5	성 동 지 점	1994. 4	400	냉동기 80x1	직접 배열이용

[표 6] 서부지점에 설치한 히트펌프 사양

형 식	용량 [USRT]	대 수	온도 조건 (°C)				압 축 기		냉매	PH/V/Hz
			냉 수		온 수		형 식	kW		
			입구	출구	입구	출구				
수열원식	70	1	7	12	39	47	스크류	80	R-22	3/380/60

방 시스템이 변압기 냉각과 에너지 절약에 효과가 있는 것으로 판단되어 1987년 초에 본 연구를 착수하였으며, 시범작용을 위하여 한전 서부지점 및 마포변전소 신축건물에 본 시스템을 설치하였다.

본 시스템을 2년간 운전한 결과 변압기 냉각 뿐만 아니라 에너지 절약면에서 상당히 효율적인 것으로 나타나 확대보급을 추진하고 있으며, 변전소와 인접하여 사육을 신축하는 경우에는 [표 5]에서와 같이 본 변압기 배열이용 냉난방 시스템을 계속 적용하고 있다.

(2) 한전 서부지점 건물 적용사례

본 시스템이 국내 처음으로 시범 적용된 서부지점 건물은 서울시 마포구 도화동에 소재하고 있으며, 건물면적은 8,435m<sup>2</sup>(2,556평)이고, 변전소를 포함한 지하 3층과 사무실로 사용되는 지상 4층으로 구성되어 있다.

서부지점 건물 지하에 위치하고 있는 마포변전소에 설치한 주변압기는 154KV/22.9KV 송유수냉식 60KVA 2대가 설치되어 있으며, 각 변압기에 연결된 油-水 열교환기를 통하여 냉온수조

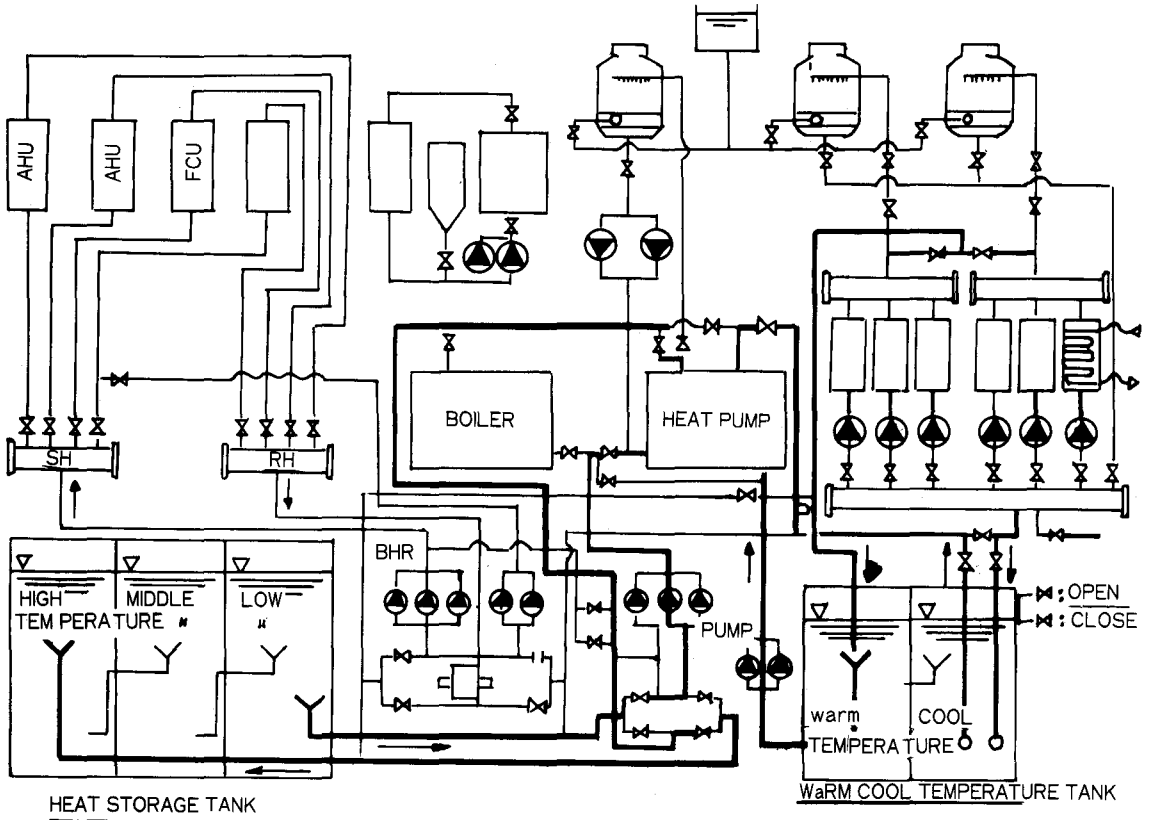
에 변압기 배열을 물로 냉온수조에 저장하고 히트펌프를 이용하여 地卜건물의 난방에 사용한 것이 특징이다.

서부지점 변압기 배열이용 시스템은 기본적으로 동계에는 변압기 열원으로 히트펌프를 이용하여 난방에 적당한 온도를 높여 사용하고, 하계에는 일반 축열식 시스템과 같이 심야에 히트펌프를 사용하여 축열조에 냉열을 저장하고 주간에 이를 난방에 사용할 수 있도록 하였다. 또한 히트펌프를 이용하지 않고 변압기 배열을 직접 난방에 사용할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 서부지점에 설치한 히트펌프의 사양은 [표 6]과 같으며, 시스템 개요도는 (그림 5)에 나타나 있다. 각 운전모드를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

① 히트펌프 이용 난방운전 모드

난방운전시에는 수냉식 변압기를 냉각하면서 발생한 열(약 30°C)를 온수조에 저장하며, 심야에 히트펌프는 온수조에 저장된 열을 열원으로 이용하여 난방 열(45°C)를 생성하고 이 온수를 축열조에 저장한다. 주간에는 이 축열조에 저장

(그림 5) 서부지점 변압기 배열이용 축열식 히트펌프 냉난방 시스템



된 온수를 FCU와 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 열을 공급한다.

② 히트펌프 이용 냉방운전 모드

냉방운전시에는 수냉식 변압기는 자체의 냉각탑을 통하여 열을 외부로 방출하고, 심야에 히트펌프를 가동하여 냉열(7℃)을 생성하여 축열조에 이 냉수를 저장한다. 주간에는 이 냉열을 FCU 및 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 공급한다.

③ 직접 변압기배열 이용 난방운전 모드

이 모드에서는 변압기 배열을 열교환기를 통하여 45℃정도로 온도를 높여 냉온수에 저장하고, 이 열을 히트펌프를 이용하지 않고 직접 난방에 이용한다. 따라서 배열량만 충분하다면 히트펌프 운전에 따른 전력비용을 절약할 수 있어 상당히 효율적이다.

(3) 변압기 배열이용 시스템 적용결과

본 변압기 배열이용 히트펌프 시스템을

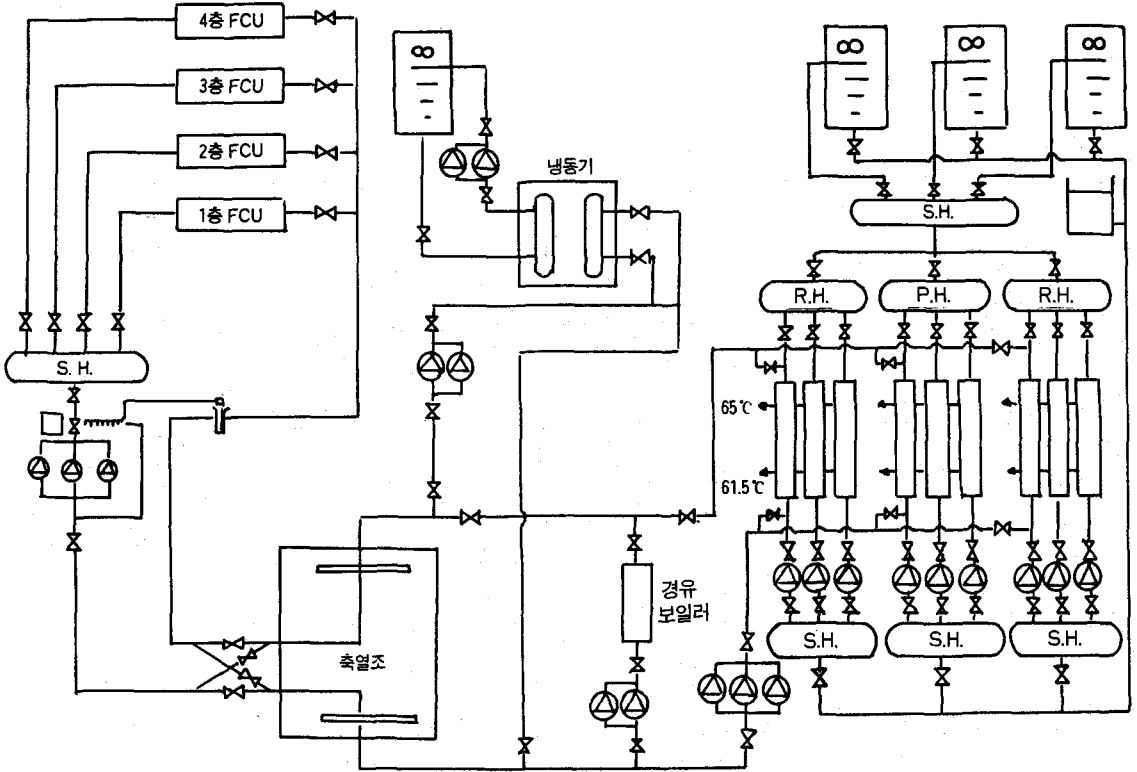
1987년 8월부터 1990년 2월까지 약2년 반동안 히트펌프 방식으로 운전한 결과 만족할 만한 운전 결과를 도출하였다. 이 운전 과정에서 변압기 배열을 히트펌프를 거치지 않고 직접 난방에 활용하는 방안을 착안하여 이 모드로 시험운전한 결과, 변압기 배열회수 온도를 45℃~50℃로 유지할 수 있다는 사실이 확인되었다.

그 이유는 열공급 장소인 변전소가 열사용 장소인 사무실과 동일건물내에 있어 열공급에 따른 배관손실이 거의 없으므로 난방온도까지 승온된 열을 온도저하없이 직접 난방에 사용할 수 있기 때문이다. 그러나 지역냉난방 경우와 같이 열사용 장소가 변전소로 부터 떨어져 있으면 히트펌프를 사용하는 시스템으로 구성하는 것이 바람직하다.

이에 따라 1990년 12월부터 1994년 현재까지 히트펌프를 사용하지 않고 온수조에 저장된 변압기 배열을 직접 난방에 사용하였으며, 그 결과 변



(그림 6) 제안한 변압기 배열이용 축열식 히트펌프 냉난방 시스템



압기 배열로 난방부하를 전부 감당하였으며, 순간 피크 열부하 공급에 지장이 없었다. 따라서 서부지점에 시범 적용한 결과를 종합적으로 분석하면 변전소와 사무실건물이 인접하면 변압기 배열 이용 냉난방 시스템은 (그림 6)과 같은 시스템을 구성하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

제안한 변압기 배열이용 냉난방 시스템은 동계에는 변압기 배열온도를 45°C 이상을 유지할 수 있으므로 난방시 축열조에 이 열을 저장하고 직접 FCU와 AHU를 통하여 건물 각 사무실에 난방을 공급하며, 열부족을 대비하여 소형의 온수보일러를 보조로 설치한다. 또한 하계에는 심야에 히트펌프 대신 냉동기를 설치하여 심야에 7°C의 냉수를 축열조에 저장하며, 주간에 축열조에 저장된 냉수를 FCU와 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 공급한다.

위에서 제안한 시스템을 적용하면 다음과 같은 장점이 있다.

① 히트펌프 시스템으로 구성하면 축조열과 온수의 2조를 설치하여야 하나, 제안한 시스템은 축열조 1조만 설치하여도 되므로 설치비용이 절감된다.

② 가격이 비싼 히트펌프 대신 냉동기와 소형 보일러를 사용하면 되므로 열원기기의 설치비도 줄일 수 있다.

③ 난방시 히트펌프를 가동하지 않고 변압기 배열만 가지고 운전하므로 순환펌프 동력외에는 에너지 비용이 거의 들지 않아 운전비면에서도 상당히 경제적이다.

### 3) 소결론

지금까지는 전력공급 설비 가운데 변전소 변압기 배열만을 검토하고 적용하였으나, 실제 송전케이블, 제어기기, 통신기기 등 다양한 설비에서 발생하는 폐열이 상당히 존재하고 이 열을 충분히 이용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 이 폐열을 적절히 활용하여 도시에서 폐열 발산으로

인한 환경공해를 방지하고, 전력기기의 운전신뢰도를 향상시키며, 에너지 자원을 절약하는 등 3중의효과를 얻을 수 있도록 노력할 필요가 있다. 특히 이 폐열이 주로 도시에서 발생하므로 다양한 열원을 이용한 지역냉난방 및 급탕사업을 추진한다면 효과가 더욱 클 것이라 예상된다.

### [3] 생활배수열이용 수축열식 히트펌프 시스템

최근 국민소득이 증대되어 레저 및 스포츠에 대한 관심이 높아짐에 따라 싸우나 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 중간전력을 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 연구 기술이 공식적으로 발표된 바가 없어 이러한 시스템의 확대, 보급을 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 제시하고 있다.

#### 1) 폐수열 이용현황

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

본 연구소에는 표본으로 대전 근교의 호텔 5개소, 스포츠센터 2개소, 골프장 2개소, 수영장 3개소의 4가지 유형을 조사하였고, 조사된 각 건물의 온·냉수 사용량 및 폐수온도는 [표 7]과 같다.

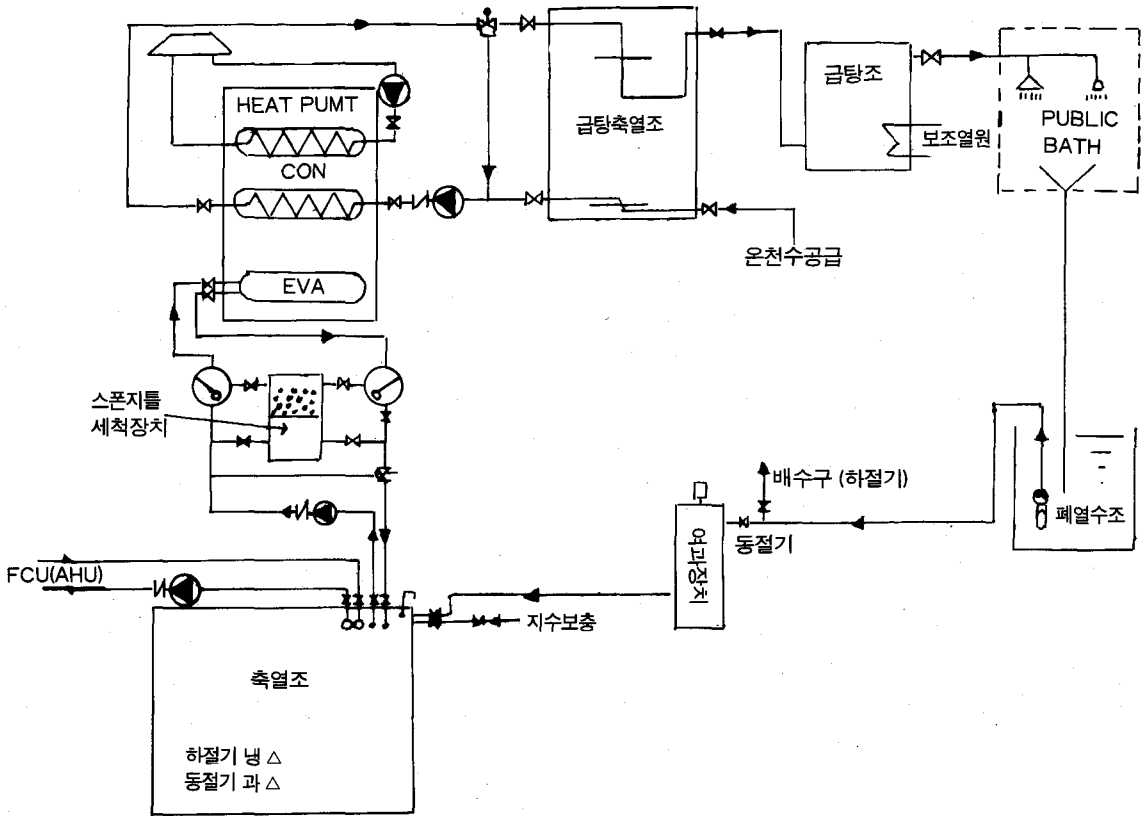
표본건물에 대한 폐수열량 조사 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 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 부족한 수영장등이 최적이고, 대중탕, 사우나 시설이 있는 호텔도 적정대상이다.
- ③ 본 연구의 시범적용 대상건물인 온천수의

[표 7] 각 건물의 온·냉수 사용량(동절기) 및 폐수온도

건물	구분	급탕공급온도	온수사용량	냉수사용량	사용시간	폐수온도 (℃)	동절기이용객수 (인)
		(℃)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )			
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
스포츠센터	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	550

(그림 7) 폐수열이용 축열식 히트펌프 시스템 개요도(온천수 이용)



온도가 30℃이하인 온천관광지 부근 호텔 및 여관도 폐열이용 히트펌프 시스템으로 구성하면 경제성이 확보될 수있다.

④현재 각 건물에 폐수열 회수기가 설치되어 있으나 관리, 운용의 소홀로 인하여 사용되는 곳은 단 2속(22.2%)뿐이었고 그로 인한 절약효과는 약 15%이다.

## 2) 적용대상별 적정시스템 설계

### (1) 시스템 개요

폐수를 축열식 히트펌프 금탕·냉방 시스템의 개요도가(그림 7)에 나타나 있으며, 금탕용 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 싸우나와 샤워장 등에서 목욕후 배출되는 30℃의 폐열수를 폐열수조에 저장
- 심야에 값싼 심야전력을이용 히트펌프를 가동하여 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 보조금탕조에서 보일러로 50℃까지 높인후 싸우나와 샤워장 등의 금탕에 사용

### ② 하절기 운전모드

- 하절기에는 폐열수를 이용하지 않고 하수로 배출
- 심야에 히트펌프 가동하여 증발기에서 냉축열조(폐열수조를 이용)에 저장된 12℃의 시수

[표 8] 히트펌프 설계조건

항 목		단 위	규 격	항 목		단 위	규 격		
냉 방 용 량		Kcal/Hr	120,000(40R/T)	용 량 제 어		%	30 ~ 100(비례제어)		
급 탕 용 량		Kcal/Hr	130,000	냉 매 종 류		-	R 22 (HCFC-22)		
냉 방 운 전	냉 수 조 건	입 구 / 출 구 온 도	℃	12/7	급 탕 운 전	폐 열 원 수	입 구 / 출 구 온 도	℃	10/5
		접 속 배 관 경	A	65			접 속 배 관 경	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
	온 수 조 건	입 구 / 출 구 온 도	℃	45/50	온 수 조 건	온 수 조 건	입 구 / 출 구 온 도	℃	45/50
		접 속 배 관 경	A	80			접 속 배 관 경	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

를 7℃의 냉열을 주간엔 건물냉방에 사용

○히트펌프 가동시 응축기에서 발생하는 열을 온천수조에 저장된 온천수(시수)의 온도를 높이는 데 사용함

○이 45℃의 온천수(시수)를 하계시에는 온도를 높이지 않고 급탕에 직접 사용

○온천수조를 전체의 온도가 45℃ 이상으로 올라가서 배열이 불가능하면 냉방운전에 저장없이 없도록 냉각탑을 운전하여 이 열을 배출

(2) 적용대상별 시스템 설계기준

폐열이용 축열식 히트펌프 시스템의 적용은 건물에 대중목욕탕이나 사우나 시설이 있어 동절기에 온수사용량이 많이 폐수량이 많고, 하절기에 냉방부하가 큰 건물이면서 중앙공급에 의해 급탕과 냉방이 이루어 지는 건물이어야 효율가치가 크다고 볼 수 있다. 따라서 많은 온수를 소비하는 목욕탕이나 수영장을 포함하는 스포츠센터, 호텔, 골프장 등이 작용가치가 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 폐수온도와의 관계
- ③ 하절기에 급탕부하와 냉방부하와의 관계
- ④ 공조방법(중앙집중식 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 하며, 부족한 부하는 기존방식으로 설계하는 것이 바람직하다.

예를 들어 건물부하 특성에 의하여 냉방부하가 급탕보다 크면 냉방기준으로 설계시 히트펌프 용량과 축열조크기가 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 해결하는데, 이 경우 급탕부하와 냉방부하의 열균형이 적절히 이루어져야 한다. 특히 하절기에는 계절관계로 급탕부하가 적어서 히트펌프의 응축기측이 급탕조로 열배출이 불가능한

경우 별도의 냉각탑을 설치하여 냉방운전에 지장이 없도록 설계하여야 한다.

### 3) 속초 생활연수원 건물에 시범적용

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

이 건물은 정남향으로 위치한 지하 1층, 지상 5층구조로 되어 있으며, 객실이 15평형 30실, 14평형 20실로서 총 50실의 건축면적 1540.7㎡, 냉방체적이 6871㎡인 콘크리트조적조 건물이다. 현재 본 시스템은 속초 생활연수원 건물에 설치되어 '94년초부터 성공적으로 운전되고 있으며, 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 1년간 운전 성능측정 분석 및 경제성 평가를 수행하였다.

#### (1) 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.

- ㉠ 우선 건물의 냉방부하량에 의하여 히트펌프와 냉축열조 용량을 결정한다.
- ㉡ 히트펌프 용량과 아울러 급탕부하와 폐열량을 종합적으로 분석하여 급탕조와 폐수저장조(냉축열조) 용량을 결정한다.
- ㉢ 만일 급탕부하가 히트펌프를 제공가능한 급탕용량보다 크면 히트펌프 공급가능 급탕량을 기준으로 급탕조 용량을 결정하고, 부족한 분은 보조보일러 용량결정시 반영한다.
- ㉣ 만일 폐수저장조 용량이 냉축열로 용량보다 크면 (b)에서 폐수저장조를 냉축열조 용량으로 선정하여 급탕조 용량을 다시 결정하며, 급탕부와 부족한 분은 보조보일러 용량결정시 반영한다.

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

#### 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 4-RT이다. 본 히트펌프 시스템에 대한 설계조건을 [표 8]에 나타내었다.

- 피크일 부하(냉방기준) : 2,302,000Kcal/day

- 여유율 : 1.1

- 일일 총 운전시간 : 22시간(야간:10시간, 주간:12시간)

$$Q = \frac{2,302,000\text{Kcal/day} \times 1.1}{22\text{Hr/day}}$$

$$= 132,400\text{Kcal/Hr}(40\text{RT})$$

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.

#### ② 냉축열조의 설계

냉축열조의 용량산정은 냉부하를 충분히 만족하여야 하며, 축열조 용량산정 결과는 약 220 TON으로 나타났다.

- 히트펌프 냉방용량 : 132,400 Kcal/Hr(4 ORT)

- 축열조 효율 : 95%(일조식 축열조)

[표 9] 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	1018.2	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	471.8	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
표준	1057.2	58.4	405.6	3.03	7.84

- 축열조 이용온도차 : 5℃

- 심야부하 : 272,000Kcal

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

$$= 221\text{m}^3$$

본 시스템에 사용한 축열조는 축열효율을 향상시키기 위하여 물의 비중차에 의한 일조식 성층형으로 구성한 것이 특징이다. 이를 위하여 축열조에 연결되는 배관에는 축열조 내측에 원판형 디퓨처를 설치하였다. 축열조의 설치장소는 건물과 인접한 외부의 지중이고, 이중벽의 철근콘크리트 구조로 이중벽 사이에 단열재를 삽입하였다. (그림 8)에 냉축열조의 평면도와 단면도가 나타나 있다.

### ③ 급탕축열조 및 폐수저장조의 설계

폐수저장조로 유입되는 폐수의 원천이 되는 싸우나와 객실 목욕탕에서는 약 80ton의 급탕을 사용하며, 목욕시 급탕을 통하여 들어온 온수와 시수인 냉수를 혼합하여 사용하므로, 실제 일일 폐열수량은 온수(60℃ 기준)와 냉수(15℃)의 혼합비율을 0.8:1로 산정하여 계산한 결과 132.7

ton으로 나타났다. 폐수저장조는 춘추동계시 냉축열조를 사용할 계획이므로, 계산한 폐열수량이 냉축열조 용량인 220TON보다 적어서 충분히 폐열수를 저장할 수 있다.

히트펌프 응축기에서 공급하는 급탕축열조의 용량은 급탕기구수 방법에 의하여 일일 급탕 사용시간을 대략 6시간으로 가정하였고, 급탕축열조 이용온도차는 히트펌프 출구온도인 최대급탕 온도 50℃에서 온천수 온도인 30℃를 제한 20℃로 하였으며, 히트펌프 40TON에 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

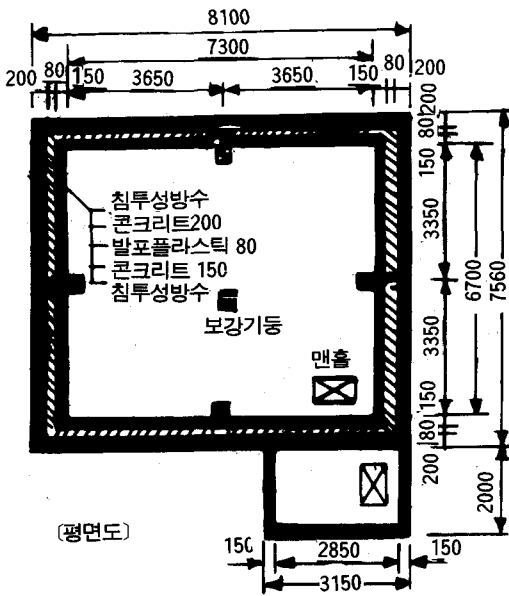
$$V = \frac{150,000\text{Kcal}/\text{Hr} \times 10\text{Hr}}{20^\circ\text{C} \times 0.92 \times 1,000\text{Kcal}/\text{m}^3\text{C}}$$

$$= 81\text{m}^3$$

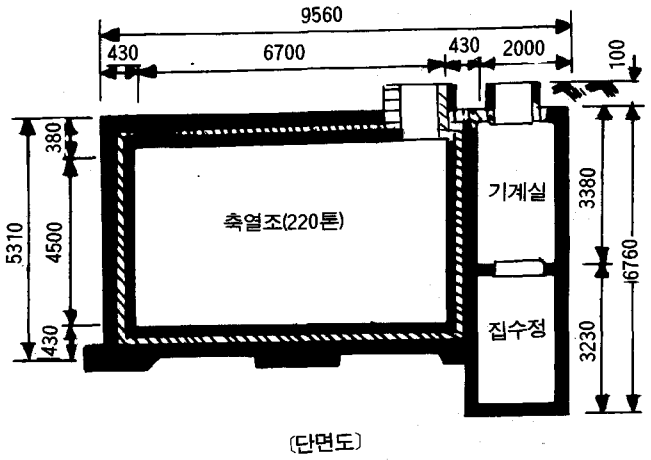
### ④ 자동세정장치 및 여과장치 설치

히트펌프 증발기 열교환기에 폐수가 유입됨에

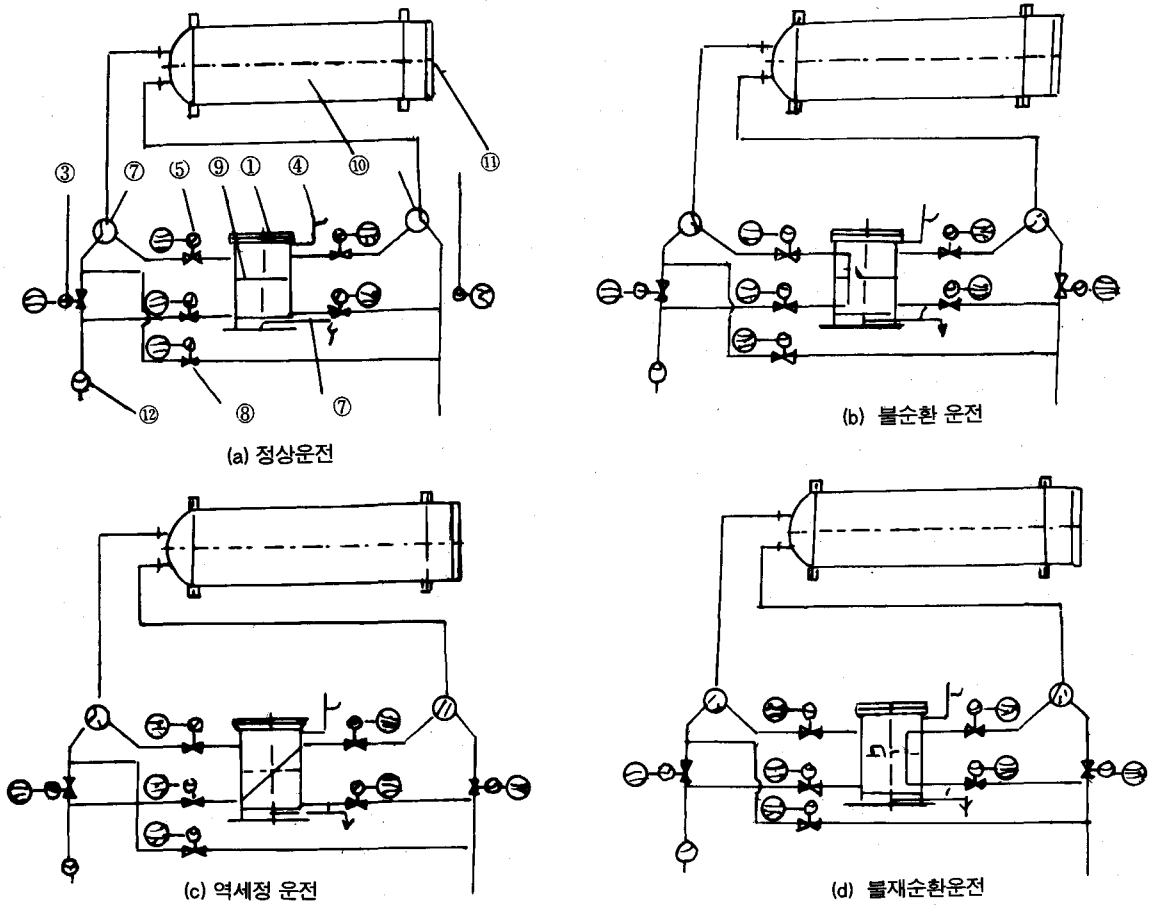
(그림 8) 냉축열조의 구조도



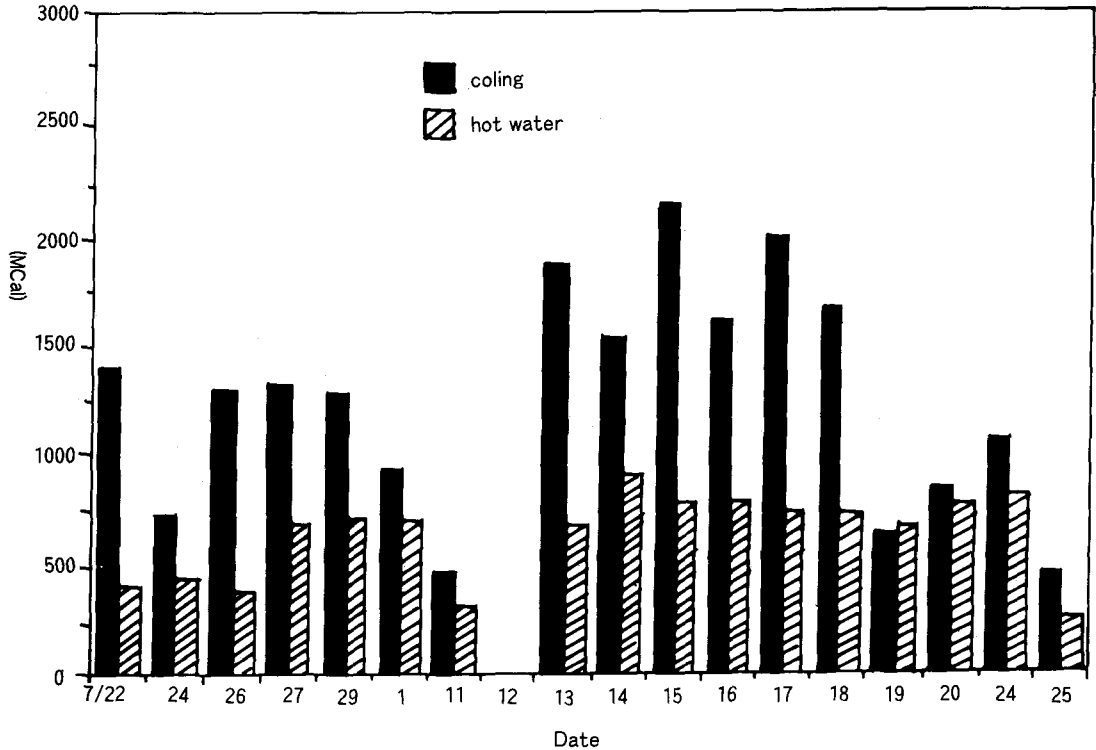
따라 튜브내에 오물이 부착되는 데, 장기간 운전하면 부착된 오물로 인하여 히트펌프의 효율이 떨어져 효율적인 운전에 지장을 초래하게 된다.



(그림 9) 스폰지블 자동세척장치의 폐수순환 흐름도



(그림 10) 일별 냉방 및 급탕 사용열량 비교



이 문제를 해결하기 위하여 스폰지 볼을 튜브내로 통과시켜 오물을 제거하는 자동세정장치를 개발하였다. 운전방식은 크게 나누어 정상운전, 역세정운전, 불순환운전, 불재순화운전의 4가지가 있고 자동으로 주기적 운전이 수행된다. 각 운전 방식에 대한 폐수의 순환경로를 보여주는 계통도가(그림 9)에 있다.

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

(2) 시스템 성능측정 및 분석

설계된 폐수열이용 축열식 히트펌프 시스템을

시험적용하여 1994년초부터 1년간 기본적인 시스템 성능을 측정하고 분석하였다. 성능측정 및 분석은 주로 시스템의 전반적인 열성능과 시스템 각각의 Components의 성능으로 구분하여 수행되었으며, 한전 속초생활연수원에 시험적용된 본 폐수열 이용 축열식 히트펌프 시스템은 기존의 시스템을 최대한 이용하면서 추가로 필요한 기기 및 배관, 축열조 등을 부착하는 것으로 하였다.

① 하절기 성능분석(급탕+냉방)

(가) 열부하 및 냉방성능 분석

(그림 10)에 측정데이터상에 전혀 문제가 없는 '94년 하계의 시스템 측정결과를 종합하였다. 일 평균 냉방공급 열량은 1,287.4Mcal / day로 나타났다. 히트펌프로 냉열을 생산하면서 동시에 급탕수를 가열한 열량은 일 평균 622.6Mcal이며 급탕사용량은 52.6m<sup>3</sup>/day이다. 이 냉방 및 급탕 부하 전체를 히트펌프에 의해서 공급되었다. 히트펌프에 의해 가열된 급탕의 온도는 대략 40~50℃ 정도이다.

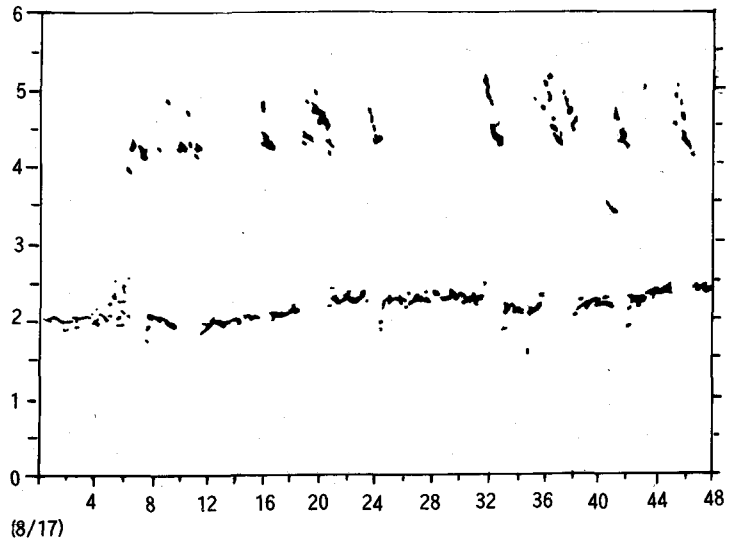


본 시스템 설계시 계산된 설계 냉방부하(년중 일최대부하 임)는 2,302.4Mca l /day로서 이 계산치가 연중 일 최대부하임을 고려할때 본 측정치와 대단히 유사하다고 볼 수 있다.

(나) 히트펌프 기기 성능분석

하절기 정상적인 작동조건하에서 히트펌프의 성능을 보면 순간 냉방 COP의 분포에서도 알 수 있는 바와 같이 히트펌프가 “냉방+급탕”모드로 작동하는 것이 공냉식의 “냉방”모드로 작동하는 것보다 COP가 2배 이상 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 공기 냉각식 옥축기에 의존한다.

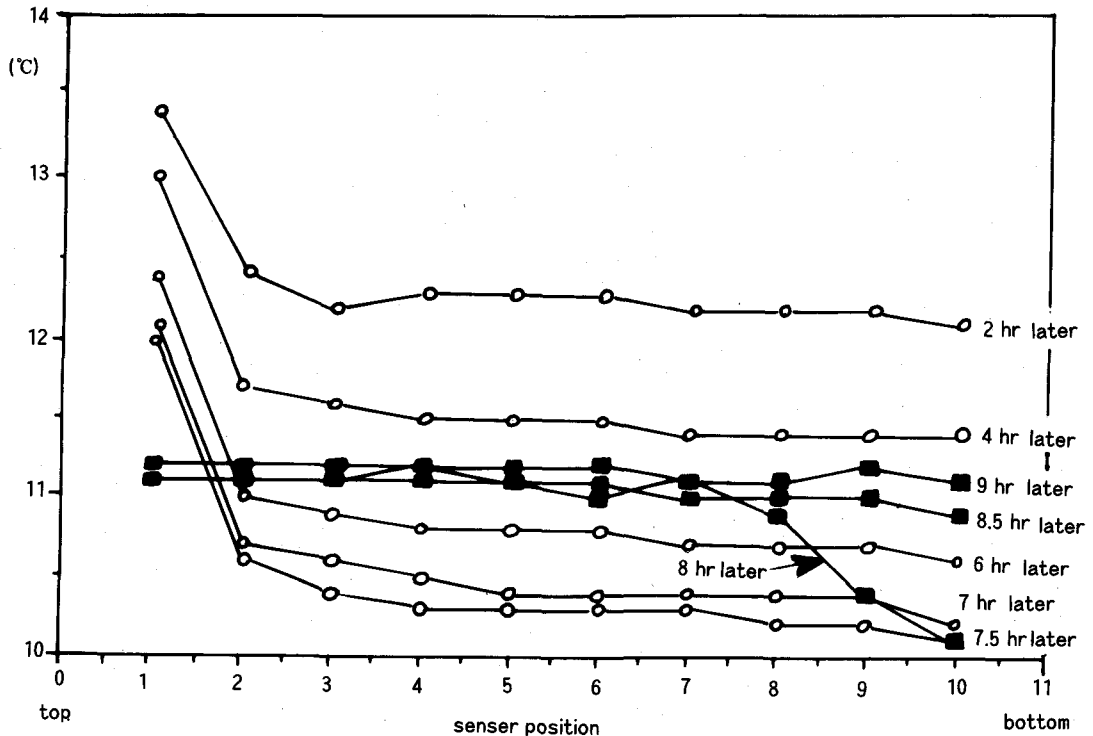
(그림 11) 히트펌프의 순간 COP



② 축열조 온도층화 현상 분석

축열조의 온도층화는 히트펌프의 선응에 영향을 미친다. 냉방기간 중에 축열조의 온도층화현상은(그림 12)에 나타나 있다. 여기서 보면 냉방

(그림 12) 축방열 과정시의 축열조 온도층화 현상



없이 축열과정을 7시간 30분 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.

### ③ 기타계절 성능 분석(급탕 Only)

히트펌프가 폐수를 저온열원으로 하여 급탕을 가열하기 시작한 것은 '95년 9월 1일부터이며, [표 9]에 동절기의 성능측정 결과 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(손실열량 포함)은 1057.2 Mca / day이다. 그리고 히트펌프에 의해 평균 COP는 3.03이다.

히트펌프는 폐수를 저온열원으로 사용하므로

히트펌프의 성능은 무엇보다도 폐수의 온수가 중요한 영향을 미친다. 이 폐수조내의 폐수의 온도는 (그림 13)에서 알 수 있는 바와 같이 시간에 따라 많은 변화가 있으며 대략 28.5~37.5℃ 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 날(그림에서는 1월 9일)의 저녁시간과 평일의 아침 및 저녁시간대의 폐수조의 온도인 32~33℃ 전후라고 볼 수 있다.

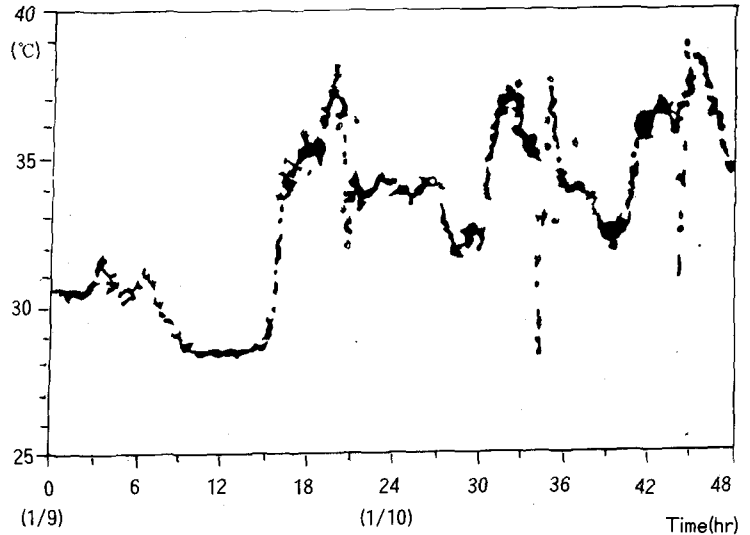
이 온도의 폐수가 축열조로 유입되어 히트펌프의 저온열원으로 사용되는데 축열조내의 폐수의 평균온도는 대략 21~24℃ 정도이다. 히트펌프의 성능과 직접적으로 연관된 폐수의 증발기 입출구 온도는 대략 축열조의 평균온도와 유사하

며 입출구 온도차는 대략 5℃ 정도가 된다. 폐수의 증발기 순환 유량은 하절기보다 약간 적은 19m<sup>3</sup>/hr 전후이다.

### (3) 시스템 경제성평가

폐수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 경제성 검토를 하기 위해서는 먼저 여러가지 변

(그림 13) 폐수조내 폐수의 평균온도



수들에 대한 정보가 필요하다. 본 분석에서는 한전 속초생활연수원의 성능실험 결과의 시공에 따른 비용을 근거로 수명가산정법(Life Cycle Analysis Method)으로 분석하였다.

#### ① 에너지 소비량 계산

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

#### (가) <급탕> 기간

한전 속초생활연수원은 1년내내 계속해서 월 4일의 보수기간을 제외한 기간을 한전 가족이 3박4일 일정으로 입소하기 때문에 7월과 8월의 <급탕+냉방기간>을 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 조건하에서 계산된다.

- 단속운전 계수 : 0.9
- 경유 1 당 발열량 : 9,200kcal/ℓ
- 기기효율 : 0.75
- 보일러 사용시 경유 사용량 :  

$$Q = (1,057,200\text{kcal/day} * 263\text{day}) / (0.9 * 9,200\text{kcal}/\ell * 0.75)$$

$$= 44,774 \ell$$

#### (나) <급탕+냉방> 기간

<급탕+냉방>기간은 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 : 464.6)
- 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 히트펌프가 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 경유 사용량 :  

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

$$= 5,414 \ell$$

○ 냉동기로 냉열공급시 전력사용량(P)  
 펌프동력 및 냉동기의 냉각탑의 동력을 고려하지 않으면 냉동기의 전력사용량은 냉동기의 COP를 3.0으로 가정할 때 다음과 같다.

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

$$= 26,946\text{kWh}$$

#### ② 에너지 소요비용 계산

경제성평가를 위하여 산출한 기존 냉동기와 보일러 시스템과 축열식 히트펌프 시스템과 에너지 사용량에 따른 연간 에너지 소요비용은 [표 10]과 같다.

#### ③ 시스템 경제성분석

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

- 히트펌프 시스템의 추가 투자 비용 : 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 탱그청소 비용 : 1,010천원 (매년 초기투자비의 2%)

[표 10] 운전비용 비교검토

냉동기 + 보일러 방식(기존)	히트펌프 + 온천수이용 방식(개선)
1) 전력기본요금(별표 1) 참조 - 140kW * 4,370 * 12월=7,342천원 2) 난방요금 : 개선시스템과 동일 3) 하계 난방요금(2개월) - 전기사용료 : 2,070천원 26,946kWh * 76.8원=2,070천원 4) 급탕요금 가. 하절기 (7-8월) : 1,283천원 - 경유사용량=5,414 ℓ - 연료비 44,774 ℓ * 237원/ℓ = 1,283천원 나. 기타계절(9-6월) : 10,612천원 - 경유사용량=44,774 ℓ - 연료비 5,414 ℓ * 237원/ℓ =1,283천원 ** 연간 총 운전비용=21,307천원	1) 전력기본요금(별표 1) 참조 - 50kW * 4,370 * 25,538/55,210 * 12월=1,165천원 2) 난방요금 : 기존시스템과 동일 3) 하계 난방요금(2개월) ○심야전기사용료 : 2,386천원 - 심야=30,672kWh * 25.3원=776천원 - 기타=24,538kWh * 65.6원=1,610천원 4) 급탕요금 가. 하절기 (7-8월) : 없음 나. 기타계절(9-6월) : 2,699천원 * 전기료 : (히트펌프 가동) 106,673kW * 25.3 =2,699천원 ** 연간 총 운전비용=6,250천원
연간 운전비용 차이 : 21,307 - 6,250 = 15,057천원	

○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 분석결과는 감소 전력에 따른 한전 지원금이 있는 경우에는 투자 회수기간이 2.4년 그리고 없는 경우에는 4.0년으로 경제성은 시스템 수명을 감안한다면 대단히 좋은 것으로 나타났다.

#### 4) 소결론

본 연구에서는 폐수열을 이용한 축열식 히트펌프 시스템의 실용화를 위하여 폐수열 이용 실태조사, 시스템의 구성, 용량산정 및 시스템 제어 등에 대하여 고찰하였으며, 최종적으로 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 우리나라에서

는 본 시스템을 적극적으로 설치 및 보급하여야 한다.

#### IV 결론

지금까지 침투부하를 억제하는 방안으로 건물의 공조시스템에 축열시스템을 도입하는 방안을 여러사례를 통하여 제시하였다. 축열시스템은 장기적으로 볼 때 국가적으로 피크억제는 물론 전력부하 평준화를 통하여 전력설비 이용율이 향상되어 전력요금 인상을 억제하며, 사용자에게는 건물의 냉난방 및 급탕을 보다 편리하고 경제적으로 운용할 수 있다는 점에서 적극적으로 보급을 유도하여야 할 필요성이 있다.

특히 변전소 변압기 배열 및 생활배수열을 이용한 수축열식 히트펌프 시스템은 에너지 자원이 부족한 국내 현실에 비추어 피크억제와 에너지 절약 2가지를 동시에 만족시킬 수 있고 실증시험 결과 경제성이 우수한 것으로 확인되었으므로 정부차원에서 적극적인 홍보와 보급을 추진하여야 한다.