

## 축열식 열펌프 시스템 적용사례

### Application of Heat Pump System with Thermal Storage

최 병 윤  
B. Y. Choi

한전기술연구원 선임연구원



- 1956년생
- 자동제어를 전공하였으며 한국전력공사에서 축열시스템 관련 연구를 수행하고 있다.

#### 1. 머리 말

최근 우리나라 전체의 에너지 소비중에서 냉·난방에 30% 이상이 사용되고 있으며, 건물에서의 전력수요중 약 15%를 차지하고 있다. 특히 냉방부하는 생활향상과 더불어 냉방기기의 확대보급으로 점점 증가하고 있는 추세에 있으며, 이러한 냉방 전력수요증가로 하게 전력피크가 높아져 원활한 전력수급에 지장을 초래하고 있는 실정이다. 이에 따라 피크 냉방 전력부하를 비첨두부하대로 전이할 수 있는 축열식 공조시스템을 개발보급하여 발전설비 투자감소와 경제적인 전력운용을 도모하고자 한다.

축열식 공조시스템의 열원으로는 일반 냉동기와 열펌프가 있는데, 이중 열펌프는 그 원리가 일반 냉동기와 같고 그 역사도 냉동기와 같이 120년에 이르고 있다. 그러나 세계적으로 열펌프에 관심이 돌러지기 시작한 것은 70년대 중반 오일쇼크 이후이며, 그 전에는 보일러와 같은 가열기와 경제성면에서 경쟁이 될 수 없었기 때문에 각광을 받지 못하였다.

그러나 열펌프의 보급이 확대될 수 있는 여건변화는 유가상승의에

- ① 냉동기술의 발전 및 열펌프 기기 가격인하
- ② 최근 전력부족의 해결방안으로 전력부하 평준화를 위한 값싼 심야전력 요금제도 도입 및 정부차원의 열펌프 보급추진
- ③ 석유, 석탄 등 화석연료 연소시 공해문제 해결
- ④ 폐열회수 수단으로 기능이 우수한 점을 들 수 있다.

특히 열펌프가 공조용으로 유리한 것은 냉난방을 겸용할 수 있다는 것과 운전제어의 편리성, 그리고 어떤 기기보다도 축열식 냉난방 시스템의 장점을 최대한 살릴 수 있는 점이라고 하겠다.

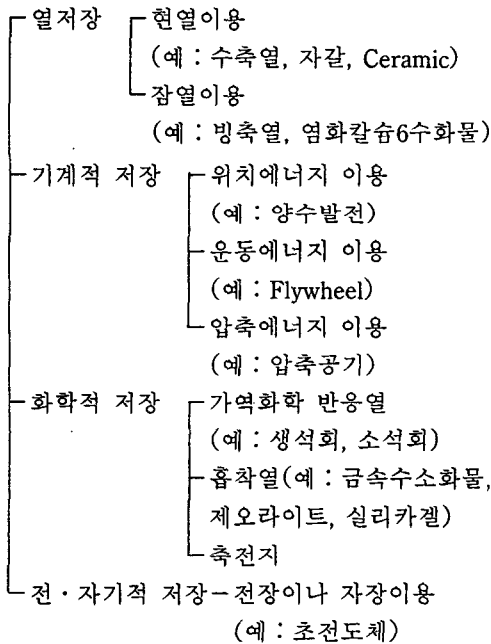
본 내용에서는 축열식 공조시스템에서 열펌프를 활용하는 시스템의 적용사례를 중심으로 설명할 예정이며, 이어서 축열시스템의 핵심요소인 수축열조의 개선방안 즉 축열조의 크기를 감소하고 축열효율을 증진시킬 수 있는 자연형 온도계층화에 대하여 소개하고자 한다.

#### 2. 축열식 공조시스템의 종류

축열식 공조시스템은 주간부하를 심야로 전

이할 수 있는 우수한 시스템으로 널리 알려져 왔다. 건물의 공조시스템을 축열식으로 구성함으로써 저렴한 심야전력 요금제도로 고급에너지원인 전력을 냉난방에 이용하여 에너지를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 주간 근무시간에 집중되어 있는 공조부하를 주야간 내내 냉난방기기를 가동하여 공급함으로써 열원기기의 용량을 거의 1/2정도 줄일 수 있어 전력기본요금을 낮추고 열원기기의 비용을 절약할 수 있는 장점이 있다.

축열식 시스템은 에너지 저장방식과 열원면에서 다양한 구성이 가능하며, 에너지 저장방법의 예는 다음과 같다.



이러한 여러가지 방법 가운데 현실적으로 이용되는 방법은 수축열의 현열이용과 빙축열의 잠열이용 그리고 양수발전 등이 있으며, Clathrate를 이용한 잠열 축열과 화학축열에 관한 실용화 연구가 활발히 진행중이다. 그러나 현재의 경제성면에서 보면 수축열과 빙축열이 가장 좋은 조건에 있으며, Clathrate를 이용한 잠열축열제와 화학축열제는 안정성과 내구성 그리고 경

제성 문제만 해결되면 운전비용을 절약할 수 있기 때문에 우수한 축열방식으로 각광을 받을 수 있다.

활용이 가능한 열펌프의 열원종류로는 대기중의 공기열, 폐공기열, 자연수열, 폐수열 등이 있는데 각 열원의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 대기중의 공기열원은 일반 대기의 열을 직접 이용하기 때문에 설치장소의 제한이 없으나 외기온이 떨어지면 성능이 저하되는 단점이 있다.
- ② 폐공기 열원은 지하철 구내에서 발생하는 환기열과 같이 공기형태의 폐열을 활용하기 때문에 열펌프의 성능은 우수하나 설치장소의 제한이 있다.
- ③ 자연수열은 태양열, 지하수열, 지열, 하천수열과 같이 물의 형태로 얻을 수 있는 자연상태의 열이며, 설치장소의 제한이 있다.
- ④ 폐수 열원은 목욕탕에서 발생하는 배수열과 같이 물 형태의 폐열이며 성능은 우수하나, 설치장소의 제한이 있다.

또한 건물공조에서의 축열식 공조시스템을 구성하는데 있어서 가장 널리 사용되는 열 공급기기는 냉방시는 냉동기, 난방시는 보일러와 전기히터가 있으며, 최근 폐열을 활용할 수 있는 기기로 각광을 받고 있는 열펌프는 냉방과 난방을 동시에 해결할 수 있다. 축열식 공조시스템은 위의 축열방식과 열원방식을 조합하여 다양하게 구성할 수 있는데, 현재 한전 사옥에 설치 운전되고 있는 축열식 공조 시스템과 실용가능한 새로운 방식의 폐수열이용 급탕·냉방 시스템 그리고 한전에서 연구용으로 '88년에 준공한 시험용 주택에서의 태양열이용 수축열식 히트펌프 시스템은 다음과 같다.

- ① 공기열원 수축열식 열펌프 냉난방 시스템
- ② 수축열식 냉동기 냉방 시스템(난방 : 보일러)
- ③ 변전소 주변압기 배열이용 수축열식 열펌프 냉난방 시스템
- ④ 빙축열식 냉동기 냉방 시스템(난방 : 보일러)

- ⑤ 생활배수열 이용 수축열식 열펌프 급탕·냉방 시스템(난방:보일러)
- ⑥ 주택에서의 태양열이용 수축열식 열펌프 시스템

### 3. 수축열식 열펌프 시스템

수축열식 열펌프 냉난방 시스템은 심야에 값싼 전력으로 열펌프를 가동하여 수축열조에 하계에는 축냉, 동계에는 축열하고 주간에는 냉난방으로 냉(온)열을 이용하는 시스템으로, 지금까지 주간에 값비싼 일반 전력을 사용함으로써 열펌프 보급에 제약을 받았던 문제를 축열식 열펌프 시스템이 값싼 심야전력 요금으로 해결하였다. 또한 이 시스템은 전력계통의 부하평준화에 큰 역할을 할 수 있으며 다음과 같은 장점이 있다.

- 축열분만큼 기기의 크기를 약 1/2정도 감소할 수 있어 그림 1에서와 같이 수전설비를 포함한 시설비가 절약되고 설비이용율이 크게 향상된다.
- 계약전력의 감소로 전력 기본요금이 절약되고 주로 값이 싼 심야전력을 이용하여 운전하므로 운전비가 대폭 감소된다.
- 부분부하 또는 시간의 부하에 대하여 열원기기의 가동없이 공급 가능하여 안정되고 효율높은 운전이 가능하다.
- 전력공급자 측면에서 첨두부하를 심야시간대로 전이함으로써 부하율을 높일 수 있고, 원자력 등 기저부하 발전소의 심야전력을 부담하여 전력원가를 저하시킨다.

본 내용에서는 우리나라에서 초기에 도입되어 한전 여수지점 사옥에 설치 운전되고 있는 공기열원 열펌프 시스템과 한전의 변전소 주변 압기에서 발생하는 열을 이용하여 난방에 이용하는 시스템, 그리고 목욕탕 등에서 나오는 생활배수열을 히트펌프의 열원으로 사용하는 급탕·냉방 시스템의 3가지를 소개하고자 한다.

#### 3.1 공기열원 축열식 열펌프 시스템

공기열원 열펌프는 대기중에서 흡수한 열을 열원으로 이용하는 것으로 공조용으로 많이 활

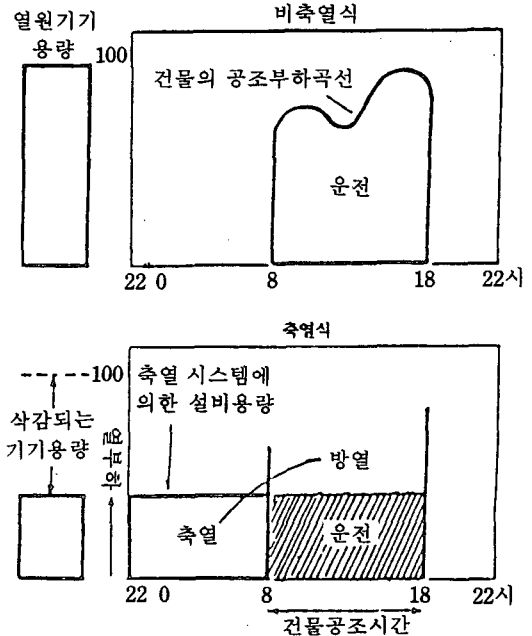


그림 1 비축열 방식과 축열방식의 비교

용하고 있다. 공기열원 열펌프가 선호되는 이유는

- 열원의 안정성 및 연속적인 유용성이 있으며
- 설치장소의 제약이 없으며
- 기기 용량의 규격화 표준화가 용이하여 양산에 적합하고
- 설치비와 운전비가 저렴하기 때문이다. 반면에 불리한 것은
- 기온이 낮아지면 열부하가 최대일 때 열펌프의 출력 및 성능이 최저로 되어 기기의 용량이 커지며
- 기온이 낮을 때 상대습도가 상승하여 서리가 발생함에 따라 주기적으로 제상운전이 수행됨으로써 효율을 저하시킨다.

따라서 외기온이 낮은 지역에 본 시스템을 설치하면 기기의 용량이 커지고 성능도 저하되 거 경제성이 떨어지므로 설치지역 선정에 신중을 기하여야 한다. 국내의 기후 여건에 따른 공기열원 열펌프의 성능을 파악하기 위하여 1985년에 국산 공기열원 열펌프를 서울 및 울산에 설치하여 성능을 측정 평가하였으며, 이 결과를

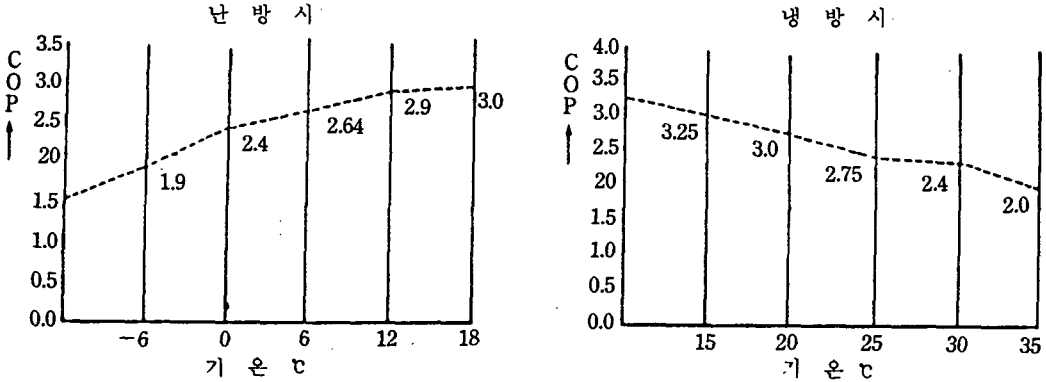


그림 2 외기온도에 따른 열펌프 COP곡선

근거로 전국주요지역에서의 열펌프 설치에 따른 전산 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1.1 계절운전 평가결과

패키지형 열펌프의 지역별 특성을 파악하기 위하여 서울과 울산 2개소에 소규모 사무실 등에서 사용되는 10RT의 분리형 냉매전환식 공기-공기 열펌프를 설치하였고 기온저하시를 대비하여 15KW의 전기히터를 보조열원으로 사용하였다.

그 결과 하계에는 열펌프가 일반 에어컨과 유사한 기능을 하므로 서울이나 울산 2지역에서의 성능의 차이가 없었으며, 동계 난방시에는 보조히터를 포함한 전체 SPF(계절 성능계수)가 서울이 1.51, 울산이 1.92로 나타나 지역에 따라 차이가 큰 것을 알 수 있다.

그림 2는 운전 평가결과 나타난 열펌프의 외기온도에 따른 COP 곡선이며, 종합적으로 판단할 때 공기열원 히트펌프는 동계에 기온이 온화한 지역이 난방운전 성능이 우수하므로 경제성을 확보하기 위해서는 가급적 국내의 남부지역에 설치하는 것이 바람직하다.

3.1.2 전산 시뮬레이션

국내 각 지역에 따른 공기열원 열펌프의 적용 가능성을 파악하기 위하여 서울과 울산에 적용한 열펌프의 실증시험 결과를 근거로 전국 11개도시에서의 공기열원 열펌프 적용에 따른 전산 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 3은 시뮬레이션 결과를 토대로 구성한 전국에서의 국산

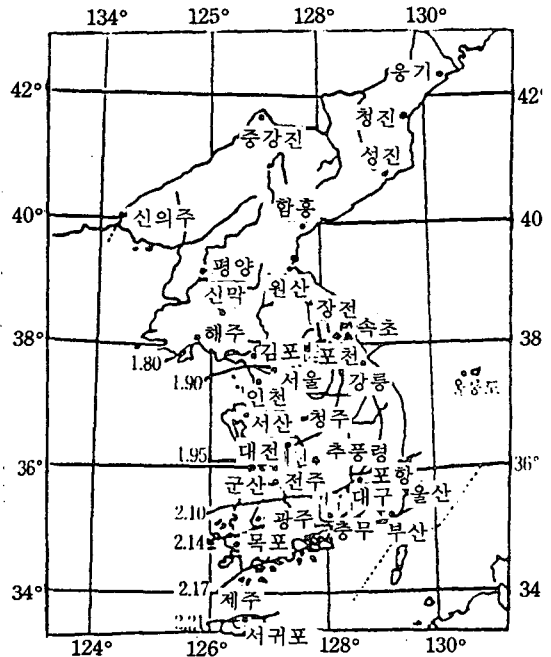


그림 3 열펌프 적용에 따른 등 난방 SPF 선도

히트펌프 적용에 따른 등 난방 SPF이다. 그림에서 보는 바와 같이 국내의 기후조건으로 볼 때 중부 이남지역에서 난방시 SPF를 2.0이상을 확보할 수 있어 열펌프 적용이 유리함을 알 수 있다.

3.1.3 축열식 공기열원 열펌프 시스템

한전에서는 하계 전력 피크로 인한 전력부족

표 1 한전에서 설치한 공기열원 열펌프 설치 내역

번호	설치 사업소	준공 일자	축열조[M <sup>3</sup> ]	용량[RT]	비 고
1	여수지점	1986. 1. 21	200	40×1	50%축열
2	광주보급소	1987. 12. 30	200	40×1	50%축열
3	나주지점	1988. 1. 7	200	40×1	50%축열
4	장비관리사무소	1988. 4. 3	200	40×1	50%축열
5	부산지사	1988. 4. 8	600	60×2	50%축열
6	경남지점	1988. 5. 24	420	40×1	50%축열
7	진해지점	1989. 1. 12	180	40×1	50%축열
8	경주지점	1989. 4. 6	350	60×1	50%축열
9	밀양지점	1990. 6. 26	350	80×1	50%축열
10	전남지점	1990. 6. 30	600	60×1	50%축열
11	보성지점	1990. 8.	220	40×1	50%축열
12	고리연수원	1990. 8.	1,250	120×4	50%축열
13	진주지점	1990. 12.	350	80×1	50%축열
14	강진지점	1992. 6.		30×2	50%축열

문제 해결과 부하율 향상을 위하여 동 시스템 보급을 위한 관련 연구와 시스템 시범 설치 등의 사업을 추진하고 있으며, 그 결과 표 1에서와 같이 '92년 현재 한전 사옥 14개소에 공기열원 축열식 열펌프시스템을 설치 운영하고 있다.

공기열원 축열식 열펌프 시스템의 적용사례를 제시하기 위하여 국내에서 최초로 본 시스템을 적용한 한전 여수지점 사옥의 사례를 소개하고자 한다. 한전 여수지점 사옥은 구조가 철근콘크리트조의 지하 1층 지상 4층으로 되어 있으며, 건물 연면적이 약 1,200평 냉난방면적은 약 670평이고, 전남 여수시 미평동에 위치하고 있다.

냉난방계통은 그림 4에서와 같이 40RT 열펌프 1대, 축열조 200Ton, 부하계통의 3가지로 크게 구분되며, 시스템 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 심야에 값싼 심야전력을 이용 열펌프를 가동하여 하계에는 냉수(7℃) 동계에는 온수(45℃)를 축열조에 저장하고, 주간에는 냉수(온수)를 건물 부하계통인 FCU나 AHU에 순환시켜 냉난방을 수행하는데 만일 주간에 열부하가 커서 심야에 저장된 열이 부족하면 주간에도 열펌프를 가동하여 보충한다.

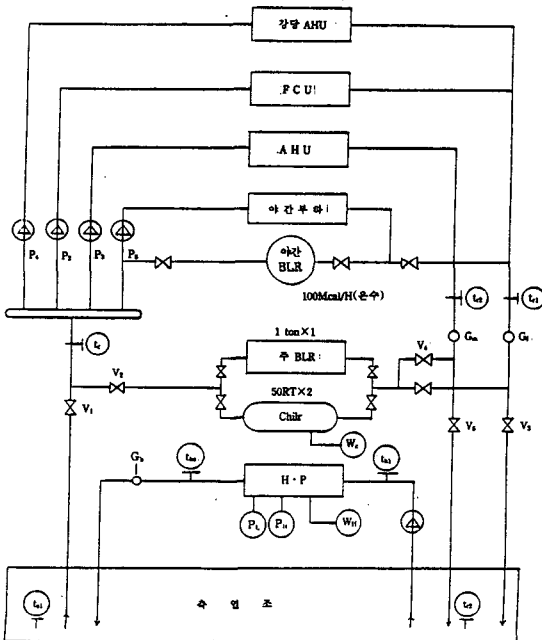


그림 4 여수지점 공기열원 열펌프 시스템 계통도

### 3.2 변압기 배열이용 축열식 열펌프 시스템

변전소 주 변압기 배열이용 수축열식 냉난방 시스템은 변압기가 지하에 설치되어 있고 지상 건물은 사무실로 사용하는 복합건물에 적용하는 냉난방 시스템이다. 이 시스템은 '87년 한전 서부지점에 처음으로 적용하였고, 운전결과 그 효율성이 입증됨에 따라 표 2에서와 같이 한전에서 계속 적용을 추진중에 있다. 이 방식은 난방시 변전소의 수냉식 주 변압기에서 발생하는 냉각

열을 온수조와 수축열조를 사용하여 히트펌프의 열원으로 이용하도록 구성되어 있으며, 냉방시는 일반 수축열식 냉동기 냉방 시스템과 동일하다. 따라서 이 시스템은 변압기 냉각용 열을 회수하여 난방에 이용함으로써 에너지를 절감하고, 수축열식 시스템으로 구성하여 주간부하를 심야로 전이할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그림 5는 광명지점 변압기 배열이용 축열식 히트펌프 시스템의 기본구성도이다.

서부지점에 설치한 이 시스템을 '87년부터 약

표 2 한전에서 설치한 주변압기 배열이용 열펌프 설치 내역

번호	설치 사업소	준공 일자	축열조[M <sup>3</sup> ]	용량[RT]	비 고
1	서 부 지 점	1987. 8. 15	200	40×1	50%축열
2	광 명 지 점	1989. 9. 4	360	50×2	50%축열
3	대구전력관리처	1989. 12. 16	200	60×2	50%축열
4	부 산 진 전 력 소	1992. 11. 16	100	30×1	50%축열

- : 1층 남쪽 실내온도 (AT1)
- : 1층 북쪽 실내온도 (AT2)
- : 2층 남쪽 실내온도 (AT3)
- : 2층 북쪽 실내온도 (AT4)
- : 1층 실외온도 (AT5)
- : 1층 실내습도 (AH1)
- : 1층 실외습도 (AH2)

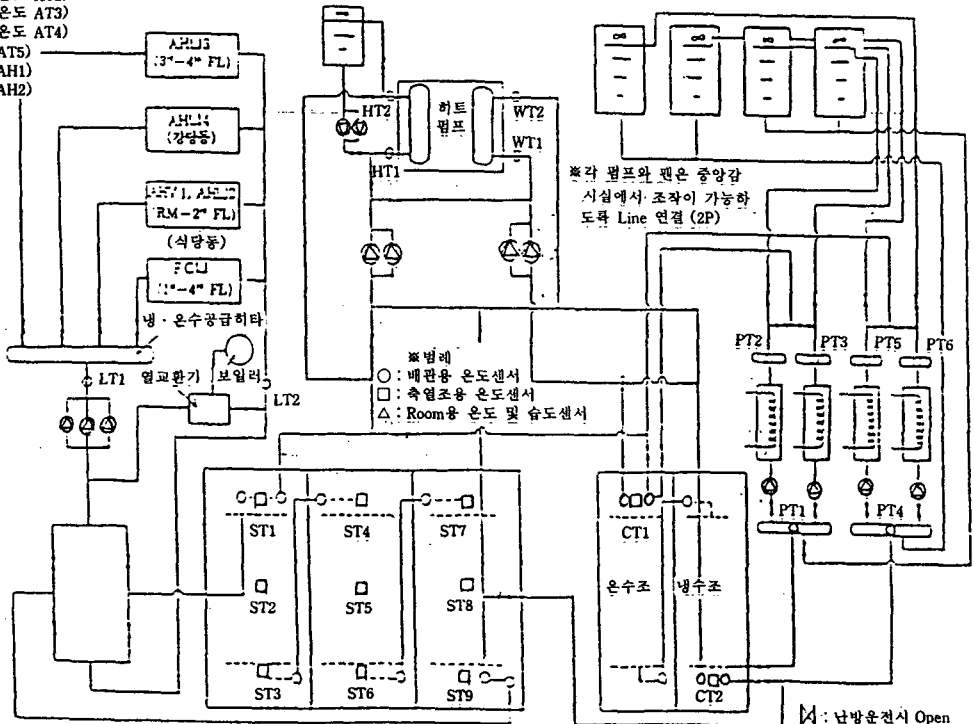


그림 5 광명지점 변압기 배열 이용 축열식 히트펌프 시스템 개요도

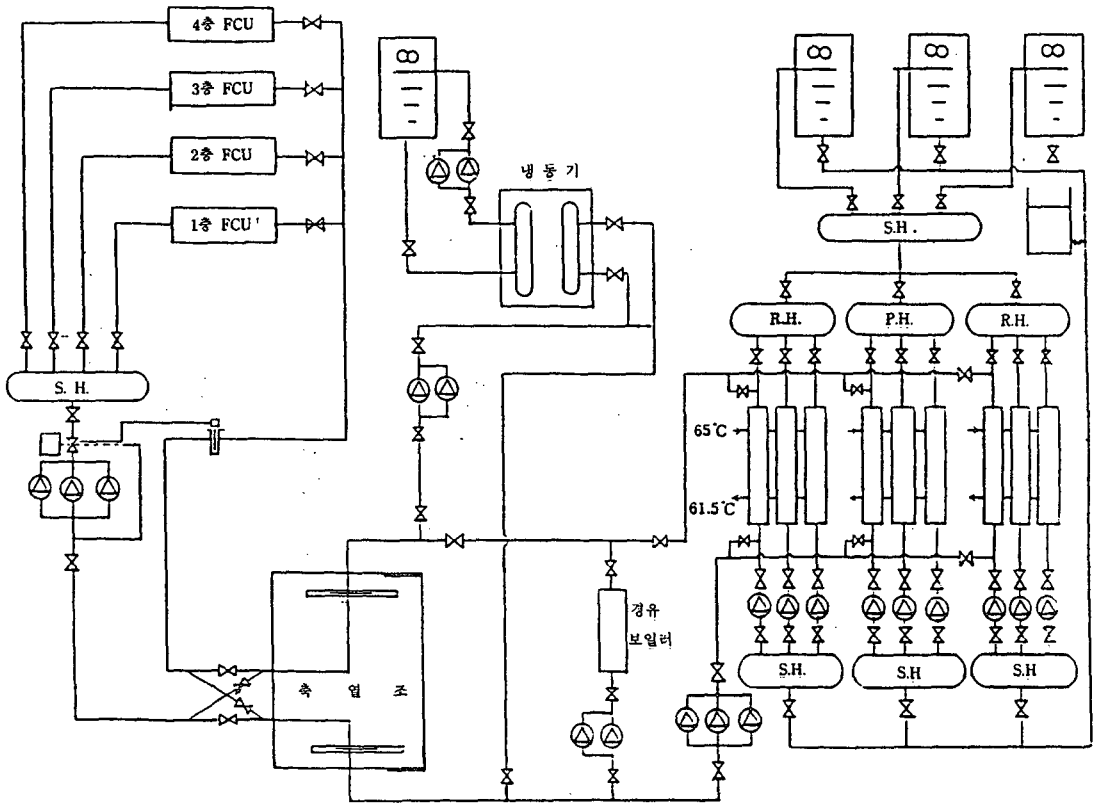


그림 6 개선된 변압기 배열 이용 축열식 냉·난방 시스템 개요도

3년간 운전한 결과 변압기 배열회수온도를 45°C 이상으로 유지할 수 있어 이 열을 히트펌프를 거치지 않고도 직접 난방에 이용할 수 있다는 사실이 확인되었다. 이에 따라 난방시는 변압기 배열로 직접 난방하고 냉방시에만 히트펌프 대신 값이 저렴한 냉동기를 사용하는 수축열식 냉방 시스템으로 구성하는 것이 바람직한 것으로 판명되어 최근 이 방식을 한전 사옥신축시 추진하고 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 개선된 이 시스템은 2조의 축열조 대신 1조로 시스템 구성이 가능하고, 변압기 배열 직접난방 방식 채용으로 설치비 뿐만 아니라 운전비용도 상당히 줄일 수 있어 상당히 효율적인 것으로 판단된다.

### 3.3 생활배수열 이용 축열식 열펌프 시스템

생활배수열 이용 수축열식 히트펌프 급탕 ·

난방시스템은 그림 7에서와 같이 춘추기 및 동계에는 목욕탕이나 수영장에서 발생하는 폐수열을 히트펌프의 증발기 열원으로 사용하고 응축기에서 얻은 고온의 열을 급탕부하에 활용하며, 하계에는 히트펌프를 수축열방식으로 냉방운전을 수행하는 가운데 응축기에서 발생한 열을 냉각탑을 통하여 냉각하지 않고 급탕부하에 활용하는 방식이다.

일본에서는 본 시스템을 동경전력과 민간회사 공동으로 개발하여 동경 워싱턴 호텔에 적용하므로써 30%의 에너지 절약효과가 있음을 보고하고 있으며, 현재 관련 전문업체에 의하여 상업화되고 있다. 이 시스템의 장점은 다음과 같다.

- 목욕탕이나 수영장 폐수열을 활용함으로써 국가적인 에너지 절약에 기여
- 하계에 급탕을 위한 히트펌프 운전으로 발생하는 냉열을 냉방에 이용하여 2중의 에너지 절감 효과

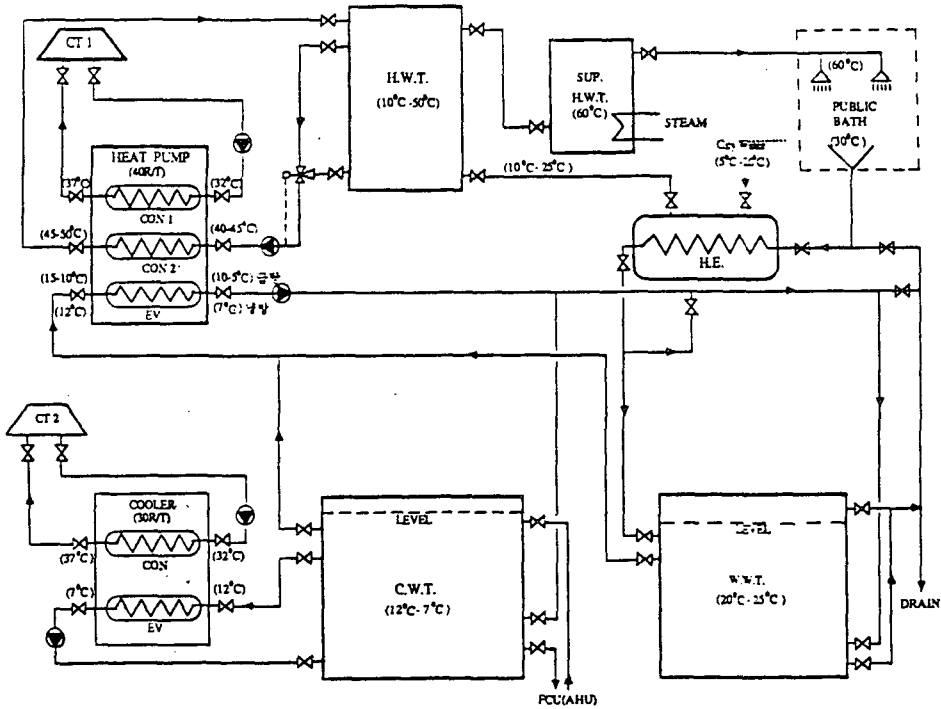


그림 7 생활배수열 이용 축열식 히트펌프 시스템 개요도(시수이용)

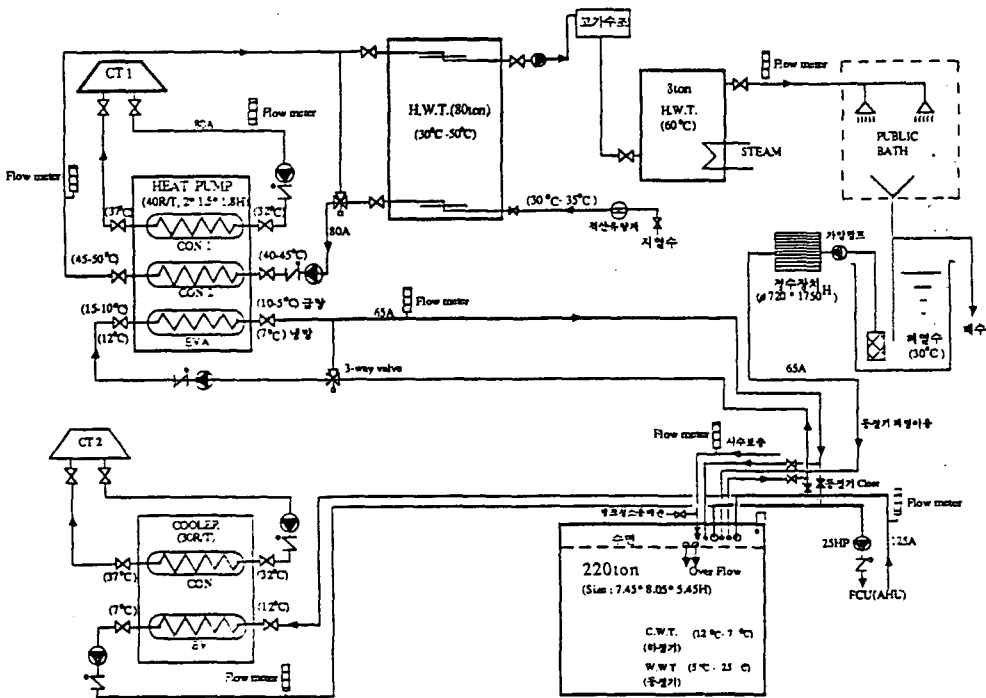


그림 8 속초 생활연수원 생활배수열 이용 축열식 히트펌프 개요도(온천수 이용)



- 수축열방식에 의하여 저렴한 심야전력으로 냉방을 수행하여 건물주에게는 에너지 비용의 절감 혜택
- 축열식 냉방부하 보급에 따라 하계전력 피크문제의 해결에 기여
- 폐수를 정화처리함으로써 수자원 공해 방지
- 폐열회수로 인한 폐수의 저온화로 생태계 파괴 방지

이에 따라 한전에서는 속초 생활연수원에 본 시스템의 적용에 따른 경제성을 검토한 결과 투자회수 기간이 축열시스템 설치에 따른 한전 지원금을 고려할 때 3년 이내로 나타나 본 시스템의 적용을 결정하였으며, 현재 설계가 완료되어 시공중에 있다. 그림 8은 한전 속초 생활연수원 증축건물에 적용하고 있는 축열식 히트펌프 시스템의 기본구성도이다.

#### 4. 효율적인 수축열조 구성방안

1986년도에 한전 여수지점에 공기열원 열펌프 시스템을 설치한 이래 지금까지 기기 및 시스템상의 여러 문제점이 파악되었고, 이러한 문제점은 건물에 계속 적용하면서 개선되고 있다. 그러나 아직까지 완벽하게 해결되지 않은 사항은 수축열조의 재료 및 단열 방수에 관련된 사항이다. 이러한 수축열조의 문제는 축열식 열펌프 시스템의 확대 보급에 장애를 주고 있는 실정인바, 본 내용에서는 한전 기술연구원에서 1990년

8월에 연구한 결과를 토대로 수축열조의 효율적인 구성방안을 제시하고자 한다.

##### 4.1 수축열조의 재료

축열조로 사용될 수 있는 재료로 FRP, Steel, 콘크리트 등이 있는데 각 재료의 장단점을 살펴보면 표 3과 같다. 축열조의 설치비 및 유지보수의 관점에서 보면 콘크리트 축열조와 FRP 축열조가 우리나라 실정에 바람직하다. 콘크리트 축열조의 경우는 외국의 예에서 보더라도 액체방수로 완전한 방수가 가능한 반면 액체방수후 시이트 방수처리하여도 누수가 되는 예가 보고되어 있어 시공이 가장 중요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 콘크리트 전문가의 자문을 얻어 작성한 “수밀 콘크리트와 방수 몰탈의 시공방침 및 유의사항”에 따라 시공을 철저히 하여 하자발생이 없도록 하여야 한다.

##### 4.2 수축열조 형태

FRP 축열조는 각형과 중형 원통형이 있는데 설치위치에 따라 옥상이나 층고가 낮은 곳에는 각형 탱크가 적합하며, 외부노출 또는 층고가 높은 곳에는 중형, 원통형 축열조가 유리하다. 축열조의 단열성, 내압성 등 신뢰성이 높은 것은 중형 원통형으로 설치시 현장조건에 맞도록 하여야 하며, FRP 탱크 전문업체에서 단열까지 포함하여 공장제작으로 일괄 납품받으면 누수 등의 하자보수가 용이한 장점이 있다. 방수재는 여러가지 완벽한 방수재가 있으나 대부분 시공

표 3 FRP, Steel, 콘크리트 탱크의 장·단점 비교표

	FRP	Steel	콘크리트
부식성	없음	높음	자체의 부식은 없으나 방수라이닝 없이는 시멘트 유독물 검출 가능
방수	좋음	좋음	방수라이닝이 추가로 필요(FRP, 고무, PVC 등)
품질보증	용이	용이	건축업자와 단열방수 시공자의 공동 책임으로 용이하지 않음
내열성	작동온도 범위안에 가능	좋음	작동범위 안에 있음
내압성	10kg/cm <sup>2</sup> 까지 가능	좋음	불가능

에 의한 하자발생이 많으므로 시공에 주의를 하여야 한다.

또한 축열조는 밀폐형과 개방형이 있는데 밀폐형은 순환펌프 동력비를 감소할 수 있는 장점은 있으나 압력탱크 제작에 따른 고가의 축열조 제작비용이 소요되어 경제성이 낮다. 따라서 개방형의 탱크가 수축열식 냉난방 시스템에서 주로 사용된다.

### 4.3 수축열조 설치위치

수축열조는 부피가 크고 막중한 무게 때문에 보편적으로 지하실을 이용하거나 건물 옆에 매립한다. 그림 9에서 보면 우리나라의 경우 건폐율을 적용하기 때문에 2, 5도 좋은 위치이며 3과 같이 축열조를 위하여 조금더 내려갈 수도 있다. 1과 같이 건물 옥상에 설치하는 경우는 옥상에 설치된 축열조의 하중을 견디기 위한 구조보강의 추가 비용이 소요되나, 이 경우는 폐회로와 같이 구성될 수 있기 때문에 순환펌프 동력비가 25~50% 절약된다. 따라서 하중을 고려하여 초기에 건물이 설계된 경우는 옥상에 설치하는 것이 경제성면에서 유리하다.

### 4.4 수축열조 단열

단열재는 시공성이 좋고 흡수성이 경질 우레탄폼과 압출발포 폴리스티렌이 적정단열재로 판단되며, 경제성을 고려한다면 후자가 전자보다 좋은 것으로 나타났으며 이것의 경제적인 단열 두께는 80mm로 나타났으나 이 분석에 적용된 경제성 요소의 값이 미래예측 값이며 또한 결로방지를 고려한다면 70~150mm까지가 비교적 경제성이 좋은 단열 두께라 할 수 있다.

콘크리트 축열조에는 내단열 축열조 그림 10 과 외단열 축열조 그림 11로 2가지 방법이 있으나 경제적인 면을 고려하면 내단열 축열조가 우수하고 안전도 면에서는 2중벽체의 외단열 축열조가 우수하므로 축열조 설치 위치에 따라 설계시 주의하여야 한다.

### 4.5 축열조 구성방식

축열조 공조 시스템에서 열원기거나 기타 배

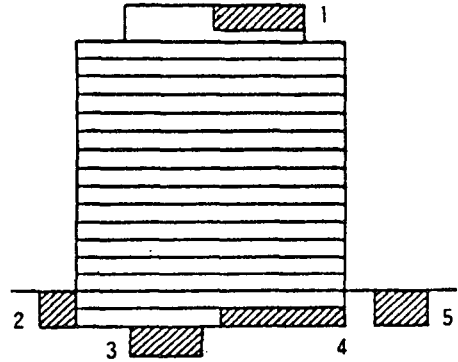


그림 9 건물에서의 수축열조 설치 위치도

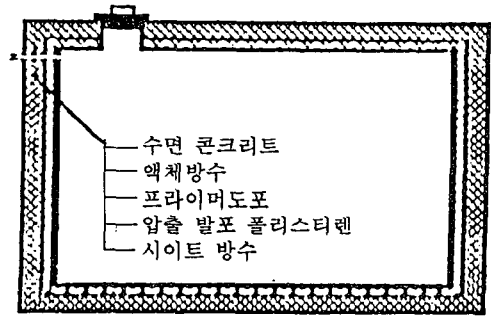


그림 10 내단열 시공에

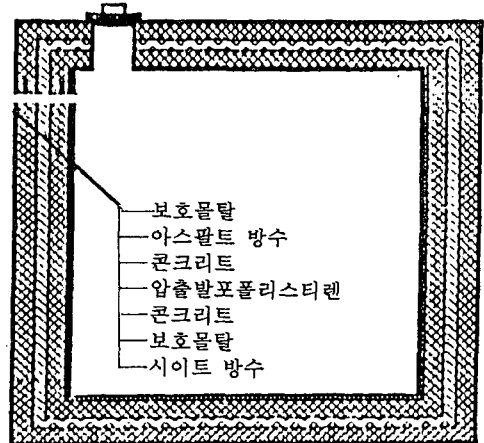


그림 11 외단열 시공에

관은 기존 공조방식과 유사하나 이 방식이 갖는 가장 특징적인 중요한 핵심은 축열조 구성이다. 이에 따라 효율적이고 저렴한 축열조 구성에 대하여 국내외에서 많은 연구와 실험이 이루어져 왔다. 우리나라에서는 '84년도에는 한전에서 최초로 한전 여수지점 사옥에 일본에서 보편화되어 있는 미로형의 다조식 축열조로 구성된 수축열식 시스템을 적용하였으며, 그후 15개소의 한전사옥에 이 방식의 축열조를 설치하였다.

'88년도에는 지금까지 일본에서 주로 적용하고 있는 그림 12와 같은 다조식 축열방식에서 벗어나 미국에서 활발히 연구되어 적용하고 있는 일조식의 자연적 온도계층화에 관한 연구를 한전에서 추진하였고, 연구결과 이 방식이 설치비와 축열효율면에서 우수한 것으로 판단되어 한전 서부지점 및 광명지점에 처음으로 이 방식을 적용하였다.

4.5.1 자연적 온도 계층화 이론

축열조에 적절한 온도차(즉 밀도차)와 유속을 유지시키면, 유체흐름의 Entrainment와 와류를 최소화 시켜 Gravity Current를 형성시킬 수 있다. Gravity Current가 수평방향으로 흘러감에 따라 새로 유입되는 물과 원래 탱크안에 있던 물은 최소한의 Mixing만 하기 때문에 수직방향으로만 온도변화가 있고, 상대적으로 얇은 온도경계층(thermocline)을 만든다. 온도경계층의 위와 아래에는 각각 원래 탱크안에 있던 물의 온도와 새로 유입된 물의 온도를 그대로 유지하고, 온도의 변화는 오직 온도경계층에서만 일어난다.

일부분에서 형성된 온도경계층은 밑에서 찬물이 계속 유입됨에 따라 있는 그대로 윗쪽으로 밀려 올라간다. 이 과정에서 열의 대류나 또는 물의 압력분포에 따른 유속의 차이는 온도경계층에 거의 영향을 미치지 못하며 단지 온도경계층 상하의 온도차 때문에 열전도만 있을 뿐만 아니라, 물의 특성인 낮은 열전도율( $K=0.5W/m \cdot C$ ) 때문에 열전도량은 무시할 정도이다. 따라서 온도경계층은 피스톤의 오르내림과 같은 작용을 하여 온수와 냉수를 계속하여 분리시킨다. 그림 13에 온도계층이 형성된 후에 수직방향으로의

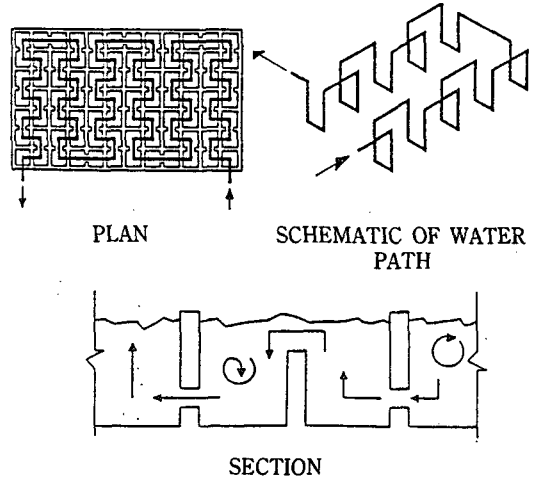


그림 12 다조식 축열조 구성에

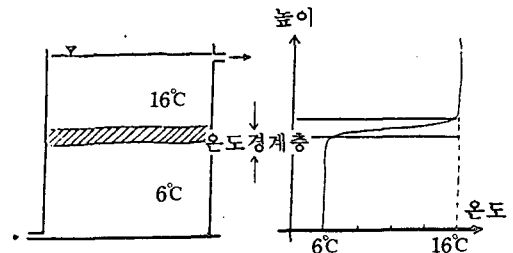


그림 13 온도경계층과 온도분포

온도변화를 그림으로 나타내었다.

자연적 온도계층화의 장점으로는

- 물리적인 칸막이가 없고 일조식 탱크를 사용하기 때문에 초기 투자비가 적으며
- 온수와 냉수의 접촉면적이 다른 방법에 비하여 작아 열손실이 적음등을 들 수 있다.

자연적 온도계층화를 위한 Diffuser의 종류에는 Horizontal slot diffuser, Linear diffuser, Distributed nozzle, Radial diffuser 등이 있으며, 실제 시스템에 설치되어 얻은 실험결과나 실험실 규모의 Scale Model의 결과는 잘 일치하였고 축열효율 90% 이상을 얻을 수 있었다.

4.5.2 실증시험 결과

한전 서부지점(서울소재)에 설치되어 있는 변압기 폐열이용 축열식 냉·난방 시스템은 70 RT용량의 히트펌프와 약 40ton용량의 축열조로 구성되어 있다. 축열조의 외형은 9m×6m×9m

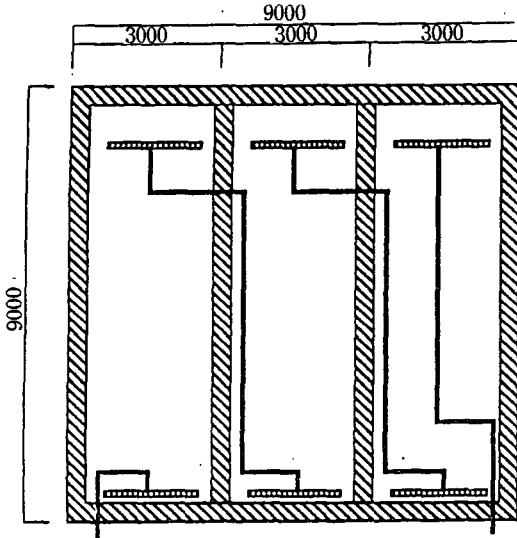


그림 14 서부지점 축열조 입면도

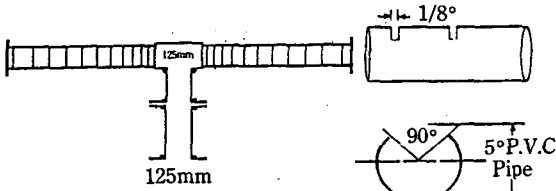


그림 15 서부지점에 설치한  $\phi 125\text{mm}$  Diffuser 상세도

(W×D×H)로서 그림 14은 개선된 축열조 입면도이며, 그림 15는 온도계층화를 효율적으로 형성하기 위하여 설치된 Diffuser이다.

축열조의 온도계층화를 극대화 하기 위하여 한전서부지점에 설치되어 있는 기존의 Hopper 18개를 철거하고, 새로 설계된 Diffuser의 교체 및 배관공사를 실시한 후 약 400ton용량의 수축열조 온도계층화를 실증실험한 결과는 다음과 같다.

- 축열조의 운전방법은 심야전력시간대에 축열운전을 하고, 주간에는 축열조와 열펌프를 동시에 사용하는 50% 축열로서 설계유량은 약  $43\text{m}^3/\text{hr}$ 이고, 설계온도차는  $5^\circ\text{C}$ 이다. 축열조에 3개의 Diffuser가 설치되어, 난방시와 냉방시에 각각 설계유량 및 온도차로 운전하는 경우 그림 16과 같이 Gravity Current에 의한 온도성층화를 이루었다.
- 난방기간 동안의 축열 싸이클 중 수직 온도분포를 측정한 결과 온도구배가 약  $5^\circ\text{C}/\text{m}$ 로서, 고온조의 상부 Diffuser가 수면에서 약 30cm밑에 위치한 취약점(3조식 탱크에서의 수위변화로 인하여 반드시 있는 문제점)을 고려하면 최적의 온도 계층화, 즉 최소의 온도경계층이 잘 이루어짐으로써 온도경계층 윗부분의 온도는 축열을 시작한 후부터 히트펌프의 출구온도와 거의 같게 되었다.

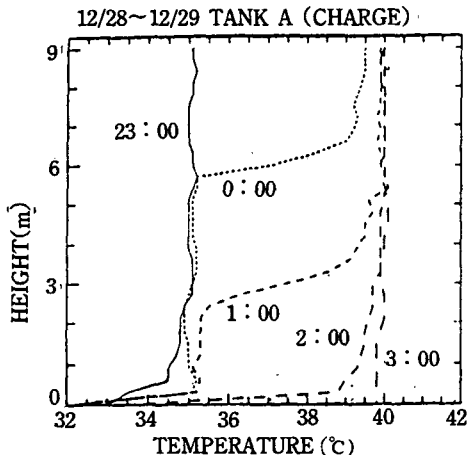


그림 16 축열조내 시간대별 온도분포도

축열시스템의 설계는 보통의 냉·난방 시스템과 마찬가지로 최대 순간부하를 기준으로 이루어지기 때문에 실제 시스템 운전상 최대부하가 걸리는 날짜 및 시간은 총 운전시간에 비교하여 상당히 작은 편이며, 대부분의 경우는 온도계층화된 수축열시스템을 운전자가 기상예보 및 경험과 수축열조의 온도분포를 파악하여 계획 운전하여야 에너지절약 뿐만 아니라 운전비용을 최대한 절약할 수 있다.

## 5. 맺음말

지금까지 하계 피크전력 감소 및 에너지 절약을 위하여 한전에서 추진하고 있는 건물에서의 축열식 공조 시스템의 개발 및 적용 현황을 소개하고, 효율적인 시스템 구성방안과 에너지 절약효과를 가미한 새로운 공조방식을 제안하였다. 또한 수축열식 공조 시스템에서 수축열조의 효율증진 및 축열조 크기 감소를 위한 새로운 방식을 제안하였으며, 구체적인 내용은 아래와 같다.

- (1) 공기열원 방식의 축열식 열펌프 시스템은 기온이 저하하면 성능이 떨어지므로 우리나라 기후조건을 고려할 때 남부지역에 설치할 경우 경제성을 확보할 수 있으므로 한전에서는 남부지역 사옥신축시 본 시스템을 적용하고 있다.
- (2) 변조소 주변압기 냉각시 발생하는 배열을 건물의 난방에 이용하는 경우는 운전시험 결과 배열온도를 45°C 이상으로 유지할 수 있는 것으로 나타나 열펌프를 사용하지 않고 직접 배열난방을 하는 것이 에너지 절약면에서 유리할 뿐만 아니라, 변압기 배열을 저장하기 위한 축열조는 냉동기 냉방을 위한 축열조로 사용될 수 있어 축열조 시설비도 절감할 수 있다.
- (3) 목욕탕과 수영장에서 발생하는 폐수열을 열펌프로 회수하고, 하계에 축열식 냉방 운전시 발생하는 고온의 열을 급탕에 활용하는 생활배수열 이용 열펌프 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 일본에서 이미 실용화되었으며, 에너지 절약과 심야 부하 개발에 상당한 효과적일 방식인 것으로 연구결과 나타나 한전 속초 생활연수원 건물에 적용하고 있으며 앞으로 확대 보급을 적극 추진할 예정이다.
- (4) 현재 축열시스템 보급에 장애가 되고 있는 축열조 개선방안을 한전에서 연구된 결과를 토대로 제안하였다. 여기서 효율적인 축열조의 재료, 형태, 설치위치, 단열시공 방안을 제시하였고, 지금까지의 미로형

다조식에서 개선된 일조식의 자연적 온도계층화 방식을 제안하였다. 이 일조식 축열방식은 축열효율 증진과 축열조 크기 감소에 효과적임이 실증실험결과 입증되어 현재 신축되는 한전 사옥에 적용중에 있다.

수축열식 열펌프 시스템의 확대 보급을 위해서는 업체는 신뢰성 있는 열펌프기기 개발에 노력하여야 하며, 관련 연구기관에서는 다양한 시스템 개발에 전념을 기울여야 한다. 아울러 정부 및 한전에서는 본 시스템의 보급 촉진을 위한 정책을 개발하여야 하며, 이러한 노력은 사용자에게는 경제적 이익과 편리성을 제공하고 국가적으로는 에너지 절약과 전력부하 평준화에 기여할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 히트펌프 방식 냉난방용 에어컨 설비의 적용에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, 1985. 9
2. 축열식 히트펌프 방식 냉난방 설비의 적용에 관한 조사연구, 한국전력공사 기술연구원, 1987. 4
3. 상변환 현상을 이용한 에너지 저장기술, 한국전력공사 기술연구원, 1988. 7
4. 축열식 냉난방 시스템의 축열조 최적화 연구, 한국전력공사 기술연구원, 1990. 8
5. 심야전력을 이용한 빙축열 기술개발, 한국전력공사 기술연구원, 1991. 4
6. 심야전력기기 성능향상 연구, 한국전력공사 기술연구원, 1991. 9
7. 보급형 표준전화 주택에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, 1992. 5
8. 폐수열을 이용한 복합건물에서의 축열식 히트펌프 시스템 개발, 한국전력공사 기술연구원, 1992. 11
9. Heat Pumps, John Wiley & Sons, 1983
10. Survey of thermal storage installations in the United States and Canada, ASHRAE, 1984.
11. Evaluation of stratified chilled-water storage

techniques, Volume 1 and 2, EPRI, December, 1985

12. Initial Formation of a thermocline in the Stratified Thermal Storage Tanks, ASHRAE

Transactions, 1986. 92. part 2.

13. Utilities and Heat Pump serving and maintenance, IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol 10, 1992