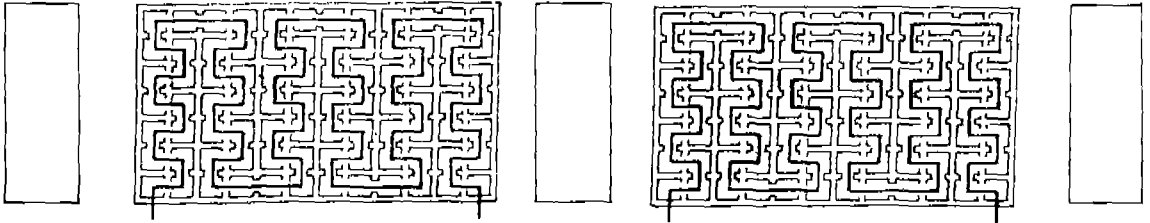


# 심야전력을 이용한 축열식 냉난방 시스템 기술동향

A Tendency of Thermal Storage for Air-Conditioning System



공학박사 강 원 구

한국전력공사 기술연구원 선임연구원

(上)

## 1. 서 론

### 1.1 전기 에너지의 특성

전기 에너지는 그 실체를 눈으로 판별할 수 없는 무형물로서 빛, 열동력, 전파 등으로 형태를 쉽게 변화시킬 수 있고 제어가 용이하여 인류생활에 편리하게 이용할 수 있을 뿐만 아니라 악취나 폭발, 중독 등의 위험이 없기 때문에 공해가 없는 청결한 에너지이다.

그러나 전력의 생산은 수력, 석탄, 석유, 가스, 우라늄 등의 1차 에너지를 전기 에너지로 변화시키게 되는데, 발전과 송변전 및 배전설비에 막대한 투자비가 소요될 뿐 아니라 변환과 수송과정에서 많은 손실이 발생된다. 그렇기 때문에 비교적 값비싼 에너지로 인식되어 왔으며, 잘못 사용하면 화재나 감전 등의 전기재해를 유발시킬 수 있는 위험성이 높은 특성이 있다. 특히 전력은 많은 양을 저장하기 어렵기 때문에 생산과 소비가 동시에 이루어져야 한다.

만약 전력수급에 불균형이 생기면 계통 주파

수와 전압이 변동하게 된다. 예를 들면 전력의 생산이 소비보다 많으면 주파수가 상승하고, 적으면 주파수가 저하되는데, 전계통이 동시에 변동하는 계통적 특성을 가지고 있다. 그리고 전력수요는 산업활동 또는 국민의 생활관습과 직결되어 시간에 따라 변동하게 되는데, 부하에 대응하여 전력공급의 원활을 기하기 위해서는 최대부하 이상의 공급능력을 보유하여 적당한 예비력을 확보하여야 한다. 그러므로 국가 기간산업의 원동력이며, 국민 문화생활의 필수인 전력은 제반특성을 고려해서 경제적으로 안정하게 양질의 전력을 공급하여야 한다. 안정적인 전력공급을 위해서는 경제성을 감안한 설비투자과 투자설비의 이용률을 극대화시키기 위한 부하관리 그리고 시간대별로 변화하는 부하에 추종하여 적정하게 운전하는 전력설비 운용기술이 필요하다 할 수 있다.

### 1.2 전력부하 관리의 필요성

전기는 깨끗하고 편리한 고급 에너지이다. 그러나 저장이 곤란하여 생산과 소비가 동시에 이

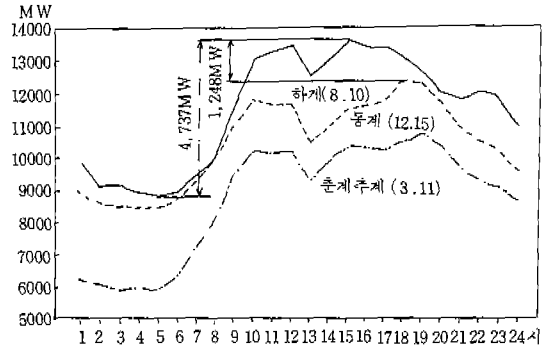
루어져야 한다. 그래서 항상 부하에 상당하는 양만큼의 발전을 하게 되는데, 부하는 전기사용 고객들의 사정에 의하여 시간적, 일적, 계절적으로 변동하게 된다. 최근의 부하변동 경향을 보면 소득 증대와 국민생활 수준의 향상 그리고 전자산업 등의 발달로 인한 산업구조의 경공업화로 최대 전력의 상승률에 비해 평균부하의 성장률이 저조하여 전체적인 부하율이 점차 악화되고 있다.

그림 1·2는 1988년 3월, 8월, 12월의 최대 전력이 걸렸던 날의 일부하 곡선을 나타내고 있는데, 이 그림을 통해 우리는 시간별 부하차이 뿐 아니라 계절적 부하 차이도 매우 크다는 사실을 알 수 있다.

이처럼 상대적으로 최대부하가 증가함에 따라 전력공급 설비가 커져야 하므로 설비 투자비가 증대되며, 부하율이 낮아짐에 따라 설비 이용률이 떨어져서 전력설비의 운전비가 비경제적이 되

게 된다.

더욱이 우리나라에서는 저렴하고 안정된 전력 공급을 위하여 탈유 전원개발을 적극 추진하여

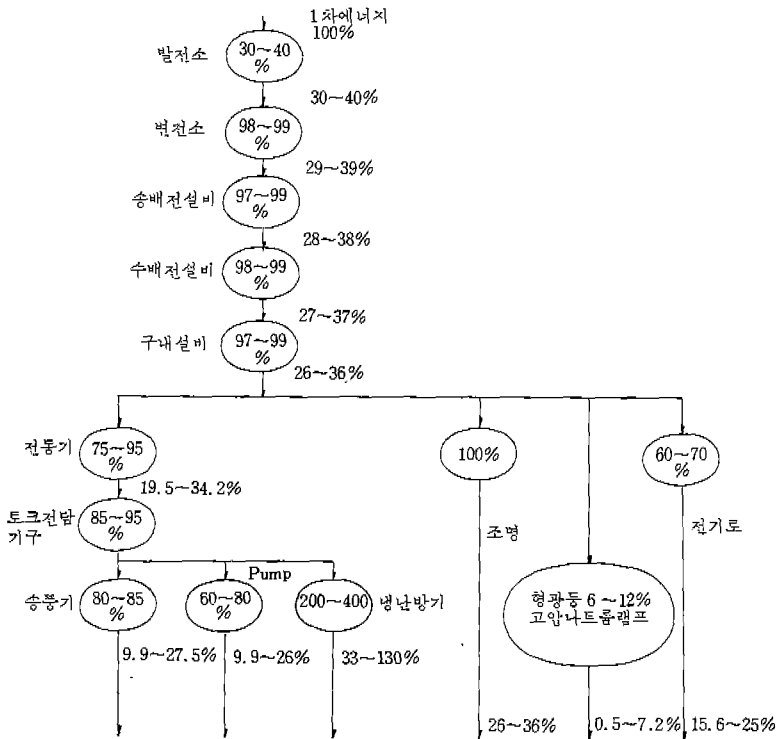


주야간 부하격차 (주간~야간 : 8월, 12월 최대일)

하계 (MW)	'84	'86	'87	'88
	2,408	2,870	3,756	4,737
동계 (MW)	2,233	2,273	2,554	3,842

〈그림 1·2〉 일부하 곡선

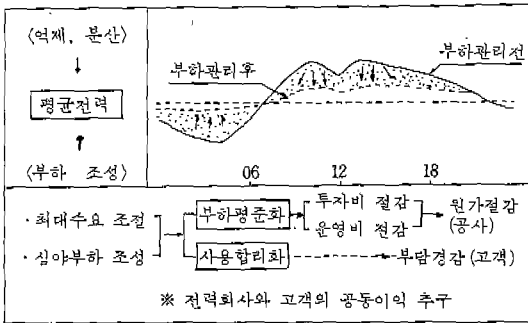
( '88. 3, 8, 12월 최대일 )



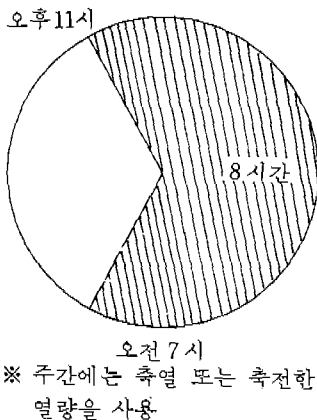
〈그림 1·1〉 전기의 전달 경로와 에너지 변환효율

원자력과 석탄화력 등이 저원가, 대용량 기저발 전설비를 확충하여 왔기 때문에 발전 원가가 경 부하 시간대 일수록 낮아지고 있다. 그래서 부 하율의 향상은 평균발전 원가를 낮추게 되며 이 는 전기요금 수준을 낮출 수 있는 주요 요인이 되게 한다.

부하관리란 이런 의미에서 최대 수요를 억제 하고 최저 부하를 조성하여 그림 1·3에서 보듯 이 부하율을 향상시키기 위한 전력회사의 운영 방법을 말한다. 이렇게 부하를 평준화시켜 부하 율을 향상시키게 되면, 전력회사의 입장에서 볼 때 전력설비의 투자비와 운전비 등의 절감으로 전기요금을 인하할 수 있게 된다. 전기를 사용



〈그림 1·3〉 부하관리의 개념



※ 주간에는 축열 또는 축전한 열량을 사용

하는 고객의 입장에서 보면, 전기로 절감과 생 활양식을 개선하는 잇점이 있다. 그리고 국가적 인 입장에서 보더라도 정책적으로나 경제적으로 특별히 아껴야 할 고가의 석유 등 수입 에너지를 저가의 준국산 에너지라 할 수 있는 원자력이나 석탄으로 대체하는 효과를 얻을 수 있다.

### 1·3 심야전력 요금제도

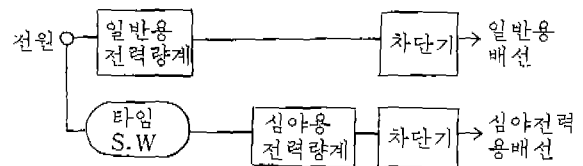
심야전력 요금제도는 전력공급 시간이 제한되 고 생활시간대가 아닌 심야에 전력이 공급되므 로 일반 수요자들이 타연료를 사용하는 것보다 경제적이거나 이점이 많아야 사용하기 때문에 심야부하 창출을 유도하기 위해서는 타연료와 적절한 경쟁력을 유지하도록 주간요금에 비하여 훨씬 저렴한 요금(1/3 수준)을 적용하고 있다.

심야전력 공급시간은 일일중 전기사용이 적은 오후 11시부터 다음날 아침 7시까지이며, 8시간만 전력이 공급되므로 타임 스위치를 부설하였으면 일반전력과 별도 배선이 되고 주간에는 전력을 사용할 수 없도록 되어 있다.

또한 일반전력용 전력량계와 별도로 심야전력 용 전력량계를 부설하여 사용량을 구분하고 있 으며 전력량계에서 기기까지의 배선에는 타부하 를 접속하여 사용할 수 없다.

그리고 심야전력요금은 일반요금에 비해 저렴 하고 (22원50전/kWh) 기본요금이 없고 사용량 증 가에 따른 누진을 적용이 없는 단일단가를 적용 하고 있다.

심야기기를 사용하지 않는 월과 사용전력량이 월 20kWh 이하이면 20kWh에 해당하는 전기요 금을 부과하는 최저 요금제를 채택하고 있다.



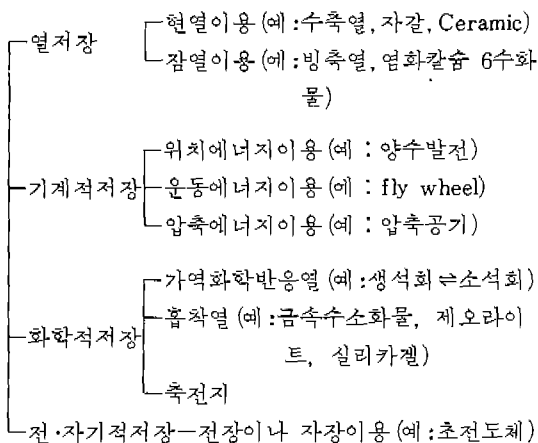
〈그림 1·5〉 전력량계 결선도

## 2. 본론

### 2.1 축열식 시스템

최근 우리나라 전체의 에너지 소비중에서 냉·난방에 30% 이상이 사용되고 있으며, 특히 건물에서의 전력수요중 약 15% 이상이 동력용으로 사용되고 있는 실정이다. 이에 따라 첨두전력부하가 하계에 나타나고 있고, 그 증가폭은 더욱 커질 전망이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주간부하를 심야로 이전하도록 유도하여야 하는데, 축열식 냉난방 시스템이 상당히 효과적인 것으로 알려져 왔다.

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



위의 여러가지 가운데 현실적으로 이용되는 방법은 현열과 잠열이용, 양수발전 등이 있으며 화학적 저장과 전·자기적 저장에 관한 실용화 연구가 활발히 진행중이다. 그러나 현재의 경제성 면에서 보면 수축열과 빙축열 시스템이 가장 좋은 조건에 있으며, 화학적 잠열재는 안전성과 Life Time 등의 문제점이 해결되어야 할 과제이다.

축열식 공조 시스템의 열원으로는

- (i) 히트 펌프 (예 : 공기열원, 수열원, 폐열원)

- (ii) 냉동기+보일러 (예 : 수축냉, 빙축냉) 등이 있다.

이러한 다양한 시스템 가운데 현재 한전 사옥에 적용되는 시스템은

- (i) 공기열원 축열식 히트 펌프 시스템 (예 : 여수지점, 광주지점 등)
- (ii) 변압기 배열이용 수축열 히트 펌프 시스템 (예 : 서부지점)
- (iii) 수축열 냉동기 시스템 (예 : 거창지점 등)이며 연구후 적용예정인 시스템은
- (iv) 빙축열 냉동기(히트 펌프) 시스템으로 본 내용에서는 위의 시스템을 중심으로 원리와 적용방법을 기술하고자 한다.

### 2.2 수축열 시스템 구성

건물의 축열 시스템 가운데 가장 널리 적용되고 있고 일반적인 시스템이 수축열 시스템이며 시스템 구성과 축열조 구성방법에 따라 다양하다.

#### 가. 공기열원 시스템

우선 시스템 구성방식은 공기열원과 폐열원방식으로 대별되며, 설치되는 장소와 폐열 유무에 따라 시스템이 결정된다. 공기열원방식의 경우는 외기온이 히트 펌프 성능에 영향을 주게 되는데, 우리나라의 경우는 남쪽지역이 공기열원 방식 적용에 유리하다. 여수사옥에 시범 설치한 결과 투자 회수기간은 기존 보일러+냉동기 시스템과 비교한 결과 약 3년 정도로 비교적 경제성이 있다.

그러나 서울을 포함한 중부지역은 난방시 외기온이 낮은 조건때문에 보조 열원이 필요하며, 히트 펌프의 성능도 떨어진다.

그림 2.1은 한국전력공사 장비관리사무소(서울 문래동 소재) 공기열원 축열식 히트펌프 개요도이다. 이 시스템은 그림 2.2에서와 같이 미로형 다조식 축열조로 구성되어 있고 서울지역이어서 히트 펌프 운전때 따른 외기조건 문제점 때문에 보조 히터가 설치되어 있는 점이 특

정이다.

이러한 공기열원 히트 펌프 시스템의 문제점은 난방시 외기온이 낮아지면 부하는 증가하는 반면 히트 펌프 열 출력은 감소한다. 따라서 부분축열의 경우 운전원은 주간 운전시 외기온이 낮아질 것으로 예상되면 미리 히트 펌프를 가동하여 부하공급에 차질이 없도록 유의하여야 한다.

또한 열부족이 예상되면 보조 히터를 가동하여야 하는데, 가동시점을 정확히 판단하여 불필요한 히터 가동이 없도록 하여야 하며, 히터 가동으로 히트 펌프 입구온도 상승으로 인한 트립

이 없도록 유의하여야 한다.

부하운전의 경우 Return 수의 온도가 축열조 입구 온도보다 높(낮)은 경우 축열조의 동화현상이 불합리하게 이루어져 축열효율을 떨어뜨리고, 주간에 히트 펌프 동시 가동시 히트 펌프 입구 온도가 허용온도보다 높(낮)아져 트립될 경우가 있으니 유의하여야 한다.

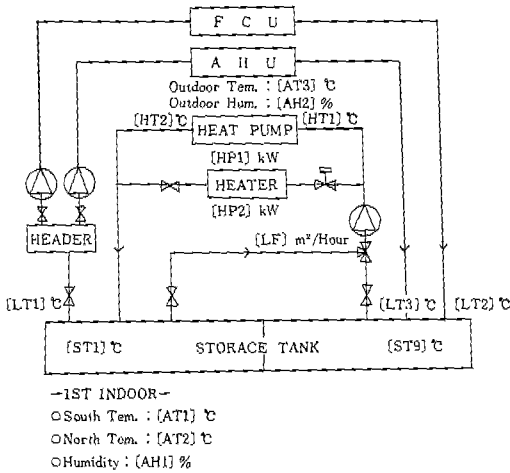
### 나. 폐열원 시스템

빌딩에 폐열이 발생하는 경우는 수열원방식으로 폐열을 활용하여 히트 펌프의 성능을 높일 수 있다. 한전의 경우는 지하에 수냉식 변전소를 갖는 일반 사무용 건물의 냉난방을 축열식 히트 펌프 시스템으로 하게 되면 변압기의 냉각과 냉난방을 동시에 해결하므로 상당히 효과적이다. 이 방식은 난방시 변압기의 배열을 냉온수조에 저장하고 히트 펌프는 이 냉온수조의 열을 이용하여 십야전력으로 축열조에 열을 저장하며, 이 저장된 열을 난방부하 공급에 사용한다. 춘추기에는 냉온수조의 열을 직접 난방에 사용할 수 있으므로 난방 에너지가 들지 않아 상당히 경제적이다.

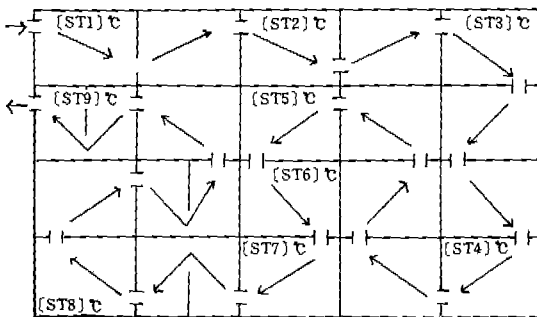
광명지점의 변압기 배열이용 축열식 히트펌프 시스템은 직렬배열형으로 3개조로 되어 있으며, 각조는 자연형 온도충화현상을 이루도록 구성되어 있다(그림 2·3 시스템 개요도 생략).

이러한 자연형 온도충화 현상을 고려한 축열조는 설계시 유의해야 할 중요한 요소가 있다. 즉, 조의 상부는 항상 고온측이 되고 하부는 저온측이 되어야 한다는 점이다. 따라서 축열조는 고온측과 저온측이 냉난방이 바뀌어도 변화하지 않아야 한다는 점이며, 냉난방이 바뀌는 경우는 회로의 구성에서 밸브 조작으로 처리하도록 하여야 한다. 광명지점의 예는 이러한 점을 고려한 합리적인 설계이다.

운전상의 유의할 점은 춘추기에 난방이 필요한 경우 변압기 배열을 직접 축열조에 축열하고 이를 난방에 사용하여 에너지의 절약을 도모하도록 하여야 한다는 것이다.



(그림 2·1) 공기열원 축열식 히트펌프 개요도



(그림 2·2) 축열조

### 2.3 수축열조의 구성

수축열조 구성에 있어서 축열효율을 높여 축열조의 크기를 줄일 목적으로 온도계층화에 관한 많은 연구가 시도되어 왔다. 온도계층화란 물의 온도변화에 따른 밀도차이로 인하여 윗부분에는 온수, 밑부분에는 냉수가 위치하여 탱크안의 유체를 안정된 상태로 유지하는 것을 말하며, 장점은 다음과 같다.

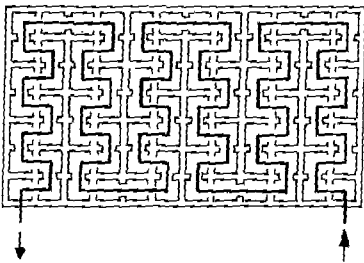
- (i) 축열 효율의 증가
- (ii) 축열조 안에 가장 낮은(높은) 온도를 히트 펌프와 냉난방 기기로 보내기 때문에 기기 효율의 증가
- (iii) 부분축열의 가능

본 글에서는 온도 계층화의 방법 가운데 6가지 중 소개하고자 한다.

(가) 미로형 : 주로 일본에서 많이 연구되어 적용하고 있는 시스템으로, 축열조를 많은 칸막이로 나누어 물의 경로를 길게 하는 구조로, 한 전에서도 여수지점을 비롯한 여러 사육에 적용하여 운전중에 있다. 그러나 칸막이 설치에 따른 공사비가 많이 들고 물이 한 탱크에서 다른 탱크로 넘어갈 때 혼합되어 온도 계층화가 잘 이루어지지 않아 축열 효율을 감소시키는 단점이 있다(그림 2.4 참조).

(나) 수직 칸막이형 : 미로형의 변형으로, 이 방법도 수직 칸막이 공사의 어려움 등의 구조적 결함과 온도 계층화의 정도가 바람직하지 못하다(그림 2.5 참조).

(다) 직렬배치형 : 그림 2.6에서와 같이 탱크

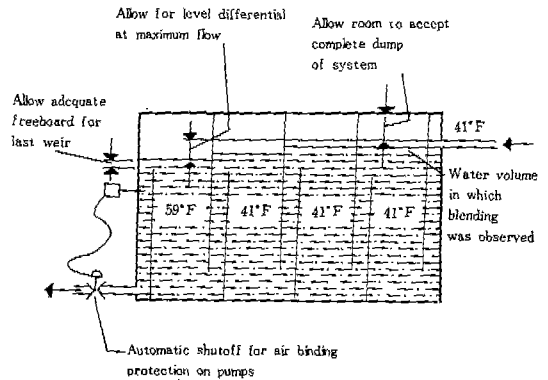


〈그림 2.4〉 미로형

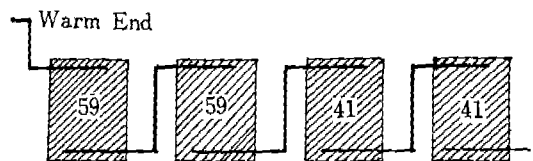
의 표면적이 넓고 배관을 위한 공간이 필요하며, 가운데 벽을 양쪽에서 공유하는 방법으로 변형을 하면 배관이 물 속으로 통과하여야 하기 때문에 배관의 단열이 필요하다. 이 형은 한전 서부지점(서울마포 소재)의 축열조에 적용하고 있으며, 3개조로 구성되어 있고, 각 조는 Baffle에 의한 자연형 온도계층화가 이루어지도록 함으로써 축열효율을 높이고 있다.

(라) 빈 탱크형 : 그림 2.7에서와 같이 탱크 하나를 항상 빈 탱크로 남겨 놓음으로써 추가설치 공간이 필요하고 빈 탱크에 남아 있던 Thermal Mass 때문에 온도계층화에 영향을 미치는 단점이 있으며, 또한 시스템 제어가 복잡하다.

(마) 막 형 : 그림 2.8에 도시된 방법으로 불투수층의 막을 이용하여 물리적으로 냉수와 온수를 분리하고자 시도된 방법으로 탱크 벽과 막사이에서의 누수, 정확한 유량조절 등 운전상의 어려움이 많이 발견되었으며 축열효율도 Gravity Current를 이용하는 방법과 비슷한



〈그림 2.5〉 수직 칸막이형



〈그림 2.6〉 직렬배열형

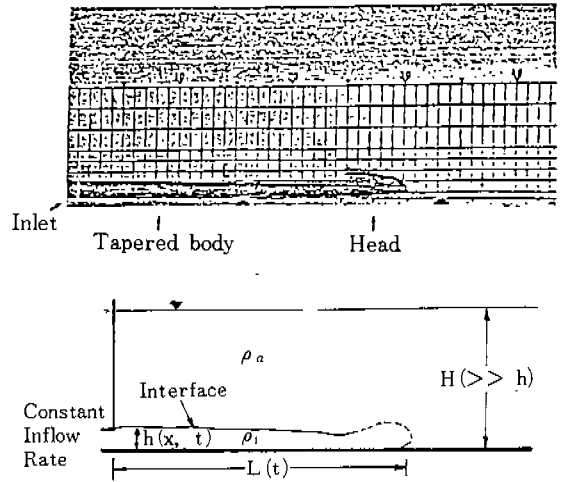
정도이다.

(바) 자연형 온도 계층화 : 서로 온도가 다른 유체가 처음으로 접촉할 경우에 적절한 온도차와 유속을 유지시키면 유체흐름의 와류와 Entainment를 최소화시켜 그림 2·9에서와 같이 Gravity Current를 형성시킬 수 있다. Gravity Current가 수평방향으로 흘러감에 따라 새로 유입되는 물과 원래 탱크 안에 있던 물은 최소한의 Mixing만 하기 때문에 수직방향으로 상대적으로 얇은 온도경계층(Thermocline)을 만든다.

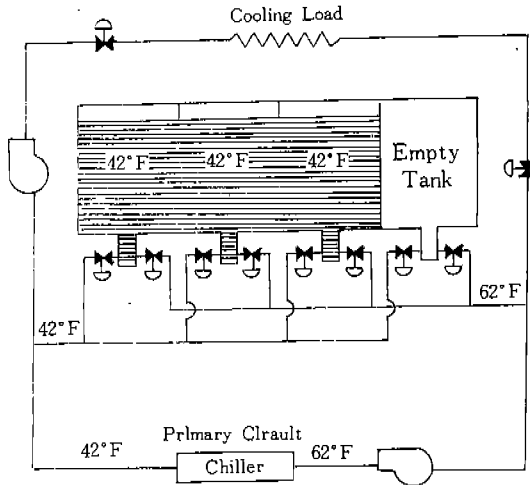
자연형 온도 계층화의 장점으로는

- 물리적인 칸막이가 없고 일조식 탱크를 사

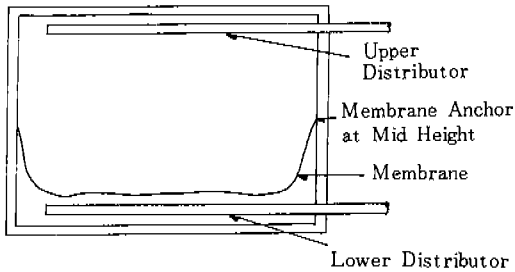
Diffuser를 사용하여 Gravity Current



<그림 2·9> 자연형 온도계층화



<그림 2·7> 빈 탱크형



A. Membrane Position at Full Discharge

<그림 2·8> 막 형

용하기 때문에 초기 투자비가 작음.

- 막(Membrane)형에서와 같은 운전상의 어려움이 없음.

- 온수와 냉수의 접촉면적이 다른 방법에 비하여 작아 열손실이 작음.

을 들 수 있다. 그러나 온도 계층화를 위하여 축열조의 용량과 모양, 제반 시스템 조건 등을 결정 한 후 Diffuser를 선택해 설계하여야 한다.

축열식 히트 펌프 시스템에 관하여 한전 사옥에 적용된 축열조는 초기에는 일본에서 연구가 활발한 다조식의 미로형을 '85년도에 여수지점 사옥을 기점으로 하여 많은 사옥에 적용하여 왔다. '87년도에는 서부지점에 3조식의 직렬 배치형을 적용하여 자연형 온도계층화 현상을 처음으로 이용하였으며 그 후 광명지점 등에 이 시스템을 설계 또는 시공 중에 있다. 최근에는 자연형 온도계층화인 일조식에 관한 연구를 활발히 수행중에 있는데, 그 이유는 이 시스템이 시공비 또는 축열 효율면에서 장점을 많이 지니고 있기 때문이다. 이 시스템의 실증시험 후 효용성이 입증되면 보급을 적극 추진할 예정이다.

<다음 호에 계속>