



# DSM을 위한 蓄熱시스템

김석현\*, 최병윤\*\*, 이경호\*\*\*

(\* 국민대 공대 기계공학과 교수,

\*\* 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 선임연구원

\*\*\* 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 연구원)

## 1. 서론

최근 국가 전력수급의 합리화를 도모하기 위하여 폐적공조에 축열방식을 도입하는 방안이 적극 강구되고 있다. 이 방식은 새로운 구상이라기 보다 폐적공조의 초창기인 1930년경에도 적용이 되었던 빙축방식의 새로운 응용이라고 할수 있다. 그 당시에는 주로 냉방부하가 일시적으로 집중되는 극장, 교회 등의 냉동열원 설비의 소형화를 위하여 빙축방식이 도입되었으며 전력사용량 등의 운전에 관련된 사항에는 관심의 중요성이 거의 없었던 것이 현재의 상황과는 매우 다르다.

공조용 전력수요는 지역, 계절, 평일 또는 휴일의 시간대별로 변한다. 특히 근래의 하절기 냉방전력수요 급증으로 인한 전력수급 불균형은 동-하계 및 주-야간의 전력수요차를 크게 증가시키고 있다. 피크부하가 커지면 년간부하율이 작아지고 발전이용효율도 낮아지므로 off-peak시의 수요유도를 도모하고 평준화된 전력수요를 창출하기 위한 에너지정책 및 전력시책들이 제시되고 있다.

그러나 축열장치가 단순한 피크절감기술로 간과되어 온 것은 기술부족으로 인한 잘못된 인식이며 축열설비의 적절한 적용으로 설비의 에너지이용합리화 및 금세기 최선의 건물공조방식이 될수 있다는 전망이 지배적이다. 특히 이러한 축열장치를 채용한 건물공조시스템이 지구환경보존에 유리한 기술이라는 것을 알지못하고 있는 기술자가 많은 듯하며, 그로 인해 이 분야기술이 정책당국으로부터 당연히 받아야할 관심을 끌지못해 온 것으로 보인다.

축열장치는 근본적으로 원리, 구조, 보수유지가 단순하므로 단순한 시스템의 구성이 가능하며 또한 수명에 관한 기계적인 운동부위가 없는 요소의 수명은 반영구화가 가능하므로 이러한 관점에서 경제성이 확보된 장치보급이 가능할 것이다.

지 수급계획이 25% 향상되는 한편 야간 송전으로 이전되는 부분의 송전손실을 5% 정도 절감하는 등 현존의 송배전설비를 항상 높은 효율로 운전할 수 있다.

또한 기존의 일반냉방방식에서 냉동기의 년평균 정격부하운전시간이 가동시간의 1/4에 불과한 것의 개선을 도모할 수 있어 년간 전력소모량의 10%정도를 절감할수 있다는 것이 보고되고 있어 축열시스템에서의 단점인 제빙운전을 위한 냉동기의 derate와 COP의 열화등이 장비가동을 및 에너지비용 면에서 상쇄 또는 유리한 입장이 될수 있을것으로 예측된다. 그림 1에서와 같이 즉 부하이동 효과를 최대한 활용함으로써 최대 순간부하를 기준으로 냉동기를 선정하는 일반방식에 비해 1/2 - 2/3의 용량으로 시스템 구성이 가능한 것으로 보고되고 있다.

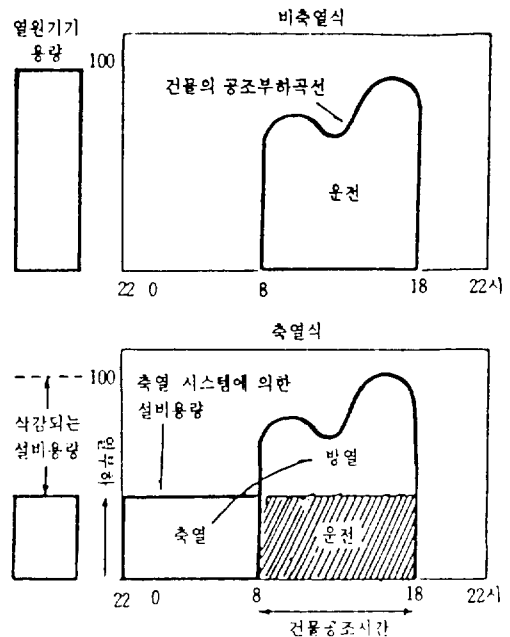


그림 1 비축열방식과 축열방식의 비교

## 2. 축열시스템의 특징

축열시스템의 피크절감 효과로 발전시설의 절감 등 에너지

또한 전력요금이 높은 낮시간대의 전력소비를 줄이고 요이 낮은 심야전력을 사용함으로써 그리고 축열조에서의 연적인 열손실과 추가설치비용 부담 등의 경제적인 부담도 유리한 설계가 가능하다. 미국의 EPRI는 1996년까지 급의 규모에서 일반냉방방식에 비해 초기투자비용이 10% 절약된 축열시스템의 설계가 가능할것으로 예상하고 있다. 축열시스템의 고유한 이점을 몇가지 열거하면 다음과 같다.

1) 냉난방설비의 고정비 절감

축열시스템을 사용할 경우 日단위의 시스템용량은 한때까지 작게할수 있어서 기존 시스템에 비해 냉동기 등 장비의 용량이 작아지며 이로 인한 전력소비량의 감소를 포함하여 시스템의 비용을 낮추는 요인이 된다.

2) 운전비용의 절감

연간 냉동기 및 히트펌프의 운전시간의 대부분을 심야전력으로 사용할 수 있기 때문에 냉난방운전 운전비용을 대폭절감할 수 있다.

3) 고효율 정격 운전

기존의 냉방시스템은 냉동기의 년평균 정격부하운전시간이 가동시간의 1/4에 불과하여 부분 부하의 조건에서 운전하는 기간이 긴 것이 보통이나 축열시스템은 전부하의 조건에서 운전되므로 운전효율이 증가하여 연간 전력소모량의 10%정도를 절감할수 있다고 보고되어있다.

4) 쾌적한 냉난방, 운전상의 적응성

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

5) 기존설비에도 설치 가능

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

6) 단전시의 냉난방계속

주간에 방열을 하는 동안에는 fan이나 pump만이 작동하므로 소모 전력량이 작으며 단전시에도 예비전력원에 연결하여 냉난방을 계속할 수 있다.

7) 저온급기방식

빙축조의 해빙운전시 출구 수온은 보통 0℃ - 1.5℃의 저온이 되고 냉수온도차가 커서 저온급기 기술을 채택할시 배관경, 펌프를 작게할수 있다. 또한 저온냉수의 이용에 있어서 송풍온도를 낮게하고 풍량을 작게하여 덕트크기, 송풍동력을 각각 30-40% 절감할수 있으며 건물내 설비설치 면적을 줄일수 있고 공조기의 크기도 30-50% 정도 축소가 가능한 것으로 보고 있다.

8) 성적계수 개선

축열시스템에서의 단점인 제빙운전을 위한 냉동기의 derate 와 COP의 열화등이 예상되나 용축온도의 저하로 인한 효과와 適溫의 축열매질을 도입할 경우 성적계수의 개

선을 기대할수 있다.

9) 발전 및 송배전효율

축열시스템의 피크절감 효과로 발전시설의 절감 등 에너지 수급계획이 25% 향상되는 한편 야간 송전으로 이전되는 부분의 송전손실을 5% 정도 절감하는 등 현존의 송배전설비를 항상 높은 효율로 운전할 수 있다.

축열시스템이 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, 종교시설 등
- 4) 냉방시간이 특히 낮시간으로 한정된 건물 : 사무실 건물, 오피스텔 등

### 3. 축열시스템의 분류

현재 냉난방에 사용되고 있는 축열방식은 축열매체가 상변화를 일으키지 않고 온도차 형태로 열을 저장하는 현열(sensible heat) 축열방식과 물질의 상변화 과정시 많은 열의 수수를 동반하는 물리적 현상을 이용한 잠열(latent heat) 축열방식으로 대별할 수 있으며 전자의 경우 물을 저장매체로 사용하는 것이 보통이다. 상변화물질을 이용하는 방식은 다시 얼음의 형태로 축열하는 빙축열방식과 共晶物(eutectics)의 상변화 현상 또는 包接化合物(clathrate)의 특성을 이용하는 適溫축열방식 등이 실용화되고있다. 현재 보급중인 잠열축열방식을 여러 관점에 따라 구분하면 다음 표 1과 같다

표 1 잠열축열방식

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

○ 수축열방식(물을 사용하는 현열축열)

축열매체인 물은 값이 저렴하고 축열방식이 단순하므로 현재 널리 사용되고 있다. 축열성능을 향상시키기 위해서

는 냉수와 온수를 분리해야 하며 그 방법으로 냉수와 온수의 부력의 차를 이용하여 냉수는 저장조의 아래 부위에 그리고 온수는 상부에 있도록 하는 열성층화 시스템, 저장조의 중간에 가요성 고무막을 수평 도는 수직으로 설치하여 물리적으로 냉수와 온수를 분리시키는 분리막 시스템, 여러개의 분리된 저장조중 하나를 빈 채로 두고 이곳에 온수를 받는 빈 수조식 시스템 등이 있다. 이 수축열방식은 냉난방을 동시에 해결할 수 있고 폐열을 활용할 수 있는 반면, 다른 방식에 비하여 큰 체적의 저장조가 필요하다.

○ 빙축열 방식

얼음을 이용하는 잠열축열방식의 특징중 중요한것을 들면

- 1) 축열조 용량의 축소
- 2) 축열조에서의 열손실의 감소
- 3) 냉동기의 능력및 효율 저하

등과 같다. 0℃의 얼음은 0℃의 물이 되면서 1 kg당 약 334 kJ의 많은 열량을 흡수하며 따라서 비열이 약 4.2 kJ/kg°C 인 물을 사용하는 현열축열에 비해 저장조의 체적용 1/5 - 1/8 정도로 그리고 상용하는 표면적의 감소를 기대할수 있다.

○ 適溫 축열방식

빙축시스템은 비교적 큰 물의 용해열을 이용함으로 저장조의 크기를 작게 할 수 있으나 얼음을 얼리기 위해서는 냉동기의 증발기 온도를 실제 냉방에 필요한 온도보다 훨씬 낮은 빙점이하로 떨어뜨려야 하며 이것은 냉동기의 성능계수의 저하를 초래한다. 이러한 문제는 높은 온도에서 상변화를 하는 물질들 사용함으로써 개선될수 있다. 상변화물질(phase change material)은 물과 마찬가지로 일정한 온도에서 상변화를 하며 상변화를 수반하는 잠열을 이용하여 고농도의 축열이 가능하다.

○ 패키지형 빙축열 시스템

기존의 현장설치형 축열시스템이 건물 조건에 따라서 구성 기기 즉 냉동기, 축열조 등의 선택, 조합 등 시스템 설계가 이루어지며 개별 시공이 이루어지는 축열시스템을 칭하는 것에 비하여 패키지형 축열시스템은 “指定된 規格을 가지는 標準化된 工場製作型 普及製品이며 構成器機別 仕様이 性能評價 結果에 依하여 確認되고 指定된 것”으로써 다음과 같은 특징이 있다.

- 1) 콤팩트화(Compact)      2) 신속한 보급
- 3) 용이한 설치              4) 간편한 운전

## 4. 빙축열 운용방식

빙축열 시스템의 운용방식을 설계하는데 있어서 가장 중요한 것은 설비용량을 최대한으로 축소시켜 피크부하 전력

소비를 억제하고, 전체적인 운전경비를 절감시킴으로서 초기투자비나 운전경비면에서 많은 이익을 가져오게 하는 것이다. 이러한 문제는 전력요금 체계나 각각의 시스템 부하 특성에 따라서 각기 다르게 설계되지만, 다음과 같은 기본적인 축열방식 개념을 응용하여 가장 경제적인 방법으로 빙축열 시스템 운용방식을 선택할 수 있다.

◆ 전부하 축열방식 (full storage)

축열시스템의 축열정도에 따라 전축열과 부분축열으로 구분한다. 전부하 축열방식은 주간에 필요한 전체 냉방부하를 심야시간대에 전부 축열하여 주간에 냉동기를 가동하지 않고 냉방을 하는 방식으로, 운전비용면에서는 절감효과가 가장 크지만 냉동기 설비나 축열조 설비용량이 다른 방식에 비하여 상당히 크게 설계되어야 하기 때문에 초기투자비에 대한 경제성이 다소 낮아진다.

◆ 부분부하 축열방식 (partial storage)

부분부하 축열방식은 주간에 필요한 전체 냉방부하의 일부를 심야시간에 축열시키고, 부족분에 대해서는 주간에도 냉동기를 가동시켜 냉방부하의 일부를 처리하도록 하는 축열방식으로 초기투자비 면에서 가장 유리하고 운전경비 면에서는 전부하 축열방식 보다 불리하지만, 피크 부하시는 물론 냉방부하가 적은 경우하시에도 시스템 전체를 고효율로 운용할 수 있어서 가장 널리 사용되고 있는 축열방식이다. 표 2는 전축열과 부분축열의 특성을 비교한 것이다.

표 2 축열물에 따른 경제성/에너지이용합리성 판단 도표

	전축열	부분축열
초기투자비	back-up기기 최소화 다양한 운전기능	냉동기 소형화 축열조 소형화
전력에너지이득	피크시 전력사용량 최소 피크시 냉동기가동 중단	평균전력수요 최소화 냉동기용량 감소
운전비	다소 절감	
축열용 판단		

◆ 냉동기 우선방식

빙축열 시스템 운전제어에서 주간 냉동기의 냉방능력을 냉방부하의 기본 베이스로하여 일정량의 부하를 처리하고, 부족분에 대해서는 축열 탱크에 저장된 열량으로 그때 그때 부하변동에 대응하는 방식이다. 이때 냉동기는 항상 정격부하 상태로 운전되기 때문에 시스템의 운전효율이 가장 좋고 제어방식도 간단하게 구성할 수 있다.

◆ 축열조 우선방식

축열조 우선방식의 최대목적은 야간에 축열한 빙축열량을 주간 냉방운전 시간 동안에 최대한 방열시키고, 주간 냉동기 운전을 최대한 억제시키고자 하는 데 있다. 따라서 냉방부하의 일정량은 빙축열량의 해빙운전으로 처

고하고, 나머지 변동되는 냉방부하는 냉동기를 운전하여 처리하는 방식이다.

## 5. 수축열 운용방식

빙축열 시스템은 잠열을 이용한 냉방만을 고려하는 데 반하여 수축열 시스템은 물을 매체로 하는 현열을 이용함으로써 축열조가 다소 커지는 문제는 있지만 냉난방을 동시에 해결할 수 있는 고유의 장점이 있다. 또한 냉난방을 동시에 해결하는 히트펌프를 사용하는 경우 폐열을 활용할 수 있어 에너지 절약 측면에서 효과적인 축열방식으로 알려져 왔다.

빌딩에서의 수축열 공조 시스템을 구성하는데 있어서 가장 널리 사용되는 공급열원은 냉방시는 냉동기, 난방시는 보일러와 전기히터가 있으며, 최근 폐열을 활용할 수 있는 기기로 각광을 받고 있는 히트펌프는 냉방과 난방을 동시에 해결할 수 있다.

빌딩에서의 수축열식 공조시스템은 위의 축열방식과 열원방식을 조합하여 다양하게 구성할 수 있는데, 현재 한전 사옥에 설치 운영되고 있는 수축열식 공조 시스템과 실용 가능한 새로운 폐수열이용 급탕·냉방 시스템을 소개하면 다음과 같다.

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

### 5.1 공기열원 수축열식 히트펌프 시스템

공기열원 수축열식 히트펌프 시스템은 '84년도 여수지점에 한전에서 처음으로 설치한 축열식 냉난방 시스템이며, 난방시 히트펌프의 열원으로 외부의 공기를 이용하는 방식이다.

이 시스템은 저렴한 심야 전력요금으로 심야에 히트펌프를 가동하여 동계에는 고온의 열(40℃~45℃)을 하계에는 저온의 열(12℃~7℃)을 수축열조에 저장하고, 주간에는 이 열을 냉난방에 이용하도록 구성 되어 있다.

이 시스템에 대한 경제성 분석결과 투자회수 기간 5년 이내로 우수한 것이 나타났으나, 우리나라의 중북부에서 본 시스템을 설치하면 겨울에 외부의 낮은 기온으로 인하여 히트펌프의 성능이 저하되어 경제성이 떨어지므로, 기온이 온화한 남부 지역에 설치하여야 경제성을 확보할 수 있다는 연구결과가 제시된 바 있다.

### 5.2 변압기 배열이용 수축열식 냉난방시스템

변전소의 주 변압기 배열이용 수축열식 냉난방 시스템은 한전 변전소가 지하에 설치되어 있고 지상 건물은 사무실로 사용하는 복합 건물에 사용하는 냉난방 시스템으로 '87

년 한전 서부지점에 처음으로 적용하였다.

이 방식은 난방시 수냉식 주 변압기에서 발생하는 냉각열을 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, 축열식 시스템으로 구성되어 주간 부하를 심야로 전이 할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

### 5.3 생활배수열 이용 수축열식 히트펌프 시스템

생활배수열 이용 수축열식 히트펌프 급탕·냉방시스템은 춘추기 및 동계에는 목욕탕이나 수영장에서 발생하는 폐수열은 히트펌프의 증발기측 열원으로 사용하고 응축 기측에서 발생한 열은 냉각탑을 통하여 냉각하지 않고 급탕 부하에 활용하는 방식이다.

이 시스템은 목욕탕이나 수영장 폐수열을 활용함으로써 국가적으로는 에너지 절약이 가능하고, 수축열방식에 의하여 저렴한 심야 전력으로 냉방을 수행함으로써 건물주에게는 에너지 비용의 절감 혜택이 있으며, 한전에서는 냉방 부하에 의한 하계전력 피크 문제를 해결할 수 있어 상당히 우수한 시스템으로 연구결과 판명되었다.

일본에서는 본 시스템을 동경전력과 민간회사 공동으로 개발하여 동경 워싱턴 호텔에 적용함으로써 30% 에너지 절약 효과가 있음을 보고하고 있으며, 현재 상업화를 추진중에 있다. 이에 따라 한전에서는 현재 한전 속초생활연수원 증축건물에 본 시스템을 설치하여 운용하고 있다.

## 6. 결 론

현재 보급되는 축열시스템은 그 자체로서 보다는 야간전력의 할인에 의해 비용이 절감되는 부분이 크기 때문에 기존의 일반 공조시스템과의 경쟁력을 확보하기 위하여서는 축열시스템 채용의 신뢰성 및 경제성확보가 필요하다.

저장기술의 적절한 적용으로 최선의 공조방식을 추구하는것은 다른 어떤 방식보다도 기술자적 관심을 끌기에 충분한것이며 이러한 축열식 공조시스템기술의 적절한 보급을 위하여는 기술개발을 통한 경제성확보를 도모하는 한편 축열시스템의 에너지/환경친화적 측면을 검증하고 이러한 장점을 기술적으로 제고하는 노력이 필요할것이다. 이에 따라 未來型 축열식 공조시스템의 추구는

1. 냉동기 등 요소장비용량의 최적(소형)화
2. 순간 방열능력 등 시스템성능 향상
3. 요소장비 및 시스템의 에너지효율 제고
4. 환경친화특성 제고
5. 사용자 측면의 경제성 보장
6. 他 空調冷熱源 시스템과의 보완적 적용 도모

등의 관점이 되어야 한다. 쾌적공조기술에 적용되는 각종 냉열원시스템을 바르게 비교 판단하고 적재적소에 가장 적합한 장치를 적용함으로써 고도의 기계문명속에서 쾌적한 환경추구가 도모 되어야 할 것이며 이에 관한 정책당국의 적극적 관심도 기대한다.

## 저 자 소 개



**김석현(金錫賢)**

1950년 4월 29일생. 1972년 서울대 공대 기계공학과 졸업. 1977년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1983년 미국 UCLA 기계공학과 졸업(공학박). 1988년 12월-90년 2월 미국 UCLA 열공학과 객원교수. 1983년 8월-85년 2월 한국과학기술원 선임연구원(조교수). 1979년 9월-83년 2월 미국 UCLA 열공학연구실 post-graduate research engineer. 1977년 8월-79년 3월 울산대 기계공학과 조교수. 1985년 3월-현재 국민대 기계공학과 교수.



**최병운(崔炳允)**

1956년 5월 21일생. 1980년 2월 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 선임연구원.



**이경호(李暻昊)**

1970년 3월 6일생. 1992년 2월 경북대 공대 기계공학과 졸업. 1994년 2월 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 기술연구원 전력연구실 연구원.