

특집

# 전력부하 평준화를 위한 축냉 기술 동향

곽 희 열

(한국에너지기술연구소 대체에너지연구부)

## 1. 서론

소득 수준의 향상에 따라 냉동 공조 기기의 급격한 증가, 빌딩의 실내조명 부하의 상승 및 사무자동화 기기의 발달로 수반되는 내부 발열의 증가 등에 의해서 냉방부하가 급증하고 있고, 전체 공급전력 중에 약 22%를 냉방부하가 점유하고 있는 실정이다. 또한 냉방부하는 여름철 특정시간대에 전력수요가 편중되어 전력 공급문제를 야기하고 있다. 이런 상황에서 전력회사가 주야간 전력부하의 평준화를 도모하기 위해 빙축열 공급을 적극 권장하고 있고, 우리나라에서는 1991년부터 본격적으로 공급하고 있으며, 최근에는 신축건물의 빙축열 또는 가스 냉방 기기의 설치를 의무화하여 빙축열 공급이 확대 될 전망이다.

전력수요는 주야간, 평일과 휴일 그리고 계절간으로 크게 변동하여 일반적으로 냉방수요가 peak에 달하는 여름철의 평일 주간에 최대로 된다. peak 수요가 발생하는 것은 1년 중에서도 아주 짧은 시간이지만 전력의 안정공급에는 peak에 알맞은 전력설비를 필요로 한다.

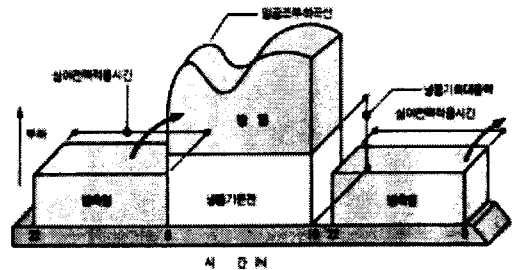
따라서 매년 증가하는 전력수요의 peak에 대응하여 신규전원의 개발이 필요하지만 입지난 및 수요지점으로부터의 여러 가지 문제 때문에 충분히 대응하기 곤란하다.

특히, 오후 2~4시경에 최대로 요구되는 이 냉열을 해당 시간대의 전력으로 냉동기를 가동함으로써 직접 공급하지 않고 심야시간대의 전력으로 냉동기를 가동하여 물, 기타물질을 얼림으로서 그 냉열을 축열조에 저장해 두었다가 주간 방냉하는 시스템이 바로 "심야전력을 이용한 빙축열 냉방설비"임이 이제는 많은 사람들에게 알려지기는 하였으나 막상 그 설비를 우리의 실정에 맞추어 보급, 설치하는데에는 여러 가지 어려움이 따른다.

따라서, 본 고에서는 여름철 전력부하 평준화를 위한 기술로서 국내에서 보급되고 있는 축냉식 냉방 시스템으로 빙축열 시스템 기술과 최근에 일본에서 개발에 성공한 축냉식 냉동 시스템으로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 이용한 축냉 냉동시스템에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 빙축열 시스템

빙축열 시스템이란 심야시간(22:00~08:00)에 저렴한 잉여 전력으로 냉동기를 가동하여 물을 얼음으로 상변화시켜 축열조에 저장하였다가 이를 전력 소비율이 많은 주간 peak 냉방시간에 이용함으로써 에너지를 경제적으로 사용할 수 있는 냉방방식이다. (그림 1)



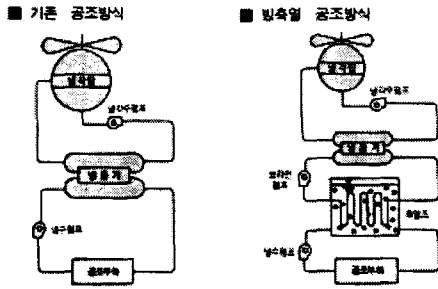
[그림 1] 빙축열의 운전패턴

냉방 운전시간대에 냉동기에서 제조된 냉수를 곧 바로 공조기나, 팬 코일 유니트 등과 같은 부하측에 공급하는 일반 시스템과는 달리 빙축열 방식은 비공조시간(야간)에 일정시간 냉동기를 운전하여 얼음을 얼려 냉열을 저장한 후 주간 냉방 운전 시간대에 저장된 얼음을 녹여 만들어진 냉매를 직접 또는 간접으로 부하측에 공급하는 방식이다.

따라서 빙축열 시스템은 빙축열조가 추가로 설치되며, 냉동기 용량 및 축열조 용량은 냉동기와 축열조의 운용방법에 따라서 선정된다. (그림 2)

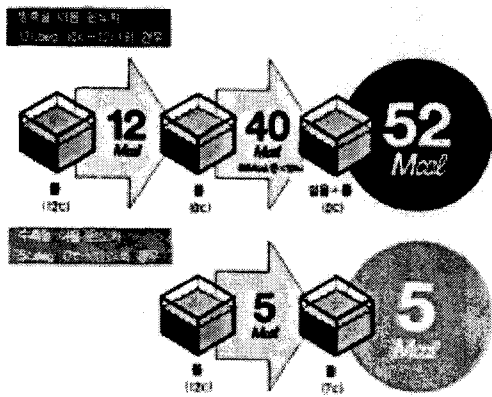
잘 알려진 바와 같이 빙축열의 장점은 얼음의 잠열을 이용함으로써 잠열량이 커서 축열조의 크기를 작게 할 수 있으며, 결빙 및 해빙 등 반복 사이클에도 열성능이 변화하지 않는 안정된 열저장 매체인 점이다.

빙축열에 사용되는 얼음의 잠열능력을 살펴보면 1톤의 0℃물이 1톤의 얼음으로 변할 경우 80Mcal의 응고 잠열이 축열되므로, 12℃ 물 1톤을 50% 얼음으로 상변화 시킬 경우에는 현열 축열량 12Mcal를 포함하여 52Mcal의 열량이



[그림 2] 일반 및 빙축열 공조방식

축열된다. 이것은 같은 경우의 수축열 방식으로 7℃의 냉수로 축열할 경우 5Mcal의 축열량에 비해서 최대 18배까지의 열량을 저장 할 수 있다. (그림 3)



[그림 3] 축열열량 비교

또한 빙축열시스템에서는 낮은 급기온도를 얻을 수 있어 저온 급기 시스템의 채용이 가능하여 이송에너지 및 급기 시스템 설치 공간의 절약을 꾀할 수도 있다.

그러나 기존의 냉방방식에 비해서 얼음을 생성시키기 위해 저온냉동기를 사용해야 함으로 시스템의 효율이 떨어지는 단점이 있다.

2-1 빙축열 시스템의 분류

현재 이용되고 있는 빙축열 시스템의 종류가 매우 많으며 분류하는 방식에 따라 다음과 같이 나누어 볼 수 있다.

• 제빙과정상분류	정적 제빙형	
	동적 제빙형	
• 제빙방식상분류	응고식 빙생성형	관외착빙형
		관내착빙형
		완전동결형
		캡슐형(ice ball형)
		빙막리형
		액체식 빙생성형

• 냉매방식상 분류	브라인 순환식
	프레온 직접팽창식 건식
	만액식
	프레온 강제순환식
• 시공방식상 분류	현장시공형 : 별치형
	공장제작형 : 일체형

- 운전방식상 분류
  - 전량축냉형
  - 부분축냉형
  - 부하평균운전방식
  - 열량제한운전방식

여기서 가장 널리 이용되고 있는 분류방법인 제빙방식상의 분류에 따른 빙축열조의 종류에 대하여 각 시스템의 특성과 성능시험시 유의할 점을 알아보면 다음과 같다.

가. 관외착빙형

현재 일본에서 가장 널리 보급된 방법으로 축열조 내에 동관, 강관, 또는 폴리에틸렌제 코일을 설치하고, 관 주위에 얼음을 생성하는 방법이다. 제작이 비교적 용이하고 기존의 공기조화 시스템을 그대로 이용할 수 있는 장점이 있으나 제빙이 진행됨에 따라 얼음의 두께로 인하여 열전달 효율이 떨어지게 되는 단점이 있다.

나. 관내착빙형

조내에 열교환기를 설치하고 관외로 브라인이 통과할 수 있게 한 구조이다. 제빙시 얼음이 관의 안쪽을 향해 성장하므로 제빙량이 늘어날수록 열전달 표면적은 감소하나 관내에 남아 있는 물의 양은 감소하므로 관내에 남아있는 물에 대한 즉 단위 수량당 열전달 면적은 증가한다.

따라서 필요한 얼음량의 제빙시간이 감소하고, 초기 수온(10℃정도)을 0℃까지 낮추는 시간도 감소한다.

해빙시에는 관내를 흐르는 냉수가 얼음과 직접 접촉하므로 열교환 효율이 좋아지며 균일한 해빙이 가능하다. 그러나 브라인이 조 내벽에 접하므로 열손실이 크며, COP는 다소 감소한다. 부하측이 물이므로 사용이 용이하며 폐회로도 할 수 있어 펌프동력이 감소하는 등 장점이 있어 현재 일본에서 일부 연구실험중이다.

다. 완전 동결형

이 방식은 조내에 제빙용 열교환기를 설치하고 제빙측 브라인회로 및 부하측 브라인 회로를 완전 밀폐한 구조이다.

부하측이 폐회로이므로 펌프동력이 감소하여 조내의 물을 거의 완전히 동결시킬 수 있으므로 축열조의 크기를 가장 작게 할 수 있으나, 부하측도 브라인을 순환시키므로 브라인 소요량이 많아진다. 해빙시의 효율은 나쁜 편이며 간접 융해특성으로 유용에너지의 양 즉 온도 포텐셜이 감소한다. 일반적으로 대형시스템에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

#### 라. 캡슐형

축열조에 캡슐을 설치하고 그 내부에 물을 채우고 열림으로써 열을 저장하는 방법이다. 조내에는 브라인을 채우고 완전동결형과 같이 냉동기 및 부하측 순환매체를 브라인으로 하는 것으로 이에 따른 장단점은 완전 동결형과 같다. 지금까지 나열한 방법과는 달리 별도의 열교환기를 설치할 필요가 없고 대량 생산이 용이한 캡슐을 사용할 수 있으나 캡슐내부의 물이 가냉현상을 일으킬 수 있고 브라인의 유동이 불균일해지기 쉽다.

#### 마. 빙박리형

제빙코일 주위에 생성된 얼음을 박리시켜 별치의 조에 얼음만을 저장하는 구조로서 주로 미국쪽에서 개발되고 있는 방법이다. 제빙 코일 주위에 두께 5mm정도의 얼음이 형성되면 냉동기를 역순환 시킴으로써 제빙코일온도를 높여 이 얼음이 박리되도록 주기적인 운전을 한다. 비교적 높은 COP를 유지할 수 있고 제빙부와 저장부가 분리 가능하므로 대용량의 얼음을 저장할 수 있으나 제빙코일 주위에 물을 분사시켜야 하므로 별도의 펌프가 필요하며 얼음을 박리시키는데 에너지가 소비된다.

#### 바. 액체식 빙생성형

에틸렌 글리콜(ethylene glycol)수용액을 이용하여 알갱이 형태의 얼음을 만들어 축열하는 방식이다. 글리콜 수용액과 냉매를 직접 접촉시켜 알갱이 형태의 얼음을 생성하는 직접식과 열교환기를 통해 냉매와 글리콜 수용액을 간접적으로 접촉시켜 얼음을 만드는 간접식 두종류가 있으나, 모두 글리콜 수용액에 포함된 수분을 알갱이 형태의 얼음으로 만들어 축열하는 원리는 같다.

이 방식은 조의 형상에 구애받지 않으며 소형화를 이룰 수 있다. 얼음이 입자상이므로 열교환 효율이 높고 제빙율은 50%이상으로 높일 수 있으나, 글리콜이 고가이고 처리가 곤란하며 제빙부위의 기름제거가 곤란하다. 또한 얼음 생성량이 증가함에 따라 농도가 진해져 응고점이 내려가고 COP가 저하한다.

현재 일본에서는 파이롯트가 설치되어 실험 중이므로, 아직도 연구단계라고 할 수 있다.

### 2-2 빙축열 시스템의 장·단점

빙축열 시스템의 장 단점은 비교 대상 방식이나 관점에 따라서 다르겠지만 국내에서 일반적으로 적용되는 냉온수 유니트 방식에 의한 일반 시스템과 비교하면 다음과 같다.

#### ● 장 점

- 심야전력요금의 적용으로 전체 운반비를 줄일 수 있다.
- 공조 부하변동에 상관없이 열원 기기의 효율적 운전이

가능하다.

- 공조부하가 어느 정도 증가할 경우에도 열원의 증설 없이 대응이 가능하다.

- 열원 기기의 고장시에도 축열부분 만큼의 냉방운전이 가능하다.

- 지역냉방을 위한 저온 송수방식, 저온 급기방식 등과 같은 2차측 시스템의 적용이 가능하다.

- 난방용으로 별도 보일러가 설치되게 되어, 난방 시스템 선택의 융통성이 크며, 특히 고층 빌딩에 유리하다.

#### ● 단 점

- 축열조, 별도 난방 열원기기 등의 설치공간이 늘어난다.

- 초기 투자비가 비싸다.

- 축열조에 의한 열손실이 증가한다.

- CFC 대체에 대한 고려가 필요하다.

- 설계, 시공과 관리 등에 주의가 요망된다.

### 3. 탄산가스(CO<sub>2</sub>)를 이용한 축냉 냉동시스템

동경전력(주)과 동양 엔지니어링(주)은 야간에 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 -56℃의 초저온으로 냉각하며 dry-ice형태로 축냉하여 주간에 그 초저온을 이용하여 「축냉 냉동시스템」의 실용기술을 공동 개발하였다.

이 시스템은 주간 냉동기의 소비전력의 peak를 야간으로 이동하는 것으로 대폭적인 전력수요의 peak부하를 야간으로 shift를 기대하고 있다. 제작 공장 내에서 성능 시험 확인 후 프리마 식품의 실제 공장 라인에 설치, 시험을 실시하여 실제 공장에서도 정상으로 가동하는 것을 확인하였다.

#### 3-1. 기술개발 배경

종래, 냉열의 잠열 축열시스템은 주로 민생용의 사무소 빌딩의 공조 및 지역 열공급의 열원을 대상으로 개발이 추진되어 왔으며 벌써 상당수 실용화되어 있다. 한편, 산업분야에서도 식품가공, 냉동 냉장업, 약품화학공업 등 다방면에 걸쳐 냉열을 생산공정에 사용하고 있다. 산업분야는 민생용과 달리 0℃이하의 냉열을 직접 사용하는 경우가 많지만 얼음 이외의 잠열축열시스템은 그다지 보급되지 않고 있다. 사용되고 있는 냉열동력원은 전력이라는 것으로부터 저온도 영역의 축열기술이 있으면 부하 평준화 추진에 유효할 것으로 사료되었다.

한편, 산업용의 축열에서는 지금까지 염화나트륨 등 산과 알칼리가 반응한 무기염이라고 불리는 물질 등을 축냉제로서 이용하여 -25℃까지의 실용화 기술이 확립되어 있다. 그렇지만, 더욱 낮은 온도대역에 있어서 냉열 수요가 있음에도 불구하고 적당한 축열잠열재가 없기 때문에 실용화

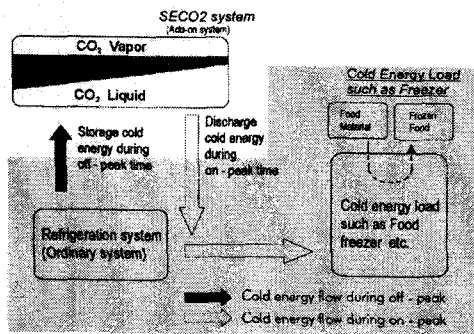
기술이 개발되지 못하고 있다.

이 조건을 만족하는 기술로써 탄산가스의 3중점을 이용하는 탄산가스 축열기술(-56.6℃)이 있어 검토를 해왔으며 그 결과, 근년 현저하게 신장되고 있는 식품 동결 등에의 적용 가능성이 확인되기 때문에 냉동식품 제조 냉열원의 주간전력부하 peak를 야간에 shift시키는 설비를 제작·운전하여 기술확립과 경제성 실증을 시도하였다.

### 3-2. 기술개발 내용

축열원리는 3중점(-56.6℃, 5.3kg/cm<sup>2</sup>a)상태로 유지한 저장조내 이산화탄소에 냉열을 가하면 액체 이산화탄소 중에 사베트상에 dry-ice를 생성, 축열하여 그 용해열을 부하냉각시에 이용하는 축열기술이다.

축열시에는 저장조내 탄산가스가 흡인·압축된 후 종래의 냉동기 등의 냉열에 의해 액화된 저장조내에 되돌려지면 가해진 냉열량에 따라서 dry-ice의 생성량(존재비율), 즉 축열량이 증가된 것으로 된다. 한편 부하냉각(냉열이용)시에는 저장조내에서 액체 이산화탄소만을 빼내어 이용측에서 이산화탄소를 기화시켜 그 기화열을 냉각에 이용한다. 기화한 탄산가스는 저장조에 되돌려 3중점을 유지하면서 재액화함과 동시에 dry-ice를 용해하여 축냉열을 소비한다. (그림 4)



[그림 4] SECO2 System Configuration

그리고, 축열기술의 특징을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① -56.6℃의 저온에 있어서 에너지 저장기술이다.(-25℃ 이하에서 실용화된 유망한 잠열축열기술은 없음)
- ② 이산화탄소의 3중점에 있어서 상변화를 이용하고 있기 때문에
  - 잠열 축열에서 에너지 저장밀도가 높다.
  - 일정온도의 냉열의 이용이 가능하다.
  - 부하 냉각시에는 액체 이산화탄소의 증발잠열이용으로 냉열 이송 밀도가 높다는 등의 장점이 있으며, 또 이산화탄소의 특징으로는

- 불연성이며, 안전한 작동냉매이며
- 가격, 공급의 안정한 적동매체라는 것 등을 들 수 있다. 그리고, 축열기술에 대한 기대효과 측면은 지금까지 없는 실용 축열기술로써 -25℃이하에 저온영역에 있어서 전력부하 평균화 기술이기 때문에 사용자로서는 값싼 야간 잉여 전력의 이용, 냉열원 설비용량의 저감, 전기용량의 저감 등의 유리한 점이 발생한다.

이들 결과로부터 종래의 비축열식 시스템에 비교하여 (냉동기 능력 = 33냉동톤, 냉동식품제조능력 = 1톤/시간 경우에 해당), 전기요금의 약 30%저감되며, 초기 투자비의 상승분은 약4년내에 회수할 수 있다.

### 3-3. 적용 및 활용분야

탄산가스 축열기술은 사용온도 영역으로부터

- 냉동 식품제조의 냉열원
- 냉동 건조식품 제조의 냉열원
- 약품 제조 건조 공정의 냉열원
- 냉장창고의 냉열원
- LNG냉열의 축열이용분야(냉열발전, Gas액화 등)
- 저온 실험실의 냉열원(저온환경 실험실, 고도환경 창출 냉열원 등)
- 저온을 요하는 화학공정의 냉열원 등과 같은 분야에 이용 가능할 것으로 사료된다.

따라서 향후의 공장시험을 계속하여, 최종 종합평가 후 동양 엔지니어링(주)에서 상품화를 추진할 것이다.

### 4. 맺는말

빙축열을 이용한 냉방 시스템은 각종 지원정책과 특정 건축물의 빙축열 설비 의무화로 증가 추세에 있으나, 보급활성화를 위해서는 기기들의 국산화를 통한 저가실현과 시스템의 신뢰도 향상 등에 관련업체, 연구기관, 전력회사 및 정부의 유관기관들 간의 공동노력이 요구되며, 아울러 소개된 이산화탄소를 이용한 초저온 축냉 냉동 시스템 기술 뿐만 아니라 고온 잠열축열재(포접화합물, 공유염, 등)이용한 축냉 시스템의 실용화가 필요하다. 결국, 이러한 축냉기술의 연구개발은 여름철 전력부하 평균화를 위해서 뿐만 아니라 에너지 절약 및 에너지의 효율적 이용에도 기여할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 한국전력공사, “빙축열 시스템”, 1990.
2. 한국전력기술연구원/생산기술연구원, “심야전력을 이용한 빙축열 기술개발”, 1991.

3. 공기조화냉동공학회, "HARFKO '93 공조강연회", 1993.

4. OHM, "CO2使用 蓄冷冷凍 System 開發", 1995.

곽 회 열



1960년 5월 출생.

1983년 조선대 기계공학과 졸업(학사)

1985년 인하대 기계공학과 졸업(석사)

1995년 인하대 기계공학과 졸업(박사)

현재 한국에너지기술연구소 대체에너지연구부 선임연구원으로 재직, 세계태양학회(ISES), 한국태양학회(KSES), 공기조화 냉동공학회 정회원으로 활동 중.

주관심 분야 : 에너지 변환기술, 태양열 집열 저장기술  
에너지 수송 분야.