

連 載

빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰 ( I )

Systematic Effects of Ice Storage System ( I )

생산기술연구원 빙축열 연구팀  
Ice Storage Research Group  
KAITECH

전력 부하의 평균화를 도모하여 발전설비를 효율적으로 이용하고 쾌적한 냉방환경을 조성하기 위하여 우리나라에서도 빙축열을 이용한 냉방시스템의 활발한 보급이 이루어지기 시작했습니다. 이와 때를 같이하여 최근 일본 東電建設(株)의 中本泰發씨가 省에너지誌에 게재한 “빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰”이 우리나라 빙축열 관련 종사자 제위에게도 많은 참고가 되리라 사료되어 생산기술연구원 빙축열 연구팀에서 번역하여 금번 '94년 4월 호부터 7회에 걸쳐 연재할 예정입니다. 참고로 원문의 내용 및 분위기를 살리기 위하여 직역하였음을 밝힙니다.

1. 머릿말

지금까지 우리나라(일본)는 일차 에너지 공급의 대부분을 수입에 의존해 왔다. 그러므로, 구입 에너지 양의 축소와 석유의존으로부터의 구조적 탈피는 지속적인 중요과제의 하나였다. 더우기 최근에는 에너지 문제가 지구환경과 깊은 관계가 있으며, 이것이 단순히 한 나라의 일만이 아니고, 국제적 협조를 필요로 하는 사회적·경제적·정치적 문제라는 것으로 강하게 인식되어짐에 따라, 그것을 해결할 수 있는 신중하고 유효한 대처방안이 요구되고 있다.

반면, 빌딩이나 가정등 민생부문에 있어서의 에너지 소비동향은 더욱 증가하는 경향을 보임으로써, 산업용을 대신하여 전력수요를 끌어올리며, 하루동안의 시간적 격차를 넓히는 요인의 하나가 되고 있고 하게 피크의 40%를 공조부하가 차지하는 지역도 있다.

최근의 기술진보는 지하철·하천수·하수 등의 저온열원 및 공장의 배열등을 이용하여 열수요에 대응할 수 있도록 하였으며, 이들을 활용한 열공급 시스템의 도입은 에너지 절약

측면과 이산화탄소 발생량 억제등의 측면에도 큰 효과를 거둘 것으로 기대된다. 이를 위해 통상산업성에서도 미이용 에너지의 활용과 지역 열병합발전사업의 활성화를 위한 사업비와 기술개발 등에 대한 각종 지원제도를 마련하였다. 이들 지역냉난방 시스템이나 건물 공조설비 등의 열병합 설비에 있어서는 부하평균화와 경제적 운용을 추구하고, 야간전력을 이용하여 열의 형태로 저장하며, 혹은 미이용 에너지를 활용해서 이것을 주간수요의 일부로 사용하는 축열방식이 많이 채용되기 시작하고 있다. 여기에 전기요금의 개정에 따른 업무용 축열계약의 유리함 등이 더해져 축열시스템의 보급은 에너지절약 측면에서 매우 효과적 이므로 국가 프로젝트를 비롯하여 각 방면에서 관련 연구개발이 강력히 추진되고 있다.

얼음을 축열재료로서 이용한 시스템은 앞의 여러 추진방향중에서도 경제성 향상과 운용등의 편의성면에서 뛰어나며, 여러가지 방식이 제안되고 설치되어 왔다. 그렇지만, 현재까지의 빙축열 시장 전반을 고려하면 앞날이 반드시 화려하다고만은 할 수 없다. 그러면, 빙축열방식은 왜 보급에 시간이 걸리는 것일까?

무엇인가 정착을 저해하는 요인이 있는 것일까?

따라서 본고에서는, 빙축열시스템에 관한 얼음제조장치, 얼음과 물의 혼합류에 의한 잠열수송, 그리고 최종적인 저온 급기와 대온도 차공조에 이르기까지의 total system에 대해서 불완전하지만 고찰하고, 그 효과를 모색하여 제안을 하고자 하는 것이다. 첫회에는 그 도입부로서 우선 시스템의 전체구성과 문제점의 대강에 대해 설명하며, 다음회 이후, 각각의 과제에 대해서 차례로 설명하고자 한다.

## 2. 빙축열 방식과 평가

### 2.1 빙축열 재료로서의 물과 얼음

물은 열적·기계적·화학적으로 안정하며 열전도율이나 비열, 잠열이 크고, 점성이 작아, 실용상 충분한 정도의 순수한 것을 싸고 대량으로 얻을 수 있고, 무취이며 독성이나 연소성이 없어 취급이 용이하고 환경을 오염시키지 않는 등 축열재료로서는 아주 뛰어난 물리적·화학적 특성을 갖고 있다. 더욱이 물은 순환수로서 사이클내에 그대로 사용할 수 있는 편리함이 있다.

이와같은 우수한 물성과 높은 축열밀도를 바탕으로 한 경제적 우위때문에 물을 축열냉매로 한 공조 시스템은 많이 보급되어 순조롭게 운전되어 왔다. 더욱이 축열조로서 건축물의 지하 이중 슬라브 이용이 고안되었고 특히 조내의 물의 유동이나 전열특성이 이론적으로 규명되어 건축 구조물이 공조설비의 일부로 편성되어진 형태로서 유효하게 이용될 수 있게 되었으므로, 우리나라(일본)에서는 이와같은 방식이 많은 건물에 채용되어 있다.

한편 고도정보화·지능화로 대표되는 최근의 도시기능의 고밀도화, 혹은 거주환경이나 작업환경등의 개선과 쾌적도 지향에 따른 냉방부하의 증대, 더욱이 건물의 고층화에 따라 상대적으로 부족 경향이 있는 축열조용량 등의 모든 문제에 대한 해결책으로서 물을 대신

하여 얼음에 의한 축열방식이 공급되었다. 빙축열은 물의 우수한 재료적 특성과 본질적으로 사용하기 쉬우며, 얼음의 큰 용해잠열을 이용해서 제한된 공간내에서의 고밀도 축열을 실현할 수 있고, 따라서 축열조용적을 축소할 수 있다. 이것은 동시에 축열조 표면적의 감소로 이어지며, 종래 실용적으로 무시할 수 없었던 방열손실의 감소도 가능하게 하였다.

이렇게 해서 수축열보다도 한층 진보한 방식으로서 주목되어 벌써 30가지가 넘는 다양한 시스템이 출현하는 화려함을 보였던 빙축열도 최근 일부에서는 냉냉하게 반응하는 경향도 있어서 한때의 신장세는 사라지는 것처럼 보인다.

### 2.2 무엇이 문제인가?

빙축열시스템의 무엇이 이러한 혼미를 발생시키는 요인일까? 「빙축열시스템이 냉동장치 단독으로는 에너지 절약측면에서 수축열에 뒤떨어지는 것은 거의 틀림없다」는 인식은 일반적으로 정착한 것처럼 받아들여지고 있다. 제빙장치만을 거론해 보면 5~7℃ 정도의 냉수가 얻어지면 되는 수축열방식에 비해 빙축열은 냉동기의 성적계수(COP)에 있어서 15~20% 정도 낮은 것은 피할 수 없다. 더욱이 여기서 만들어진 0℃의 exergy를 공조에 사용할 경우에는 일단 얼음을 용해시켜 5~7℃의 냉수로써 부하측으로 송수하는 종래방식이 채용되고 있다. 즉, 일반적인 빙축열시스템은 전공조 시스템의 하나의 과정에 불과하거나, 혹은 하나의 subsystem으로서 단순히 물대신에 얼음으로 대체할 시스템으로서 자리잡는 것에 지나지 않는다. 현열축열 비율이 높은 즉 저밀도의 빙축열조내의 온도분포는 물이 최대밀도를 나타내는 온도인 4℃에서 크게 영향을 받으며, 실질적으로 냉수축열과 큰 차이가 없어져 버린다. 물론 고밀도축열에 있어서도 잘못 설계된 축열조에서는 0℃의 냉수를 얻을 수가 없다.

어쨌든, 예를 들어 0℃의 냉수공급이 가능

하더라도 냉열저장부분만의 평가로써 수축열과 비교한 빙축열의 우수성은 기껏 현열분 4℃일뿐이라고 하는 점이다. 물론 4℃라고 하는 exergy차이는 이것이 유효하게 이용되는 한 결코 작지 않은 것이지만 이것만으로는 얼음이 물에 비해서 현저하게 우수하다고 할 수 있는 이유가 되지 않는다.

주간 냉방수요의 야간 shift라고 하는 전력 부하의 평균화에 관한 혜택도 원리적으로는 수축열과 다를 바가 없으므로 빙축열이 전력의 효율적 운용을 수축열 이상으로 개선한다고 기대할 수는 없다.

### 2.3 지금 왜 빙축열인가?

그러면 빙축열방식은 정말 도태되어 버려도 좋은 시스템인가? 이와같은 오해를 낳는 가장 중요한 원인이 되는 것은 빙축열의 시스템적 효과에 관한 관계자의 인식이 불완전함에 있을 것이라 생각된다. 즉, 빙축열은 수축열과는 시스템적으로 완전히 다른 독립적인 시스템이라는 인식의 결핍이다.

빙축열시스템은 단지 축열조 안의 물을 얼음으로 변환시키는 정도의 대체시스템이나 sub-system은 아니다. 얼음저장과 고액2상류에 의한 얼음의 잠열직접반송과 그 저온냉수를 이용한 사용 끝단에서의 대온도차 공조를 일체화한, 즉 수축열시스템과는 전혀 별개의 시스템이다. 다시말해, 구체적인 빙축열시스템의 기본구성은

- 유동성 얼음제조 · 저장
- 얼음반송 · 대온도차 return flow
- 저온송풍저온급기 · 대온도차공조

라는 것으로 되어 있다.

우선, 얼음을 물과 같이 고액2상상태인 채로 흐르게 하면 얼음의 잠열을 직접반송하는 것이 되는 동시에 더욱이 0℃라는 저온을 반송함에 따라서 사용 온도차가 커져 수송유량의 감소를 도모하는 것이 가능하게 되므로 현열만을 수송하는 냉수 단상방식에 비해서 열반송능력(수송열량)이 비약적으로 증대되고,

운전동력의 대폭적인 절감이 가능하게 되는 동시에 열수송설비, 단말설비가 소형화하며, 토목·건축 공간의 축소를 꾀할 수 있는 등의 혜택이 크다. 또한, 기존의 설비에 있어서도 당초 계획보다도 부하측의 열수요가 증가하여 공급량부족이 되어 버린 경우에는 그 수송배관설비를 크게 변경하지 않고 열수송량을 증대하는 것이 수월하게 된다.

다음으로 송수, 송풍, 공조 코일등 각 계통에 있어서 이용온도차의 확대는 축열조용량을 축소하는 것과 동시에 동일 열반송량에 있어서 수송유량을 더욱 감소시키므로, 반송 동력을 한층 절감할 수 있음은 물론 브라인 평균 온도 즉, 냉동기증발온도의 상승에 기여하여 COP를 개선한다는 등의 여러가지 효과가 있다.

또 지역열공급배관에서 얼음이 존재하는 한 냉열의 공급온도를 항상 0℃로 유지할 수 있으므로 장거리를 반송하여도 이용하기에 문제는 없다. 최근의 열수요의 확대는 사무용 건물 등 도심부를 중심으로 하는 경향이 있기 때문에 여기에 미이용 에너지를 도입하고자 한다면 열원에서 수요지까지의 거리가 멀어져 기존의 냉수수송관으로는 수송량과 수송거리에 한계가 있는 경우도 있다. 즉, 냉수 단상수송에서는 이용온도차가 5~7℃로 작기때문에 15℃ 전후의 냉공기를 만드는데 제한이 있으며, 장거리 반송에서는 수송관에서의 열흡수에 의해 수요끝단에서 이 상한온도를 유지할 수 없는 경우도 있을 수 있게 된다. 이러한 이유때문에 지금까지는 간과되어 왔던 미이용 에너지가 있다면 얼음 반송에 의해 그 활용이 가능하게 된다.

이처럼 얼음·물 고액2상상태로 냉열을 반송하면

- 열수송밀도의 증대
- 열수송거리의 장거리화
- 미이용 에너지의 더 많은 활용

을 실현할 수 있으며, 더욱이 저온송풍저온급기·대온도차공조를 사용하면

- 수송배관 크기의 축소에 의한 점유공간  
의 감소와 부설비의 절감
- 반송동력의 대폭 감소
- 축열조용량의 대폭 축소

라고 하는 시스템적 효과를 기대할 수 있다. 또 장거리수송에서는 배관 그 자체가 한층 큰 잠열축열효과를 갖게 된다.

이와같은 빙축열을 시스템으로서 완성시키므로써 얼음 제조장치 단독으로의 에너지적 불이익을 극복하고 전체적으로 큰 혜택을 주기 때문에 이러한 체제화를 서두르는 일은 아주 의미가 크다.

### 3. 과제의 정리

#### 3.1 시스템의 평가

이상적 빙축열 total system의 실현에 있어서 문제가 되는 과제의 우선도는 무엇을 평가할 것인가에 의해서 결정된다. 시스템의 평가 변수로서는 예를 들면,

- 편리성, 취급성, 신뢰성, 재해방지, 환경 부하성, 유지관리성
- 에너지 절약성
- 경제성, 자원절약성, 내구성
- 공간유효이용, 공간 절약성
- 공조시스템, 말단과의 조합 적합성

등을 들 수 있다.

#### 3.2 편리성, 신뢰성등

이들의 평가변수중에서 운전의 안정성, 신뢰성, 안전성등에 지장을 초래할 것이라고 예측되는 기술에 관해서는 그것이 제반운용에 미치는 영향의 정도를 서둘러 확인해야만 한다. 특히 관로에 있어서 얼음에 의한 폐쇄의 염려는 얼음반송의 실용화를 막는 가장 중요한 과제이다. 지금까지 100mm이하 정도의 소구경관에 있어서 흐름의 거동에 대해서는 관계자의 노력에 의해서 점차로 규명되고 있으나 지역열공급 시스템에의 적용확대를 위해서는 적어도 수백 mm급의 대구경관에 의한 설

계조건의 규명이 필요할 것이다. 이것은 관경에 의해서 흐름의 거동이 다른 것은 아닐까 하는 필자의 의문에서 나온 것이며 금후, 이 점에 대해 해명이 이루어지길 기대하고 있다.

#### 3.3 에너지 절약성

수축열과 비교해서 적어도 냉동기에서의 소비 에너지는 빙축열이 불리하다고 말할 수 있다. 예를 들면, 0℃의 얼음을 만들기 위해서는 5~7℃의 증발온도가 필요하며 5~7℃의 냉수를 얻을 경우에 필요한 증발온도인 0~2℃에 비해서 COP가 15~25% 정도 나빠지는 점은 피할 수 없다. 더욱이 브라운등 이차냉매를 사용하는 제빙장치에 있어서는 더욱 저온도의 증발온도가 요구되며 이와같은 제빙 방식의 차이에 따라 빙축열장치 사이에서도 15% 전후의 능력차가 있다. 이 COP의 차는 그대로 동력차가 되므로 제빙방식에 따라 COP에 이와 같은 큰 차를 유발시키는 부분이 있다는 점이 빙축열시스템의 무엇보다도 큰 문제가 아닌가 하는 생각이 든다.

송수, 송풍, 공조 coil등 각계통에 있어서 이용온도차의 확대에 따른 시스템적 효과에 관해서는 앞에서 기술하였다. 이 대온도차공조·저온급기에 대해서는 급기구의 선정등을 잘하면 실내환경적으로 문제가 없다는 사실이 알려져 있다. 동경전력(주)은 Kashima건설(주)와 공동으로 저온냉풍공조 시스템의 개발을 마치고 요코하마에 건설중인 기술개발센터에 처음으로 이것을 채용한다고 한다. 이 건물은 첨단 기술이 적용된 최신키의 에너지절약·intelligent building으로서 급기온도를 종래의 표준적인 값인 15℃ 전후에서 8℃로 저하시킴으로써 송풍량이 종래형에 비해서 약 40% 작아져서 덕트, 팬, 펌프등 반송설비가 소형화되어 초기투자비를 15% 절감할 수 있으며 사용전력도 약 30% 절감할 수 있다고 한다. 반복된 simulation과 각종 실험에 의해서 이 온도의 냉풍이라면 실내에 직접 급기해도 인체등 실내환경에 악영향은 없고, 또한

결로의 우려도 없다는 사실을 확인하였다고 한다.

### 3.4 경제성

수축열시스템의 경우에는 지역냉난방의 냉열 설비에 소요되는 비용중 냉수용 도관의 고정비가 20%를 넘는 경우도 있다. 또 배관구경도 1m이상이 되어 큰 공간을 점유하게 된다. 따라서 열음의 잠열을 반송하므로써 이 부분에서의 경제적 효과는 커지며, 피할 수 없는 사실인 냉동기 COP의 저하에 따른 에너지 소비와 운전비용의 증대라는 불이익을 충분히 보상받을 수 있다. 제빙설비의 경제적 부담이 빙축열시스템의 보급을 저해하는 첫째 이유라는 지적도 있으나, 수요가 많아지면 제빙에 최적인 저가의 기종을 개발해서 시장에 출시할 수 있다는 업체의 논리도 있다.

이처럼 경제성에 있어서도 종합 시스템화가 개선과 관계가 있으므로 전체적인 시스템을 만드는데 있어서 최적설계조건을 추구하여 냉동기 주변의 불이익을 상쇄시켜주면 빙축열시스템은 수축열시스템을 상회하는 우수한 특성과 경제성을 발휘할 것으로 기대된다.

물론 이 경우 축열조 효율, 저부하에서의 제어성이나 부하예측의 최적화등은 수축열에서와 마찬가지로 아주 중요한 과제이다. 열교환기, 개축시스템등 요소기술에 대해서도 이들과 병행해서 확립시켜야만 할 것이다.

## 4. 시스템적 관점과 효과

현재까지 우리나라(일본)에서는 30여 종류의 빙축열시스템이 개발되어 시장에 공급되고 있다. 이것에 대해 왜 이처럼 많은 시스템이 우리나라에 필요한 것인가? 이들 모두가 이 세상에 존재할 가치가 있는 것일까? 라고 지적하는 시각도 적지않다. 축열의 측면만을 고려하여 완전하다고 할 수 있는 축열재료나 시스템은 존재하지 않는다. 그렇다고 해도 일본에 이렇게 많은 빙축열방식이 필요하다고는

생각하지 않는다.

새로운 기술개발의 초기단계에서의 연구는 가능한 한 다양하게 행해져야 한다. 그리고 실용에 이르는 과도적인 과정에서 시스템의 부분적 경험을 쌓아가면서 전체 시스템의 완성으로 접근해 가는 방법은 특히 시스템이 거대해서 한번에 전체를 완성하면 위험부담이 큰 경우에는 매우 중요하다. 그러나 그 과정에서 불필요한 시스템은 도태되는 것이 일반적이다. 따라서 시스템이나 구성기기가 표준화되고 그에 따라 대량 생산이 진행되며 비용을 절감할 수 있는 방향으로 체제가 정비되어 가는 것이 경제성 뿐만 아니라 신뢰성 향상의 면에서도 중요한 것이다.

한편, 에너지 절약에 대해서 살펴보면 흔히 하드웨어에 주안점을 두는 관례로 시스템에서 얻을 수 있는 이점을 잊어버리는 경우도 있는 것으로 생각된다. 시스템의 영역을 확대하여 검토하고자 하면 서로 이해관계가 대립되고, 의견이 다르므로 혼란이 생겨 시장개발이 저해되는 것을 두려워하거나, 혹은 자신의 전문분야에 개입되는 것을 싫어하여 비교적 내용을 잘 알수 있는 작은 분야만으로 일을 성사시키고자 하는 경향을 부정할 수 없다. 이러한 경향은 학계, 업계에 공통된 것이다. 또한 원리적으로는 누구도 반대의견을 말하는 자가 없을 만큼 우수한 시스템임에도 불구하고, 일부 학식있는 경험자나 기술자의 강한 자기주장이나 강력한 추진력때문에, 우수한 시스템이라고 해서 실시예에서 만족할 만한 결과를 반드시 얻는 것은 아니며 결과적으로 시스템 전체의 평가를 나쁘게 초래하는 경우도 있을 수 있다.

상용 제1호기로서 도입된 시스템은 완벽해야만 한다. 그 실패나 악평이 시스템 전체의 장래를 결정하는 경우가 적지않기 때문이다. 새로운 상품은 가능한 한 초기에 사회의 좋은 평가를 얻어야만 한다.

대온도차공조에 관해서는 「지금, 우리들은 아무것도 어려운 것이 없다. 일부러 위험을 무

롭쓰지 않으면 안되는 이유등은 어디에도 없다. 왜 지금 잠열수송·저온송풍인가?」라고 하는 소리가 많은 것도 사실이다. 분명히 종래 14℃ 전후의 냉풍에 의한 쾌적공조 기술에서는 빙축열시스템으로 부터의 0℃ 정도의 낮은 온도의 냉수를 반드시 필요로 하지는 않는다. 공조분야에서의 에너지 절약, 합리화는 현 상태로서는 충분하지 않으며 설비설계자의 앞으로의 이해와 협력이 반드시 필요하다.

또한, 이미 이해한 것처럼 얼음의 잠열수송을 핵심으로 하는 이상적 빙축열시스템은 미립화된 유동성이 있는 얼음을 이용하는 것이다. 그러면 이미 정적 제빙에 의한 축열은 쓸모가 없는 것일까? 그것은 비교적 소규모의 단위 시스템으로서 높은 space factor가 요구될 때에는 아주 유용할 것이다. 예를 들면, 관서전력(주)은 오오사카시 사무소용 임대건물(지상 9층, 지하 2층, 연건평 4134m<sup>2</sup>)에서 정적제빙 시스템과 통상의 히트펌프를 결합시켜 1년간의 복합운전시험을 실시하고 있다. 그 결과, 중규모 건물에서도 전력수요 피크시의 41%, 공조부하시의 31%의 peak cut 효과를

얻었으며 야간전력으로의 부하이전은 하계 35%, 동계 19%에 달하는 등 큰 효과가 있음을 실증하였다고 한다. 에너지 절약이 적용대상마다 시스템적 관점에 입각하여 행해져야 하는 중요성을 보여준 좋은 예이다. 또한 빙축열 시스템의 lease 사업을 개시한다는 중부 전력(주)의 예도 있다.

이상 기술한 것처럼 빙축열시스템의 진정한 효과는 얼음의 잠열수송에 의해서 발휘되며, 그 저온송수는 수요끝단에서의 대온도차이유에 의해 한층 더 유효하게 되어 비로소 빙축열시스템도 에너지 절약측면에서의 본연의 가치가 평가되어질 것이다.

본고에서는 다음 회 이후에 관료에서의 흐름의 거동이나 압력손실 등 제반특성, 에너지 절약성, 경제성, 요소기술등에 관한 모든 문제를 정리하고 가능한 한 정량적인 고찰을 더해갈 예정이다. 그러나 그것들의 내용이 허술하거나 혹은 독단과 편견으로 채워지는 일이 있다면, 그것은 필자의 역부족에 의한 것이니 용서를 바란다. 여러분의 따뜻한 지원을 기대하는 바이다.