

## 連載

## 빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰 (Ⅶ)

## Systematic Effects of Ice Storage System (Ⅶ)

(마지막회)

생산기술연구원 빙축열 연구팀

Ice Storage Research Group

KAITECH

전력 부하의 평준화를 도모하여 발전설비의 효율적 이용과 쾌적한 냉방환경 조성을 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 '94년 4월호부터 7회에 걸쳐 연재를 하였습니다. 빙축열 관련 종사자 여러분들께 다소나마 도움이 되었으면 합니다. 참고로 원문의 내용 및 분위기를 살리기 위하여 直譯 하였음을 밝힙니다.

## 12. 요소기술과 과제

전회까지의 시산(試算)과 고찰의 결과, 빙축열 시스템은 얼음의 잠열의 직접반송과 공조시스템에 있어서 저온송풍·저온급기·대온도차이용의 병행에 의해서 매우 높은 에너지 절약과 뛰어난 경제성을 나타낸다는 것이 명확해졌다. 그러나 이것을 종합적 시스템으로 실현하기 위해서는 그다지 많지 않다고는 말하나 여전히 해결해야 할 몇가지의 기술적 과제가 남아있다. 그것은 서로 부착성을 갖는 사베트 상태인 얼음의 저장이나 수송이 지금까지 알려져 있는 미분탄이나 모래 등의 수력수송에서 볼수 있는 고액혼합 흐름과는 다른 거동을 나타내므로 지금까지 이용되어 온 기기나 유동특성에 관한 지식을 그대로는 적용할 수 없다는 점에서 기인하는 것이 많다.

그래서 이번 호에는 이들 과제를 정리하는 것과 동시에 지금까지 언급하지 않았던 개발을 필요로 하는 기기·요소에 대해서 서술하고 그 구체화를 위한 몇가지 제안을 해 볼 것이다.

## 12.1 얼음의 제조·저장과정에 관한 기술

얼음의 제조에는 보다 높은 냉매증발온도를 얻을 수 있는 방식이 요구된다. 또한 환경오염이나 안전면에서 열공급배관에는 물 이외의 물질을 넣지 않는 것이 바람직하므로 브라인이나 계면활성제와 같은 것이 배관내에 직접 유출할 가능성이 있는 제빙방식은 좋지 않다. 수화물 등을 봉입할 보울상태의 잠열축열제도 같은 의미에서 파손에 대한 대응책이 필요하다.

「하베스트법은 얼음의 생성이 연속적이지 않다」라고 하는 종류의 비판<sup>2)</sup>은 적어도 저장해서 축열용으로 이용하는 한 타당하지 않다. 단, 제빙판에서 얼음을 분리할 때에 압축기의 고온축 냉매가스를 이용하면 열손실을 발생시키기 때문에 제빙판 표면에 코팅등 특수한 처리를 해서 얼음의 자중으로 분리시키는 등 열손실을 피하기 위한 개량이 바람직하다.

과냉각방식은 건축물의 이중 슬라브 이용이나 개방형의 축열조와 같이 물이 오염되기 쉬운 구조의 축열조에서는 신중하게 적용되어야

만 한다. 또한 대용량화해서 다관식으로 만든 경우에 생길지도 모르는 비정상적 유동에 의한 관내 동결이 염려된다.

그러나 무엇보다도 우선 대량 양산화하기 쉬운 빙전용 냉동기의 개발과 시장투입이 반드시 필요하다. 만약 정말로 장시간 저장이나 반송시에 얼음끼리 재응결·고착하지 않는 제빙방식이 있다면 이것을 확립할 필요가 있다.

수축열 시스템과 마찬가지로 빙축열 시스템의 축열조에 있어서도 비가역손실을 적게 발생시키는 설계법이나 경제성 향상과 효율 개선책은 중요하다. 축열조는 형상은 세로로 긴 형상이 유리한 수축열조와 달리 빙축열 방식은 자유도가 높아 슬라브 하부를 이용하는 평평한 축열조가 보다 적절한 방식이라고 말할 수 있다.

60%전후라고 하는 저장의 한계빙축진율은 얼음의 생성방법이나 축열조 형상·크기, 얼음의 투입방법 등에 따라서 다소의 개선이 가능할지도 모르므로 연구과제이기는 하나 극단적인 향상을 기대하기는 어렵다. 특히 시스템 규모가 커지면 축진율이 악화하는 경향이 염려된다.

축열조내의 빙축진율 계측방법의 개발은 중요하다. 브라인을 사용한 제빙 방식에서는 얼음이 생성됨에 따라서 축열조내 브라인이 농축되어 전도도가 상승하는 점을 이용해서 제빙율의 계측에 사용할 수 있다고 하지만 실험실내나 소규모의 밀폐식 유니트라면 몰라도 실제의 대규모 축열 시스템에서는 시스템내의 모든 오염물들도 동시에 농축되어 가므로 실용적 계측에 이용할 수 있는가는 의문이다. 축열조내의 얼음을 직접적으로 계측할 수 있는 방법이 필요하다.

### 12.2 얼음의 취출 과정에 관한 기술

야간에 얼음을 제조·저장하여 이것을 낮에 꺼내어 사용하고자 할 때 축열조내에서 물의 상부로 모여져 떠있는 샤베트 형태의 얼음은 장시간에 걸쳐 부력에 의한 압밀과 공기중의

습분에 의해서 재응집되어 큰 덩어리로 성장하고 있을 지도 모른다. 그 얼음 덩어리도 두께나 밀도가 일정하지 않을지도 모르며 부분적으로는 산모양으로 솟아 오르고 있을 지도 모른다. 이와 같은 현상은 대규모에서 축진율이 높아질수록 현저하게 될 것이다.

이와 같은 얼음을 충분히 고분율의 얼음-물 이상유체로서 안정하게 끄집어 내거나 제어하기 위해서는 축열조의 형상과 함께 취출구 또는 방법을 고려해야만 한다. 그러나 이때 비가역손실이 없도록 주의가 필요하다. 이것이 예를 들어 얼음의 형태로 저장 되었어도 사용할 때에는 단순히 물만을 사용하는 재래의 빙축열방식과 크게 다른 점이다. 물론 그 이전의 단계로서 축열조에 얼음을 투입할 때 이미 재응집방지나 효과적인 얼음의 취출방법을 고려한 연구가 되지 않으면 안 될 것이다.

이 대책에 관해서는 소규모인 것으로서 가정용 세탁기와 거의 같은 원리로 눈과 물을 혼합하여 수송관내로 압입하는 와류교반형 장치를 소개하였다. 그러나 대규모 시스템에서 실용적인 이용을 위해서는 또 다른 수단이 필요하다. 예를 들어 표면에 떠있는 얼음만을 긁어내어서 계량하고 그 후에 물과 다시 혼합해서 임의의 빙분율의 이상 흐름을 얻는다고 하는 방법은 단순하고 확실하다. 또 물 제트법 등도 생각할 수 있으나 대량의 얼음을 다루게 되면 쉽지않을 것이다.

이상에서 보듯이 축열조에서 얼음을 안정적으로 얻어내는 것은 얼음-물 이상 반송 시스템의 제1단계이며 매우 중요한 과제이지만 이 부분에서는 의외로 큰 에너지를 소비하게 될 염려가 있다.

### 12.3 빙수의 반송과정에 관한 기술

얼음-물 이상흐름에 미치는 지배적 인자로서는 우선 유속과 빙분율을 들 수 있으며 이어서 배관경과 얼음의 질을 생각할 수 있다.

40%정도라고 볼 수 있는 임계(반송한계) 빙분율과 최적분율, 임계(하한)유속과 최적유속

등 폐색을 일으키지 않는 제인자의 안정한계와 경제점을 확인해 두어야 할 것이다. 폐색하지 않는 제어밸브 등 배관요소의 검증도 중요하다. 실용화를 위해서는 흐름이 명확하고 재현성이 있으며 적절한 설계·시공법을 확립하여 정해진 운전관리에 의한 성능보증을 가능하게 하는 것이 아니라면, 예를 들어 빙반송이 우수한 시스템이라고 하는 보편적 평가가 세간에 정착되었다고 해도 그 점이 바로 실제설비로 채용될 수는 없다. 얼음-물 이상흐름에 있어서 발생할지도 모르는 폐색에 대한 염려는 얼음의 잠열수송의 채용을 결정하는데 있어서 최대의 장애이다. 전술한 것처럼 반송에 적합한 얼음의 제조법이나 성질, 형상, 얼음직경, 분산방법 등이 결정되면, 한층 조건이 좋아진다.

그러기 위해서는 같은 실험장치에다 다른 종류의 얼음을 사용하는 비교반송 실험이 빠져서는 안된다. 적어도 DHC(District Heating and Cooling)로서는 실용적 관경인 250mm 정도(수송열량 10Gcal/h 상당)의 장치에서 압력손실 등의 데이터 수집, 흐름의 관찰, 폐색의 조건이나 방지법의 확립, 요소의 개발등을 다양한 빙질을 이용하여 비교, 평가하였으면 좋겠다. 대구경관과 고분율에 있어서 흐름의 거동에 대해서는 지금까지 연구가 되고 있지 않고 이들의 차이에 의한 흐름의 상사 법칙이 확정되어 있지 않다는 사실은 중대하다. 또한 내벽이 거친 관에 대해서도 연구가 없다.

DHC 공급관 이상(二相)흐름속의 빙분율을 계측하는 것은 수요가와 사이의 상업적인 거래에 의한 요금계산을 위해서 뿐만이 아니고 부하변동을 따라가면서 연속적이며 안정적으로 빙분율을 제어하면서 시스템을 최적조건으로 운전하여 에너지 절약도 도모하고 경제성을 발휘하기 위해서 빼놓 수 없다. 그러나 이것이 용이하지는 않으며 아직 간편하고도 신뢰성이 높은 실용적인 계량방법이 없다.

이상흐름의 전체 체적 혹은 질량을 계측하

는 것은 얼음과 물과의 밀도차가 작으므로 용이하고 물의 유량계측에 통상적으로 이용되는 방법, 예를 들어 전자유량계 등을 사용할 수 있다. 그러나 이중에 포함되어 있는 얼음의 양(빙분율)을 구하게 되면 거꾸로 밀도차가 작은 것이 장벽이 되어 곤란하게 된다.

측정원리나 기구로서는 유로중에 돌기물이거나 단차가 있으면 얼음이 정체되거나 폐색의 원인이 되기 때문에 계측기의 요소자신이 그와 같은 장애물이 되지 않는 것이 필요하며 가능하면 비접촉식인 것이 바람직하다. 그리고 얼음의 형상이나 성질의 영향을 받지 않는 것이 중요한 조건이다. 또한 어떤 판단면을 얼음이 단속적으로 통과하거나 판단면에 있어서 얼음의 분포가 상부에 치우쳐 흐르거나 하기 때문에 실용적인 계측기로서는 시간적, 단면적으로 평균적인 방식의 것이 좋다.

필자는 수직관에 의한 수력 구배법이 가장 유효하다고 생각한다. 이것은 얼음의 혼입이 유체의 평균밀도를 변화시켜 부력이 수직 흐름에서 압력손실과의 균형에 미치는 영향으로부터 빙분율을 계산하는 방법으로 Nagaoka 기술과학대학이 눈-물 이상흐름에 이용하여<sup>23)</sup> 어느 정도 실적을 올리고 있으며 관내유속이 적절하다면 약 4% 정도에서 눈의 분율을 결정할 수 있다고 한다. 단, 일정 길이의 수직관을 필요로 하기 때문에 다소 공간상의 난점이 있으며 또한 유속이 커지면 정밀도가 저하된다고 한다. 역시 흐름의 방향에 대해서는 필자는 하향 흐름이 타당하다고 생각하고 있다.

#### 12.4 수요가에 얼음 공급하는 과정에서의 기술

여러가지 설계 구상이나 서로 다른 공조설비로 이루어진 복수의 사용자를 갖는 지역열공급 사업에 있어서는 반드시 얼음을 요구하는 사용자만으로 제한된 것은 아니다. 그 경우에 예를 들어 공급관에서 물만을 추출하는 수분리식 농축기와 같은 기기로 얼음을 분리

하여 냉수만을 분배하게 될 지도 모른다. 또 야간에 얼음의 공급을 받아서 자신의 축열조에 얼음을 저장하려는 사용자가 있을지도 모른다. 이 경우도 수송(輸送)빙분률과 축열조 빙층진율과의 사이에는 배·반분(倍·半分)이라고 하는 큰 차이가 있으므로 수송되어 온 얼음과 물중에서 물만을 배제하든가 농축한 후에 저장하는 등의 조작이 필요하게 되며 같은 수분리식 농축기와 같은 장치가 이용될지도 모른다. 여기서 이런 종류의 장치는 수송중의 이상 흐름의 빙분율을 연속적으로 변화·제어하여 효과적으로 운전시키기 위한 것만이 아니고 전술한 바와 같이 다양한 사용자의 필요에 대응하기 위해서도 개발이 필요하게 될지도 모른다. 그러나 폐색에 대한 신뢰성의 문제를 포함해 대규모 수송관로의 적용에 대해서는 충분한 검증이 필요하다. 빙수와 물, 혹은 빙수와 공기간의 고해빙성 열교환기나 단말설비를 개발해 두는 것은 얼음-물 이상수송 시스템의 운용을 유연하게 하며 적용의 자유도를 넓힌다. 기본적으로는 우선 미비되어 있는 얼음-물 혼합물성에 관한 자료를 보충하여 전열특성을 해명하는 것부터 시작하여 차차 바람직한 열교환기의 형식·구조, 제작한계나 소형화를 위한 대책을 강구해야 한다. 이를 위해서는 착상시의 전열특성과 그 대책, 수실이나 격판부 등 유동상황의 파악과 동일한 분산의 확보, 압력손실 자료의 수집, 송공기의 전열촉진 기술의 확립등도 중요한 연구항목이 될 것이다.

Kobayashi<sup>24)</sup> 등이 DHC 수용가축 단말기를 상정하고 수요가 이차축의 귀환수를 12℃에서 3℃까지 냉각하여 일차축의 빙수는 8℃까지 상승시키는 열교환량 2.5Gcal/h의 셀-튜브형 열교환기에 대해서 시험한 결과에 의하면 셀축에 흐르는 얼음은 전열관의 후류나 격판부에서 일시적으로 체류하는 경우가 있으며 특히 관군부에서의 거동은 아주 복잡하였다. 그래서 빙분률이 겨우 2%인 이상(二相)흐름에 있어서 조차 한 장소에서 얼음이 막히기

시작하면 그곳을 기점으로 해서 점차로 후속의 얼음이 정체하며 얼음의 흐름이 멈추게 된다는 사실이 관찰되었다고 한다. 따라서 더욱 분률이 높은 얼음과 물을 처리하는 열교환기에 대해서는 다시 구조를 검토할 필요가 있다고 한다. 고체를 보내는 경우 빈틈은 고체직경의 2.5배 정도 이상이 요망되므로 전열관 25mm, 피치 36mm인 이 열교환기는 얼음직경에 비해 전열관간격(틈새) 10.6mm가 조금 작은 느낌도 있지만 이 결과는 같은 형식·구조를 생각하고 있었던 필자에게 적지 않은 충격이었다.

### 12.5 운전·제어 특성에 관한 기술

얼음을 이용한 지역열공급 시스템에 있어서 제어의 기본은 배관방식 등과의 조합에 의해서 최적화 되는 시스템을 전제로 해서 그 시스템의 전에너지 소비량을 최대한한 한 억제하여 수요요금의 저감량을 최대로 하는 것이 될 것이다.

이때 제어인자로서는 플랜트의 전력 설비용량의 제한, 수요가의 설계부하, 야간과 낮동안에 빙축열 시스템을 이용하는 시간대 및 냉동기 운전 모드마다의 능력비 등이 있고 시뮬레이션에 의해서 시스템의 능력을 최대한으로 발휘시키는 방식을 결정하게 된다.

여기서 대상으로 하는 액빙형의 얼음은 입자가 수mm, 최대로는 십수 mm의 크기이며 따라서 표면적이 커져 해빙성이 좋으므로 부하변화에 대한 응답성이 뛰어나며 양호한 운전·제어성을 나타낼 것이 기대된다. 그 반면 얼음의 입자가 수송배관내에서 커다란 얼음덩어리로 성장하여 폐색에 이르는 것을 막기 위해서 적정한 얼음의 분률제어와 하한유속의 유지가 필요하므로 유량제어에 의한 경우는 이 하한유속에 의해서 최소유량 제한을 행하는 등 특별한 배려가 필요하게 된다. 폐색의 면만을 고려하면 정유량·빙분률 제어 측면이 바람직하다.

이상에서 보듯이 저부하에서의 제어성 확인

이나 예측 최적화제어 이외에 운전의 안정성, 신뢰성, 안전성 등에 관한 평가·확립이 매우 중요한 문제이다.

### 13. 마무리

이상, 지금까지 7회에 걸쳐서 서술해 온 것을 마무리하면 다음과 같다.

우선, 얼음제조를 위해서 필요한 낮은 냉매 증발온도에 기인하는 냉동기 성적계수(COP)의 저하는 5~7℃ 정도의 냉수를 얻으면 좋은 수축열방식에 비해서 15~25% 정도의 악화를 피할 수 없다는 점, 더우기 동일한 빙축열이더라도 제빙방식의 차이에 의해 20% 전후의 큰 차가 있다는 점을 간과하기 쉽다는 점, 그러한 의미에서는 간접법이라 불리는 유벽법(濡壁法)이나 과냉각법과 같은 제빙방식이 동력소비면에서 뛰어나다는 사실, 저장에 있어서 한계빙층전율은 60%정도, 적정한 빙층전율은 50%전후로 생각되며, 이것을 향상시키는 것은 상당히 곤란하다고 생각되는 점 등 때문에 적어도 제빙·저장부에 있어서 에너지 경제는 고체얼음방식을 포함한 다른 잠열축열방식에 비해서 확연히 우수하다고 볼 수 없다는 사실을 서술하였다.

그중에서도 이렇게 0℃의 얼음을 얻는 수단으로서의 지나친 저온을 이용한 열역학적 사이클을 작동시키고 있으나 축열조에서 0℃의 물을 꺼내기 위한 신중한 노력을 현재는 볼 수 없다는 사실, 여기서 커다란 “에너지의 손실”이 있음에도 불구하고 그런 점에 아무런 아쉬움을 느끼지 않는 기술자가 적지 않다는 사실에 감히 직언을 하였다. 역으로 얼음이 완전 용해하지 않아도 특별한 문제없이 4℃의 냉수가 안정되게 얻어진다는 것이 얼음 시스템의 장점인가라고 하는 발언조차도 있다는 것은 미미하나마 에너지절약 기술에 관계하는 한 사람으로서 매우 유감이다.

그래서 이와 같이 커다란 에너지소비와 비가역손실 및 초기투자비가 높은 점 등의 평가

를 해소하여 빙축열시스템의 장점을 발휘시키기 위해서는 수축열 시스템에 비하여 6~10배에 달하는 고에너지 밀도저장과 냉수단상 수송방식에 비해 동일유량에서 5~7배의 냉열을 수송할 수 있게 되는 얼음-물 이상흐름에 의한 잠열직접반송과 대온도차 이용과를 결합한 시스템의 구축이 반드시 필요하다는 사실을 강조하였다. 그래서 얼음의 반송은 너무 낮은 냉동기 냉매증발온도가 갖는 엑서지(Exergy)를 회수하기 위해서도 유효한 수단이며 그러기 위해서는 축열조로부터 효과적으로 얼음을 꺼내어 고분율로 안정적인 얼음-물 이상흐름을 만드는 장치의 개발이 불가피하나 여기서 의외의 에너지 소비가 잠재하고 있을 가능성이 있다는 사실도 언급하였다.

물론, 효율이 높고 비가역손실이 적은 축열조 설계법의 확립이 중요하고 또한 무엇보다도 양산화하여 저렴한 빙전용 냉동기의 시장 투입이 필요하지만 양적인 전망만 있다면 가능하다고 보는 기업체가 있다는 것도 소개하였다.

이어서 한계빙분율 40% 정도, 실용적으로는 30%전후가 적절하다고 생각되는 얼음-물 이상흐름에 의한 잠열반송 시스템을 채용하면 물단상에 의한 현열반송 시스템에 비해 빙분율에 관계없이 운전비에서 약 1/4, 설비비에서 약 1/2~1/3, 단위 반송열량마다 냉열단가도 4.85~5.83엔/Mcal로 저렴해지는 점, 이때 년경비가 차지하는 비율은 고정비가 압도적이고 운전비는 전체 경비의 10%에도 미치지 않는 점, 따라서 우선 설비비의 대폭적인 절감이 필요하고 얼음-물 이상반송이 그것을 가능하게 하는 점 등을 시산예(試算例)로 밝혀 보았다.

그래서 이와 같은 얼음의 반송은 충분한 확증시험에 의해서 제조건의 최적화를 도모하면 기술적인 문제는 없을 것이라는 사실, 즉, 예를 들어 대표 유속으로는 폐색을 회피하기 위하여 2m/s 전후라고 하는 하한이 있지만, 물단상과 거의 같은 기준에서 설계 가능하며 또

한 관로내에 얼음의 정체·폐색을 발생시키지 않는 적절한 요소·기구의 사용이 가능한 점, 그렇지만 관구경이 작을수록 한계 수송분률에 빨리 이르는 경향이 있는 점 등 환경에 의해서 흐름의 거동이 다르다는 보고가 있으므로 지역열공급 시스템에서의 적용확대를 위해서는 아직 연구가 착수되지 않고 있는 수백 mm 인 실제규모의 대구경관이나 긴 거리의 장치를 이용해서 흐름의 같은 면을 확립하여 설계 조건을 확정하는 것이 불가피하다는 사실을 서술하였다.

이것들에 관해서는 학회 등에서 확실히 정력적인 발표가 늘어나 연구의 층이 확대되어 가는 점이 느껴지는 한편 선행 자료와의 수렴성이 상실되는 현상이나 관찰도 눈에 띄기 시작하였다. 예를 들어 어떤 빙분율이나 유속에 있어서 물단상보다도 압력손실이 작아진다고 하는 보고이다. 이와 같은 자료나 관찰에 대해서는 그것이 어떤 요인에 의한 것인지, 왜 다른 사람의 실험결과와 다른가, 그것은 정말로 일부에서 주장하고 있는 제빙방식에 의한 얼음 특성상의 차이인가, 혹은 실험장치나 방법의 차이인가 등을 하루 속히 해명하여 그것이 실제 운용에 대한 영향의 정도를 확인해야만 한다. 특히, 폐색등 운전의 안정성, 신뢰성 혹은 안전성 등에 관한 조건의 해명은 실용화를 좌우하는 중대한 항목이다.

얼음-물 이상흐름에 의한 장거리 수송에 대해서는 내경 1m 두께 200mm인 배관에서 빙분율 30%인 빙수 전체가 0℃의 물이 될때까지의 도달거리가 450km에 이른다는 점에서 흡열을 우려한 나머지 단열재 두께를 증가시켜서 애써 작게 만든 환경의 장점을 상쇄 시켜 버리는 것은 어리석다는 점, 이것들의 검토로부터 재래형 냉수단상 현열반송시스템에 비해 대용량 열수송면에서 뿐만 아니고 장거리수송에 대한 적용성에 있어서도 얼음-물 이상흐름에 의한 잠열반송시스템이 현저히 우수하다는 사실을 밝혀 내었다.

이처럼 열공급배관에 있어서 빙수이상 반송

의 장점은 배관부 설비의 대폭적인 삭감과 반송동력의 저감에 의한 년경비의 절감과 열수송의 장거리화를 도모할 수가 있어 그것에 의한 공급지역의 광역화가 실현될 수 있을 뿐만 아니라 부하중심에서 떨어져 있어서 지금까지는 이용되지 않았던 미이용 에너지원의 활용을 가능하게 한 점이다. 이때 지역열공급 중심에서 복수의 사용자에게 빙수를 공급하는 배관방식으로서 모든 사용자에게 대한 공급분률이 공평하고 또한 사용자마다 귀환온도의 제한이 없이 사용자측 공조시스템 선택의 자유도가 큰 왕복 2관식이 대온도차이용의 측면에서도 바람직하다는 사실, 공조에 있어서 소풍량 저온송풍·저온급기는 빙축열시스템에 의한 저온송수·대온도차이용이 결합되는 중요한 것으로 그효과는 공조 소용동력의 절감뿐만 아니고 송풍 덕트 단면적의 축소에 의한 건물충고의 감소도 기대할 수 있는 점, 더우기 스포츠 시설이나 작업부하를 수반하는 공간등에서는 저습도가 적당하므로 빙축열을 심야잉여전력이용이라는 면 뿐만 아니고 저온송수에 의해서 비교적 용이하게 달성할 수 있는 저습도공조라고 하는 적극적 이용면에서도 고려해야만 한다는 제안은 대단히 뛰어난 식견이라는 점 등을 서술하였다.

저온급기에 대해서는 급기출구의 선정을 바르게 한다면 실내환경적인 문제는 없다고 할 수 있다. 일본에서도 향후 빙축열 기술이 저온송풍과 함께 발전하기 위해서 부디 여러분의 협력이 있기를 바라는 바이다.

그런데 얼음의 잠열의 직접수송을 현실적인 시스템으로 하기 위해서는 그특성에 맞는 최적의 기기나 요소기술을 개발할 필요가 있다. 특히 빙분률 계측기 연구개발의 지연은 빙축열 시스템의 상용화에 지장을 줄 우려가 있다. 또한 빙수용 열교환기의 준비도 급선무이다.

다시 한번 서술하지만 빙축열 시스템은 단순히 축열조내의 물을 얼음으로 치환하는 대체 시스템이나 부차적 시스템은 아니다. 그것

은 얼음-물 이상흐름에 의한 잠열반송에 의해서 큰 경제성을 나타내고, 이상반송에 의한 저온송수는 대온도차 이용에 의해서 그 진가를 발휘한다. 즉, 빙축열 시스템은 제빙시스템, 반송시스템, 이차측(공조부하측)시스템을 일관한 시스템적 효과에 의해서 에너지 절약과 경제성 향상을 실현하고, 이렇게 하여 비로서 수축열 시스템으로부터 독립한 새로운 축열형 지역열공급 시스템이나 빌딩공조 시스템을 구축하게 될 것이다.

#### 14. 후기

1991년 6월에 발표된 종합 에너지 조사회의 중간보고에 의하면 2010년까지 예상되는 열소비의 신장은 약 37%이지만 그중에서도 가정이나 업무용 등 민생수요에 대해서는 전체의 배에 가까운 약 64%라고 하는 급격한 확대가 예상된다고 한다.

이것은 활발한 도시 재개발과 새로운 사회(New Community)의 창설등에 따른 광역적·대규모지역 열공급에 대한 사회적 요구가 현저하게 상승하는 것을 보인 결과로 30년 정도전에 대기오염 방지등의 대응책으로서 시작한 일본 국내 지역열공급 시스템의 보급상황은 1993년 3월말 현재 경기후퇴에도 불구하고 사업계획의 중지나 연장도 없이 전년과 같은 8건의 착수, 누계의 열공급 사업자수 64사, 사업허가지수는 104에 이르렀다. 이렇게 지역열공급 사업에 대한 도입상황은 미이용에너지 활용지역 열공급 시스템 사업비 보조대상한도액의 증대 등 나라의 지수강화책과 더불어서 중·장기적으로는 향후에도 순조롭게 증가경향을 나타낼 것이라고 예상되고 있다.

이같은 동향에서 특히 도시부의 고층화·인텔리전트화 등에 따른 냉방수요의 증대는 냉열공급을 위해 현저한 설비투자과 에너지 비용부담을 크게 하였다. 얼음에 의한 야간전력저장과 그 잠열의 직접수송 방식은 이러한 문제해결을 위한 획기적인 수단이며 에너지 절

약에 대한 커다란 공헌이 기대되는 유효하고 현실적인 시스템이다.

그러나 스태틱(static)방식을 포함해서 30을 넘는 빙축열시스템이 시장에 난립하며<sup>25)</sup> 새로이 참여하는 기업이 뒤를 끊이지 않는 혼돈 상태를 볼 때 당황하지 않을 수 없다. 이것은 그 정도로 매력력이 있기 때문일 것이다. 그러나 지금부터 새롭게 이 무대에 등장하고자 하는 자는 필자가 지금까지 제시한 제반문제의 해결이나 개선에 대한 무엇인가 구체적인 회답을 갖고 나오기를 바라는 바이다.

얼음의 이상반송은 이처럼 학문이나 연구의 대상만으로서의 곤란한 것이다. 세상에 존재하지 않아도 좋은 시스템은 오히려 다른 뛰어난 시스템의 다리를 끌어 당겨 상품전체의 평판을 떨어뜨리는 일이 되기 쉽다. 전향에서 서술한 각 사마다의 실험결과의 발산에 대해서도 똑같이 「내가, 우리가」가 아니고, 다른 사람의 결과와 다른 것은 왜인가, 가장 좋은 조건은 무엇인가, 객관적·보편적 자료를 정리하고, 상사법칙을 확립하고 일치시켜 보다 좋은 시스템의 완성을 향해 결속하는 자세가 바람직하다. 최대의 문제는 누구도 동일 시험장치에서 다른 성질의 얼음을 비교 연구하고 있지 않다는 사실이다. 각각의 무대에서 각자의 생각대로 얻어낸 결과를 일방적으로 자화자찬하는 하는 것은 함부로 시스템의 상품화를 지연시킬 뿐이고 전체가 도태되지 않을지 언정 이 이상 큰 비약은 바랄 수 없다는 사실을 필자는 걱정한다. 자증하기를 바라는 바이다.

자, 이 연재도 벌써 반년을 경과하였다. 그간 필자의 연구부족에 의한 많은 독단과 편견에도 불구하고 면식이 없는 분을 포함해 대세의 여러분들의 격려와 귀중한 자료를 받아 왔다. 본의는 아니나 모든 분에게 일일이 회답을 드릴 수 없는 점, 글을 끝내면서 이 장을 빌려서 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

22. 예를 들면 **썩에너지** 중간호, 1993, “최근의 히트펌프와 응용기술”, Vol.45, No.4
23. Shiragashi, M외 1995, “눈-물 이상류에서의 눈의 분률 측정법”, 일본 기계학회논문집(B편) Vol.51, No.471
24. Kobayashi, M외, 1992, “지역냉난방에서의 얼음-물 열교환시스템(제1,2분보)”, 공기조화·위생공학회 학술강연회 강연논문집
25. 예를 들면 “에너지 저장 시스템”,(재)성에너지센터 발행, 에너지·자원학회편(1992.9.25)