連載

빙축열의 시스템적 효과에 관한 고찰 (Ⅳ)

Systematic Effects of Ice Storage System (Ⅳ)

생산기술연구원 빙축열 연구팀
Ice Storage Research Group
KA ITECH

전력 부하의 평준화를 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.

7. 얼음 반송에 있어서의 에너지 경제

전호까지는 얼음생성을 위해서 필요한 낮은 냉매증발온도에서 기인하는 냉동기성적계수(COP)의 저하는 냉수제조인 경우에 비해 20% 이상이 되는 점, 더우기 동일한 빙축열의 경우에도 제빙방식에 따라서 20% 전후의 큰차가 있는 점에 주목해야만 하는 점, 저장에 있어서 한계 빙충전율은 60% 정도로 의외로 낮고 적정한 값은 50% 전후인 점등 때문에 다이내믹 방식 빙축열시스템인 경우라도 적어도 제빙·저장부에서의 에너지경제는 다른 잠열축열방식에 비해서 두드러지게 우수하다고는 볼 수 없으며, 더우기 초기투자의 크기가 빙축열시스템의 평가를 제대로 결정짓지 못하는 원인이 되고 있는 점등을 서술하였다.

그래서 빙축열 시스템의 장점을 발휘시키기 위해서는, 그래도 수축열 시스템에 비교하면 6~10배에 이르는 에너지 밀도 저장과, 잠열직접반송과 그 대온도차이용과를 결합한, 수축열 시스템으로부터 독립된 총괄적 시스템의 구축이 필요하다는 관계자의 강한 인식이 중요하다는 것을 강조하였다. 그중에서도 얼음의 반송은 빙축열 시스템의 핵심이며, 충분한 확증시험에 의해서 제반조건의 최적화를 도모하면 실용화를 위한 기술적인 문제는 없을 것이라는 사실 즉, 물단상과 거의 같은 기준으로 설계할 수 있고 또 관로내에 얼음의 정체·폐색을 만들지 않는 적절한 사양을 주는 것이 가능한 점등을 밝혔다.

그러면, 제빙·저장부에서의 에너지 손실분을 회복하고, 빙축열시스템의 진정한 평가를 획득해야 하는 얼음반송은 어떤 것일까. 이번에는, 주로 수송계의 에너지 경제에 대해서 고찰해 보고자 한다.

7.1 얼음의 수송에 있어서 한계분률

열공급 프랜트의 계획시점에서 열수송량과 수송거리가 주어졌을 때, 혹은 가동중의 프랜트를 제어할 때, 또는 이미 설치된 냉수배관에 얼음을 혼입해서 수송열량의 증대를 도모하고자 할 경우, 폐색을 일으키지 않고, 동시에 가능한 한 높은 빙분률로서 운전을 행하는 것은, 수송효율을 높이고, 소비전력을 포함한

전체 가격을 최소로하는 뛰어난 경제효과가 기대된다. 그러기 위해서는 우선, 수송에 있어서 빙분율의 한계치와 적정한 유속을 아는 것이 중요하다.

일반적으로, 고체입자의 수력운송을 위한 유속은, 관로내에서 입자의 정체·퇴적 혹은 폐색의 위험이 없고, 고상분률 일정의 조건에서 수력구배(액주 높이로 표현되는 단위길이마다의 압력손실)를 최소로하며, 또한 마모, 침식, 진동, 수격발생 방지등의 제조건에서, 단위동력당 고체의 수송량을 최대로 하도록 결정된다. 유속이 정해지면, 부설방식을 포함한 설치비용등의 조건을 가미해서 타당한 관경과 두께를 결정할 수 있다.

그런데 전전호에서도 언급했듯이, 얼음-물 이상류 흐름의 관찰에 따르면, 빙분율이 작은 경우, 얼음입자는 관의 상부에 얇게 퍼지는 성긴구조가 되어서 이동하는 경향이 있다. 얼음을 포함한 관의 상부와, 거의 물만이 흐르는 관의 하부와는 점성이 다르므로, 당연히 유속도 다르다. 겉으로 볼 때, 하베스트 얼음쪽이 결정질의 샤베트 형태의 얼음 보다도 구조가 성겨지는 경향을 알 수 있으나, 그것이 곧 빙분률의 차이를 의미하는 것은 아니다.

유속이 작은 경우는 얼음입자의 회전이나 관의 반경방향으로의 운동등은 거의 확인할 수 없으나, 유속을 점차로 크게 하면 얼음군의 하부에서부터 무너지기 시작해서 반경방향의 속도성분을 갖게 된다. 이와같은 물의 흐름의 교란은 교반작용으로 작용하므로, 유속은 물흐름의 혼합작용을 나타내는 지표가 된다고 생각할 수 있으며 유속은 클수록 폐색을 만들기 어렵다. 이 혼합작용은, 흐름의 관성력의 중력 g에 대한 비를 나타내는 무차원수인 Froude수,

$$Fr = u / \sqrt{gD}$$

에서, 같은 빙분률 및 유속 u의 경우, 관경 D가 클수록 상대적으로 작아지는 것으로 추측된다.

한편, 빙분률에 대해서는 이것이 증가함에 따라 얼음은 관단면전체로 퍼져가게 되며, 30% 정도에서는 균질 흐름이나 40% 정도에 이르면 주상(柱狀) 흐름이 된다. 이와 같은 관찰만으로 판단한다면, 배관 크기 100mm 정도이하의 소규모 시스템에 있어서는, 적절한 수송분률은 25~30% 정도, 가능 최대분률에서 35~40%이고, 유속은 2m/s로 전후가 적당할 것 같다.

이경우, 관경이 작을수록 낮은 분률에서 주상 흐름으로 이행하는 경향이 있으므로, 일찍 임계분률에 이르게 된다. 빙분률의 한계치는 유속과 함께 다소 증가하는 경향이 있으나, 이처럼 유동형태가 배관크기에 의해서도 달라지므로, 모든 조건에 대해서, 특히 큰 관경에서도 흐름의 상사성(相似性)이 유지되는가 어떤가에 대해서는 더욱 규명할 필요가 있다. 적어도 수백 mm를 넘는 실규모에서의 확증시험이 불가결 할 것이다.

물에 얼음을 섞어서 압송해도, 그것이 바로 냉수 단상류 흐름의 경우보다 현저히 큰 압력손실을 가져와 에너지 손실을 증가시키는 것은 아니라는 사실을 전전호에서 서술하였다. 물론 유속을 올리면 얼음의 폐색은 생기지 않으며 압력손실도 수물단상의 경우와 별 차이가 없더라도, 높은 유속은 필연적으로 압력손실의 증가를 초래하여 펌프 동력을 증가시킨다. 여기에서 유속과 분률의 최적치가 존재한다.

그러나 다행스러운 것은, 폐색을 피하기 위해서 필요한 2m/s라고 하는 유속은, 공조설비를 포함한 일반의 공업용수배관에서 경제유속이라고 말할 수 있는 범위내에 있으며, 특별히 소구경이 아닌 한 적정한 값이 된다.

단, 어느쪽의 유속에 있어서도 임계분률을 넘으면 수력구배가 급속히 증가하는 점은 주의해야만 한다. 이 경우, 임계치부근에서는 흐름의 상태에 무엇인가 변화가 생기고 있다고 생각할 수 있지만, 이와 같은 높은 분률에서의 거동에 대해서는 상세한 연구결과는 찾아

볼 수 없을 것이다. 예를 들면 빙분률이 커질수록, 흐름을 지배하는 인자로서 얼음의 부착력을 평가에 넣는 것에 대한 필요성이 증가하는 점도 예측되므로, 관경, 얼음의 질등 제조건을 포함하는 충분한 연구가 절실히 요망된다.

또한 장거리수송이나 큰 관경인 경우에는, 방열손실이나 분기, 펌프 등에 의한 얼음의 형상이나 입도분포, 성질등에 변화를 일으키며, 얼음입자의 부착력이나 흐름의 특성이 변하는 경우도 예상되므로, 신중한 실험으로 확인해 두는 것이 필요하다.

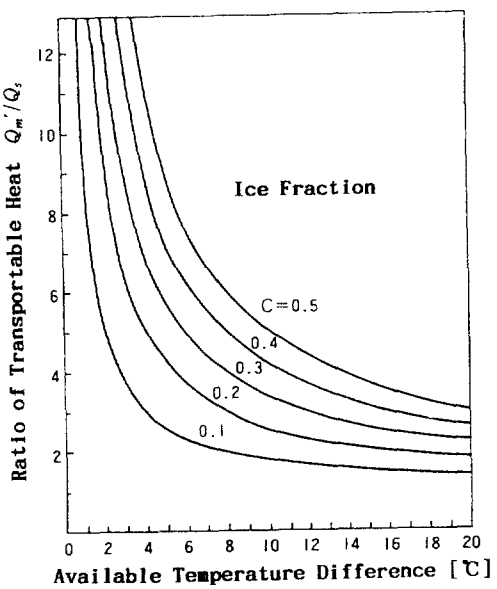

그림 7-1 수송가능 열량비

7.2 냉열수송량

그러면, 이와 같은 실용적인 빙분율에서는, 어느 정도의 냉열수송량을 기대할 수 있는 것일까. 재래의 냉수단상수송의 경우, 일반적인 이용온도로서는, 5~7℃로 내보내며 12~14℃로 축열조로 되돌아 온다. 이용가능열량 Qs는 현열 뿐이므로 축열조에서 보아서 30~20kJ/kg(7~5kcal/kg)이 된다. 이것에 반해서 얼음과 물과의 고체-액체이상 수송에서는, 얼음의 잠열분이 압도적으로 크다.

예를 들어 얼음의 분률 C를 30%로 해서, 축열조 출구온도 t_0을 0℃(=빙수온도 t_m), 귀환온도(축열조입구냉수온도) t_i도 0℃, 결국 얼음의 잠열분 ΔH 333.5kJ/kg(80kcal/kg) 자체를 이용한다고 하면, 얼음의 비중 r을 0.917으로 하고, 빙수이상 흐름에 의한 단위질량당 수송가능 에너지는 Q_m은,

$$Q_m = \Delta H \cdot C \cdot r$$
$$= 333.5 \times 0.3 \times 0.917$$
$$= 91.75\text{kJ/kg}(21.9\text{kcal/kg})$$

이 되어, Qs에 비해 동일유량에서 거의 3~5배의 열량을 수송할 수가 있다. 이점은 바로 동일 수송열량으로 반송동력을 1/3~1/5로 삭감시키는 것을 의미하므로, 전호 계산한 냉동기의 성적계수 저하에 따른 수축열 시스템과의 20% 정도의 소비 에너지차등 간단하게 회수할 수 있을 것같은 예상이 된다.

그렇지만, 귀환온도 t_i가 0℃라고 하는 사실은, 얼음을 운반하는 것과 동시에 스스로도 열의 매체인 나머지 70%의 물은 아무 쓸모가 없게 된다. 이것은 매우 아까운 일이 아닐 수 없다.

여기서 냉수 단상수송의 경우와 같이, 만약 귀환온도 t_i을 12℃(엔탈피 H_i=50.38kJ/kg)까지 취할 수 있는 대온도차 이용이 가능하다고 하면 얼음의 수송 에너지 Q_i(잠열+현열분)는

$$Q_i = (\Delta H + H_i) \cdot C \cdot r$$
$$= (333.5+50.38) \times 0.3 \times 0.917$$
$$= 105.6\text{kJ/kg}(25.22\text{kcal/kg})$$

물의 현열분 Q_{wi}는,

$$Q_{wi} = H_i(1-C)$$
$$= 50.38 \times 0.7$$
$$= 35.27\text{kcal/kg}(8.42\text{kcal/kg})$$

합계,

$$Q'_m = Q_i + Q_{wi}$$
$$= 140.9\text{kJ/kg}(33.64\text{kcal/kg})$$

이 되어, 실제로 5~7배의 냉열을 수송할 수가 있게 된다. 이것은 얼음의 잠열만을 이용

한 경우의 91.75kJ /kg에 비하면 약 54% 증가, 귀환온도 t_i가 5℃이더라도 22% 증가한 112.2kJ /kg가 되고, 얼음 반송에 있어서도 현열분이 차지하는 비율은 무시할 수 없게 된다. 이것으로도 대온도차이용의 중요성이 이해될 것이다.

이와 관련하여, 얼음-물 이상과 냉수단상인 경우의 수송가능 열량비, Q'_m/Q_s는 $r \approx 1.0$으로 하고, 도중의 전개를 생략하면,

$$\frac{Q'_m}{Q_s} \approx 1 + \frac{80C}{t_i}$$

으로 나타낼 수 있고 이것을 그림으로 나타내면 그림 7-1과 같다. 냉수단상인 경우는, t_i는 이용가능온도차($t_i - t_o$)로 바꿔 읽어도 좋다.

7.3 축열조로부터의 냉수 추출

그런데, 이상적으로 30%를 넘은 분률에서의 얼음반송이 가능하다고 해서, 축열조에 저장되는 얼음과 물의 혼합물을 그대로 수송관로내로 끌어내어 임의의 비율로 얼음과 물의 혼합흐름을 만드는 것이 가능한 것인다.

야간전력을 이용해서 축열조에 얼음을 제조·저장하고, 이것을 주간인 냉방 수요기에 꺼내서 사용하고자 할 때, 축열조내에 장시간 저장한 채로 있는 샤베트 상태의 얼음은 물의 상부로 모여서 뜨고, 경우에 따라서는 큰 덩어리로 응집하게 된다. 얼음덩어리도, 두께나 밀도가 일정하지 않을지도 모르며 부분적으로 산모양으로 크게 수북이 쌓여서 공기중으로 노출하는지도 알 수 없다.

방충전율이 높아질수록 두드러지게 될 이와 같은 상태의 얼음을, 펌프 등으로 축열조에서 직접, 얼음-물 혼합물로써 빨아 내고자 하는 것은, 사실은 불가능하다고 할만큼 곤란한 일이다. 그것은 물만이 얼음덩어리의 엉성한 구조 사이를 통과해서 유동하며, 결코 얼음을 떠내는 일이 불가능하기 때문이고, 이점이 플라스틱 구술등 입자끼리의 흡착성이 없는 고액혼합물과의 큰 차이점이다.

그래서 얼음 그 자체를, 그것도 충분히 높은 빙분율의 이상 유체로서 연속적이고도 안정하게 추출하거나 제어하기 위해서는 그 추출구나 방법을 강구해야만 한다. 그것은 예를 들어,

(1) 축열조내에 교반기를 설치한다.

(2) 축열조에서 얼음만을 물과는 별도로 퍼내고 나중에 물과 혼합한다.

등의 방법이다.

Umemura[13] 등은 거리나 역구내등에 쌓여 있는 눈을 물로 반송·배제할 목적으로 혼합탱크에 모아둔 눈을 배관내로 내보내기 위해서 다양한 형상의 각반기를 설치하여 실험한 결과, 탱크의 직경과 수위와 교반날개의 회전수, 한계고상율(固相率 : 달성되는 눈의 최대분률), 눈의 단위 질량당의 소요동력등 장치의 성능에 관계되는 중요한 제인자에 대해서 평가하고 있다.

여기에서 사용되는 장치는 가정용 세탁기와 거의 같은 구조의 소용돌이와 교반식으로, 상부에서 탱크 안으로 투입되는 눈은 그 바닥에 설치한 나선형, 페들형, 터어빈형 등의 날개의 회전에 의해서 만들어진 소용돌이 속에서 충분히 물과 혼합·각반되며 그대로 고상분률을 유지하고 외부에 설치된 원심식 슬러리 펌프로 흡인되었다. 흡인구의 설치 높이나 관내유속에는 거의 무관계하다고 한다. 또한 1983년 Hokuriku Honsen, 역구내에 있는 눈의 수력반송 시스템[14]에서는 리본 스크류 형, 레이크(rake)형등 횡형교반날개에 대해서도 실험이 행해졌다.

그러나 이것을 빙축열 시스템에 적용하고자 하는 경우, 축열조 형상의 차이는 물론 상용규모에서는 저장조가 거대하기 때문에 각반기도 대형이 되며, 그 설치 갯수나 배치 등 실현상의 문제가 많다는 사실, 소비동력이 상당하게 든다는 점, 저장조의 빙충전율이 클때는 거의 효과를 기대할 수 없다는 점 등 때문에 응용할 수 있다고 한다면 패키지 유니트 등 극히 소형의 장치로만 될 것이다.

더우기 많은 곤란을 극복하고 만약 교반에 성공하였다고 해도 이것만으로는 관로의 빙분률을 임의의 값으로 제어하기는 불가능하다. 그래서 펌프 후류의 관로의 도중에 빙분률을 연속적으로 조정하기 위한 장치를 설치해 둘 필요가 있다.

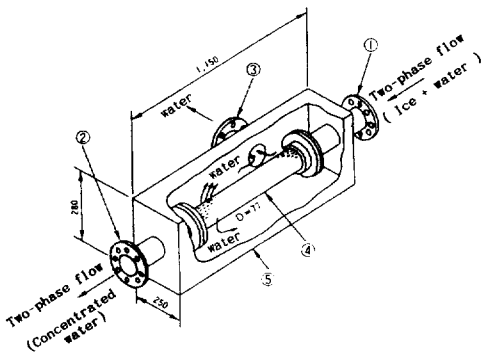

그림 7-2 수분리식 농축기

이것에도 Nagaoka 기술과학대학[15]이 이용한 수분리식농축기(그림 7-2)가 있어서 직경 1.5mm의 작은 구멍을 가지고 있는 이상류배관(모관)과 내경이 같은 다공판재의 내관④와, 그것을 덮는 바깥 상자⑤의 이중관으로 구성되어 있다. 프랜지①②는 모관에 접속되어 있고 프랜지③은 물을 추출하는 관에 접속되어져 있다. 이 장치에 의해 얻어지는 한계고상분률은 35% 정도이었다고 하나, 농축기 전후에서의 고상분률의 증가율 1.4~1.7이상에서 내관④의 작은 구멍이 폐색하였다. 이것은 이상류로 흐르는 관내의 눈이 작은 구멍으로 부터 빨아 들여지고 쥐어 짜내진 국수와 같이 내관④의 외측으로 연결되어 삐어져 나와 덩어리가 되고 흐름에 대하여 장해물이 되며 마침내는 폐색에 이르는 것이다. 이때 각부 유속이 폐색에 대한 영향은 작고 고상분률이 지배적이라고 한다.

이와같은 수분리식농축기는 구조가 간단하기 때문에 그후 이것을 모방해서 얼음 시스템에서도 기본적으로는 이것과 같은 장치로 물만을 분리하는 것에 성공하였다는 몇몇 보고가 있다.[16] 예를 들면 관직경 40~75mm의 수평관에 의한 하베스트 얼음의 실험에서는 빙분률 40% 정도까지의 압송이 충분히 가능하며 얼음의 흐름에 특이한 점은 발견할 수 없었다고 한다.

여기서 이용된 얼음은 입경이 크기 때문에 직경 3mm, 피치 10mm라고 하는 물 추출 구멍이 폐색되는 일없이 고분률의 얼음·물 이상류를 얻는 것이 가능했으며, 내관의 벽면적이나 작은 구멍의 직경과 피치, 유속등, 각 인자의 최적화를 도모하면 어떠한 빙질에서도 농축의 한계는 향상되는 것이다.

그러나 이와 같은 방법은 실험실 규모에서는 성공의 가능성이 있지만 상용규모, 특히 DHC(District Heating and Cooling) 대규모 수송관에 그대로 적용 가능한지에 대해서는 의문이 있다. 단지 눈을 배제하는 능률상의 요구때문에 고분률로 해야만 하는 경우와는 달리 빙축열 시스템에서는 이것에 덧붙여 경제적인 측면에서 일정량의 빙분률로 제어할 필요가 있는 점, 그리고 무엇보다도 폐색에 대한 신뢰성의 문제가 남기 때문에 뛰어난 방식이라고 평가하기는 어렵다.

그러나 이와 같은 장치가 유효하게 작용하기 위해선 우선 얼마간의 얼음이 물과 함께 축열조에서 관로로 송출된다는 것이 전제가 되어야 하므로 그러기 위해서는 (1)과 같은 장비의 병용이 필요하다. 그러나, 나중에 서술할 사용자에의 얼음분배방식에 따라서는 이러한 종류의 물·얼음 분리장치가 유효하게 되는 경우가 있는지도 모르겠다.

축열조속의 얼음을 물과는 별도로 추출해서 계량하고 그후에 소정량의 냉수와 혼합해서 임의의 얼음분률의 이상류를 얻는 (2)와 같은 방법은, 확실하고 실용성이 높을 것이라고 기대된다. 이점에 대해서는 Takemoto등의 연구가 있으나[17] 아직 기초시험의 단계에 있다. 이 방법도 축열조면적이 거대해지면 얼음만을 떠내거나 퍼내어 그 얼음을 다시 물과 혼합하기도 하는 것은 입으로 말하는 것처럼 간단하

지는 않다.

어떻든 스태틱식을 중심으로 하는 재래의 빙축열 방식처럼, 예를들어 얼음의 형태로 저장하였다 해도 사용하는 경우에는 단순히 냉수의 형태로 추출하면 좋았던(꺼낼 수 밖에 없다) 시스템과는 달리, 축열조에서 얼음을 꺼내어 고액이상류를 완성시킨다는 것은 다이내믹식 빙축열 시스템이 수축열 시스템과 달리 독립하기 위한 제일보가 되는 아주 중요한 개발과제의 하나이다. 더구나 이 부분에는 꽤 큰 에너지소비가 요구될 것도 예상되므로, 효과적인 얼음 추출에 관한 연구는 좀더 수행되어도 좋을 것이다.

7.4 얼음 추출시의 비가역 손실

그러면 만약 빙수를 혼합물로써 축열조에서 직접 꺼내는 것을 단념하고, 물만이라면 0℃의 냉수를 쉽게 얻을 수 있는 것일까.

축열조에서 2차측으로 수송된 냉수는 부하에 의해 온도상승하며, 일반적으로 12~14℃가 되어서 되돌아 온다. 이 귀환수는 통상 노즐 등에 의해서 얼음의 위에서 산포(showering)된다. 이때 다이내믹 방식으로 만들어진 미세한 리키드 아이스는 귀환수와 직접 접촉하고 그 표면적이 크기 때문에 빠르게 열교환되어 축열조 출구 냉수온도를 항상 낮은 일정온도로 유지하게 한다.

확실히 스태틱 방식인 아이스 언 코일에 비하면 물과의 접촉면적이 아주 큰 리키드 아이스는 융해하기 쉽고, 급격한 부하변동에 대해서도 높은 부하추종성을 나타낸다고 말한다면, 그것은 개념적으로 설득력이 있다. 그러나 실제의 부하운전에 있어서 다이내믹 방식의 중대한 문제는, 축열조내의 얼음이 쉽사리 균일하게 융해되지 않고, 축열조상부에 큰 응집 얼음 덩어리가 분산·부유되어 남으며, 일단 이렇게 되면 산포된 귀환수는 얼음을 융해하지 않고 축열조내의 물과 직접 혼합하여 축열조 출구 수온을 상승시킨다. 이와 같은 현상은 대규모 시스템에서 한층 두드러지리라고 예상되며, 축열조의 유효축열량을 대폭으로 저하시키는 요인이 된다.

이렇게하여, 특히 저밀도의 빙축열 시스템이 될수록 축열조내 온도분포는 물이 최대밀도를 나타내는 온도(3.98℃)의 영향을 강하게 받으며, 얼음을 충전한 축열조라 하더라도, 그 출구온도는 0℃는 아니고 4℃ 또는 그 이상이 되며, 이용온도로서는 실질적으로 수축열과 차가 없어져 버린다. 이 온도상승은 에너지 이용면에 있어서 큰 비가역손실이 되며, 빙충전율을 50%로 했을 경우, 4℃ 송출은 전저상 에너지의 무려 11%에 상당하는 실질적인 축열용량과 수송가능 에너지를 잃게 된다.

이렇게 커다란 「에너지의 구멍」은 빙축열 시스템이 스스로의 존속의의를 걸고 절대 막지 않으면 안되며, 또 본래 막는 것이 가능한 손실이다. 얼음을 반송하는 것은 이러한 에너지 손실을 막는 것과 동시에, 전호에서 서술한 것처럼 낮은 냉동기 냉매 증발온도가 갖는 엑셀기를 회수하기 위한 유효한 수단이 된다.

관계자는 축열조에서 「0℃」를 꺼내는 것에 무관심해서는 안되며, 축열조와 그 주변의 고효율화에 대한 연구·노력은 수축열 시스템 이상으로 중요하다는 점을 강조함과 동시에 공조설비측에 대해서는 0℃라고 하는 저온의 유효이용을 절실히 요망되는 바이다.

7.5 온도가 높은 얼음의 이용

공조측이 만약 0℃라고 하는 저온을 필요로 하지 않는다고 주장한다면 얼음을 반송하는 것은 큰 의미가 없다. 얼음을 수송하는 목적은 잠열을 반송해서 수송에 필요한 에너지와 관로 건설비를 절감하고자 하는 것에 있으므로 0℃라고 하는 온도 그것 자체에 구애받는 것은 아니기 때문이다.

만약 공조측을 종래의 5~7℃라고 하는 냉수의 공급온도 레벨에 고집한다면, 이 온도레벨에서 융해·전이하는 물질을 사용하는 것은 현재 기술로 가능하다. 이와 같은 물질은, 예를 들면 전술한 STL인 Clathrate(포접화합물)로, 가격만 고려하지 않는다면 얼음보다도 높은 임의의 온도레벨에서 융해·전이하는 물

질을 선정할 수 있다. 이것은 냉동기의 성적계수를 얼음보다도 높일 수 있는 일은 되지만 대온도차이용의 장점은 삭감된다.

Clathrate는 샤베트 얼음과 유사하며, 자신이 유동성을 갖기 때문에 관로에 의한 반송이 얼음과 같이 할 수 있는 가능성이 있으나, 만일의 누수에 의한 환경오염의 위험성등을 생각하면 Guest 물질은 제한되며, 유효성도 한정되는 것인지도 모르겠다.

신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)에서는, 미이용 에너지나 수요가로의 공급열을 고밀도로 원거리 수송할 목적에서, 1991년부터 7년간, 총개발비 150억엔(그중 1/2을 민간부담)을 써서 신형열매체나 그 수송기술등을 개발하는 국가 프로젝트 "미이용 에너지 고도 활용 부하평준화 냉난방기술개발"을 발족시키고 그중에서 지역열공급 시스템을 위한 "고밀도열수송 시스템"으로써 잠열 캡슐에 대해서 매체의 상변화특성, 입경, 제조등에 대해서 조사하고 있다.

이상, 이번 호는, 얼음수송에 있어서 한계분률은 40% 정도로 실용적으로는 30% 전후가 적절하다고 생각된다는 사실, 그때의 수송가능 에너지는 재래의 냉수 단상에 비해서 거의 3~5배, 대온도차 이용이 가능한 경우에는 실제로 5~7배가 된다는 점, 그러나 관경이 작을수록 빨리 한계 분률에 도달하는 경향이 있는 점이나 얼음분률이 커질수록 흐름을 지배하는 인자로써 얼음의 부착력을 평가에 넣어야만 하는 필요성이 증대되리라고 예측되는 점등 때문에 흐름의 상사법칙의 확립에는 아직까지 불만족 스럽다는 사실, 그런 의미에서 아직 연구가 착수되고 있지 않으며 흐름의 거동이나 임계치에 관한 보고도 발견되지 않는 수백 mm를 넘는 관에서의 확증시험이 DHC 등에로의 적용을 위해서도 불가결하다는 점, 축열조에서 얼음이나 0℃의 물을 추출하는 것은 꽤 어려운 기술이라는 점, 그래서 여기에 큰 비가역손실이 있고, 얼음의 반송은 그것을 피하기 위해서도 유효한 수단이라는 점등을 서술하였다.

그러면 잠열수송에 의한 관로의 경제성은 어느 정도의 것일까. 다음 호에서는 이점에 대해서 계산해 보자.

참 고 문 헌

13) Umemura외, "눈의 수력 수송에 관한 연구 제2보(관내에의 눈 압입장치)", 설빙, Vol. 46, No. 2(1984-6)

14) Shiragashi, "눈의 수력 수송에 있어서 유체공학적 제문제", 제6회 혼상류 심포지움 강연 논문집

15) Tokunaga외 "눈의 수력 수송에 관한 연구 제9보(고농도 수송기술의 개발)", 설빙, Vol. 49, No.2(1987-6)

16) 예를들면 Takemoto외, "얼음의 수력 반송에 관한 연구 제1보(실험개요와 기초적 고찰)", 공기조화·위생공학 학술강연회 강연 논문집(1989-10-4 Nagoya)

17) Takemoto외, "얼음의 수력 반송에 관한 연구 제8보(파편형상의 얼음추출장치의 개발)", 일본 건축학회 대회학술강연집(1991. 9. Tohuku)