빙축열 시스템의 개요

Outline of Ice Thermal Storage

• 1952년생
• 空調시스템 設計에 關心을 가지고 있다.

정 차 수
C. S. Jeong
(株)韓一 엠. 이. 씨.

1. 머 리 말

국내 빙축열 시스템은 한국전력공사의 적극적인 지원과 관련법규에 힘입어 급속히 그 적용실적이 늘어나고 있으나, 국내에 도입되어 설치되고 있는 빙축열 시스템만도 8가지 이상이나 되고, 운전경험도 일천하여 공기조화설비 설계자나 건축주가 빙축열 시스템의 채택여부나, 채택시 적합한 빙축열 시스템을 선정하는데 많은 어려움이 있다고 본다. 여기에서는 빙축열 시스템의 이해를 돕기 위하여 빙축열 시스템을 구성하는 방법과 빙축열 시스템을 효과적으로 활용하기 위한 응용 시스템 위주로 언급하기로 한다.

2. 빙축열 시스템의 개념

냉방 운전시간대에 냉동기에서 제조된 냉수를 바로 공조기나, 팬코일 유니트등과 같은 부하측에 공급하는 일반 시스템과는 달리 빙축열 시스템은 비공조시간(야간)에 일정시간 냉동기를 운전하여 얼음을 얼려 냉열을 저장한 후, 주간 냉방운전 시간대에 저장된 얼음을 녹여 만들어진 순환수를 직접 또는 간접으로 부하측에 공급하는 방식이다. 그림 1과 그림 2는 각각 일반 시스템과 빙축열 시스템의 개념도이며, 그림 2에서 알 수 있듯이 빙축열 시스템은 빙축열조가 추가로 설치되지만 냉동기 용량을 줄일 수 있으며, 냉동기 용량 및 축열조 용량은 냉동기와 축열조의 운영 방법에 따라서 선정된다.

3. 빙축열 시스템의 분류

빙축열 시스템의 분류 방법에는 여러가지가 있지만, 여기에서는 국내에서 적용되고 있는 빙축열 시스템의 형식을 감안하여 축열조의 제빙·해빙방식에 따라 분류하고, 각 방식의 특징이나 장·단점은 공급 업체의 입장을 감안하여 생략하고 그 개념만 간단히 기술하기로 한다.

3.1 정적형(Static Type)

정적형은 동일한 장소에서 얼음의 성장과 융해가 정적으로 반복되는 방식으로서 관외착빙형, 관내착빙형, 캡슐형으로 크게 나눌수 있으며, 관외착빙형에는 완전동결형(Static Ice Builder)과 직접 접촉식(Ice-on-coil)이 있다.

완전동결형은 관내부를 흐르는 브라인이 제빙 및 해빙용 열매이며, 외부의 물은 순환하지 않고

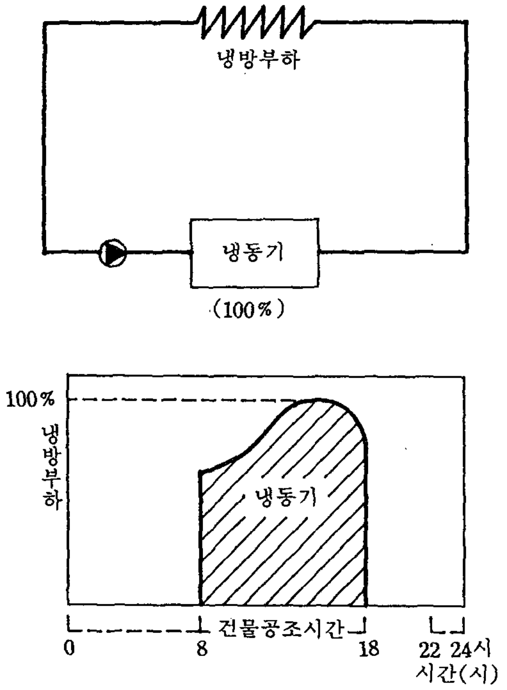

그림 1 일반 시스템 개념도

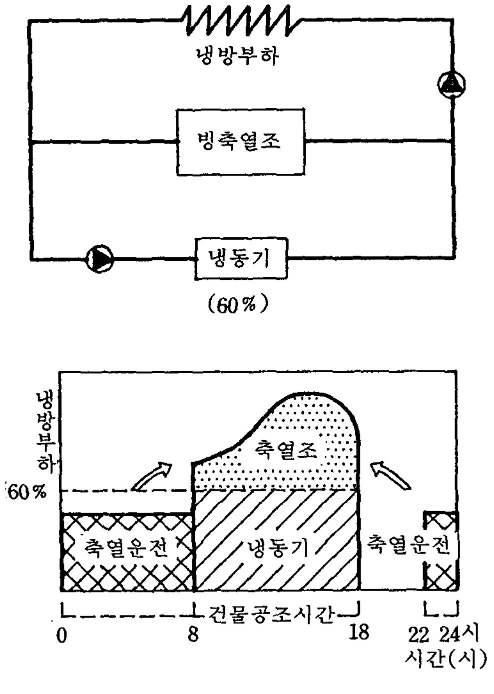

그림 2 빙축열 시스템 개념도

저장된 상태로 관내부의 브라인에 의해서 제빙 또는 해빙되는 방식이며, 직접 접촉식은 제빙은 완전동결형과 동일하지만, 해빙시에는 관외부의 물이 순환하여 얼음을 녹이는 방식이다.

관내착빙형은 관내부에는 물이 순환하고, 관외부에는 제빙용 브라인이 순환하여 관내부의 물이 제빙되며, 해빙시에는 관내부의 물이 순환하여 얼음을 녹이는 방식이다.

캡슐형(Encapsulated Type)에는 아이스렌즈형(Ice Lens Type)과 아이스볼형(Ice Ball Type) 있으며 캡슐내부에는 물이 들어 있고, 외부에는 브라인을 순화시켜 캡슐내부의 물을 제빙 또는 해빙하는 방식이다.

3.2 동적형(Dynamic Type)

동적형은 얼음을 간헐적 또는 연속적으로 제빙용 열교환기로 부터 분리시키거나 연속적으로 제빙시키는 방식으로 빙박리형(Ice Harvest Type)과 액체식 빙생성형으로 크게 구분할 수 있다.

빙박리형은 열교환기 내부에 냉매를 순화시키고 외부에는 물을 분사시키는 방식으로서 제빙시에는 열교환기가 증발기 역할을 하여 열교환기 외부에 얼음을 생성시키고, 일시적으로 전자밸브로 냉매회로를 절환시켜 고온의 냉매가스를 열교환기에 통과시키면 열교환기는 응축기 역할을 하여 표면이 가열되어 생성된 얼음이 열교환기로부터 간헐적으로 분리된다.

액체식 빙생성형에는 리퀴드아이스(Liquid Ice)방식, 과냉각 아이스 방식, 직팽형 직접 열교환방식, 비수용성 유체이용 직접 열교환방식 등이 있으며 국내에는 아직 상품화되지 않은 방식들이다. 리퀴드 아이스(Liquid Ice)방식은 연속적으로 제빙하는 방식으로서 브라인 등의 부동액 물질과 물을 혼합시킨 저농도의 수용액을 증발기로 통과시키면 냉각되어 수용액중의 물은 50~150미크론의 미세한 얼음으로 상변화되고 수용액의 부동액 농도는 높아지며, 부하측에 의하여 얼음이 녹으면 농도는 다시 묽어진다.

과냉각 아이스방식은 물의 과냉각 현상을 이용하여 연속적으로 제빙하는 방식으로서, 물을

브라인과 열교환하여 과냉각상태로 만들어 축열조내로 이송하여 진동이나 충격등에 의해서 과냉각을 해제시키면 순간적으로 미세한 얼음으로 변화된다.

직팽형 직접 열교환방식은 제빙용 열교환기 없이 브라인등의 부동액물질의 수용액을 내장한 축열조내에 프레온 등의 냉매를 직접분출시키면 수용액중의 물이 연속적으로 미세한 얼음으로 상변화되는 방식이다. 비수용성 유체이용 직접 열교환방식은 비수용성 액체를 이용하여 제빙하는 방식이다.

4. 빙축열 시스템의 장・단점

빙축열 시스템의 장, 단점은 비교대상 방식이나 관점에 따라서 다르겠지만 국내에서 일반적으로 적용되는 냉온수 유니트방식에 의한 일반 시스템과 비교하면 다음과 같다.

4.1 장 점

- 심야전력요금의 적용으로 전체 운전비를 줄일 수 있다.
  심야시간대의 제빙용 냉동기 전력량 요금은 주간요금의 3분의 1정도로서 저렴하고 기본요금도 거의 없기 때문에 냉방 운전 비용을 줄일 수 있다.
- 공조부하변동에 상관없이 열원기기의 효율적 운전이 가능하다.
  빙축열 시스템이 아닌 경우에는 냉동기 용량이 최대부하기준으로 선정되므로 부분부하시 냉동기 운전효율이 좋지 않지만 빙축열 시스템에서는 빙축열과 병용함으로써 냉동기는 항상 최대 부하로 운전이 될 수 있으므로 운전효율이 높아진다.
- 공조부하가 어느 정도 증가할 경우에도 열원의 증설없이 대응이 가능하다.
  최근 사무공간의 인텔리전트화로 냉방 부하의 증가가 예상되므로 설계당시에 적절한 용량으로 설치하기가 어려우며, 준공후, 열원기기의 추가설치도 쉽지 않다. 빙축열 시스템의 경우 운전시간과 운전방법의 조절로 어느정도의 증가부하를 담당할 수 있으며 저온송수, 저온급기가 가능하므로 배관, 덕트 등의 2차 설비의 변경없이 대응이 가능하다.
- 열원기기의 고장시에도 축열부분 만큼의 냉방운전이 가능하다.
  열원기기 운전없이 빙축열조 단독으로도 60% 이상 냉방부하를 담당할 수 있으므로 적절히 운전하면 열원기기 고장시에도 냉방이 가능하다.
- 지역냉방을 위한 저온송수방식, 저온급기 방식등과 같은 2차측시스템의 적용이 가능하다.
  빙축열조에서 생성되는 저온의 열매를 이용한 저온송수방식과 저온급기방식의 적용으로 배관, 덕트, 공기조화등의 2차측 설비비를 줄일 수 있으므로 빙축열 시스템으로 인한 증가된 설치 공사비를 어느정도 상쇄 시킬 수 있으며, 반송동력비도 줄일 수 있다.
- 난방용으로 별도 보일러를 설치하므로 난방시스템 선택의 융통성이 크며, 특히 고층빌딩에 유리하다.
  냉온수 유니트방식에서는 난방용 열매가 온수로 국한되므로 고층건물인 경우 냉온수기에 높은 압력이 미치며, 반송동력비가 증가하고, 공급수온도가 낮기 때문에 콘벡터나 방열기 난방에는 부적합하다. 반면에 빙축열 시스템인 경우 별도의 증기보일러가 설치되므로 난방열매가 증기가 되어 직접 난방열매로 이용하면 동력비가 절감되며, 비교적 높은 온도의 난방용 온수제조가 가능하여 난방시스템 선정이 자유롭다.

4.2 단 점

- 축열조, 별도 난방열원기기등의 설치공간이 늘어난다.
  냉동기용량 감소로 인한 설치공간 감소보다는 축열조의 추가 설치에 더 많은 공간이 필요하며, 냉온수기는 냉난방 겸용인데 반

해 빙축열 시스템에서는 난방용 보일러가 필요하므로 설치공간이 늘어난다.

- 초기투자비가 비싸다.
  빙축열조와 자동제어 공사비가 늘어나므로 일반방식에 비해 초기 설치비용이 늘어난다.
- 축열조에 의한 에너지 손실이 발생한다.
  비공조시간대에 저온의 열을 저장했다가 공조시간대에 사용하므로 저장 및 방열시간동안 필연적으로 열취득에 의한 에너지 손실이 발생한다.
- CFC 대체에 대한 고려가 필요하다.
  현재 사용중인 R-22는 대체 냉매에 해당되지만 오존층 파괴지수가 "0"이 아니므로 향후 언제든지 규제 대상이 될 수 있다.
- 설계, 시공, 관리 등에 주의가 요망된다.
  일반시스템과는 달리 제빙, 해빙 과정이 반복되므로 성능 저하방지를 위한 철저한 유지관리가 요망되며, 실제 냉방 운전시간이 생각보다 적은 현실을 감안할 때 경제적인 제빙량 예측이 쉽지 않다. 건물 특성에 맞는 시스템, 용량 및 운전 패턴 등의 선정에 주의를 요한다.

5. 빙축열 시스템의 구성과 운용방식

5.1 전부하 축열방식과 부분부하 축열방식

5.1.1 전부하 축열방식

그림 3과 같이 심야 전력이 적용되는 시간대에서만 냉동기를 가동하여 다음날의 냉방부하 전체를 축열하고, 주간에는 냉동기 가동없이 냉방운전하는 방식이다. 심야전력(갑)이 적용되므로 동력비가 가장 많이 절감되고 시스템 운전도 간단하나, 축열조와 냉동기 용량이 커져 초기투자비 및 설치공간이 늘어난다. 또한 제빙시 COP가 떨어지므로 제빙과 방열시간이 동일할 경우 일반시스템에 비해서는 냉동기 용량이 커질 수도 있다.

대형건물의 보조 냉방, 예비 열원 시스템등으로 활용하면 건물전체 열원시스템의 신뢰도를 높일 수 있어 인텔리전트화에 부응하는 열원시스템이 될 수 있다.

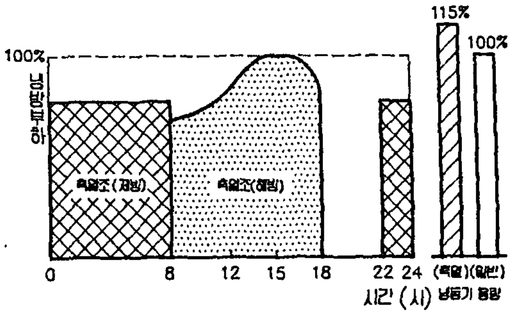

그림 3 전부하 축열

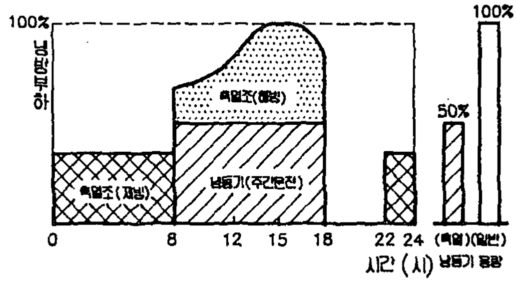

그림 4 부분부하 축열

5.1.2 부분부하 축열방식

그림 4와 같이 심야시간에 냉동기를 가동하여 주간부하의 일부를 축열하고, 주간에 냉동기와 빙축열조를 동시에 가동하는 방식이다. 전축열에 비해 축열조와 냉동기용량을 줄일 수 있으므로 초기투자비와 설치공간이 감소되나 운전비는 증가한다. 현재 국내 적용되고 있는 빙축열 시스템은 거의 대부분 이 방식이다.

5.2 냉동기, 축열조, 펌프배열

5.2.1 Chiller Upstream방식

그림 5와 같이 냉동기를 축열조 상류측에 배치하는 방식으로서, 열교환기를 통과한 브라인이 바로 냉동기에 유입되므로 냉동기 입구 브라인 온도가 높아 냉동기의 운전효율은 높아진다. 반면에, 축열조에 유입되는 브라인온도가 낮아 축열조 방열 효율이 떨어져 축열조 용량이 커지고 공사비도 증가한다.

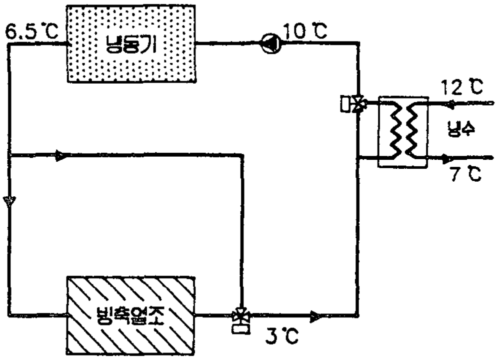

그림 5 CHILLER UPSTREAM방식

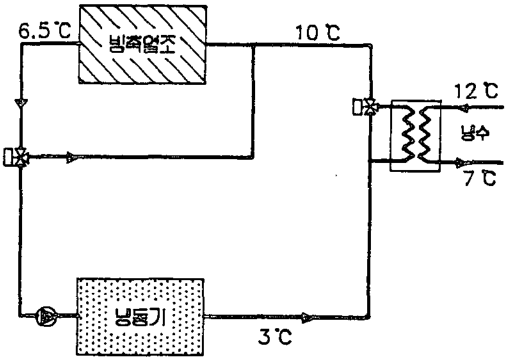

그림 6 CHILLER DOWNSTREAM방식

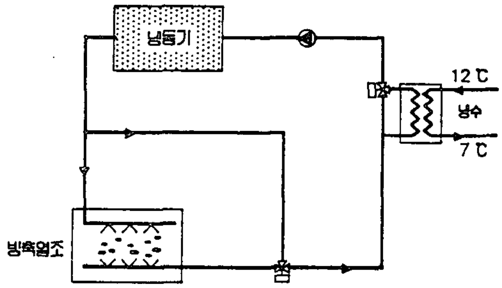

그림 7 개방형 브라인 회로방식

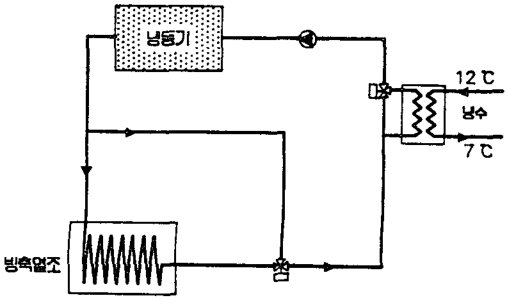

그림 8 밀폐형 브라인 회로방식

5.2.2 Chiller Downstream방식

그림 6과 같이 냉동기를 축열조 하류측에 배치하는 방식으로서, 열교환기를 통과하여 온도가 높아진 브라인이 바로 축열조로 유입되므로 축열조의 방열 효율이 높아져 축열조 용량이 줄어들지만, 냉동기 입구수온이 낮아져 냉동기 운전효율은 나빠진다.

5.2.3 브라인 순환펌프 위치

축열조 형식에 따라서 브라인 순환펌프 위치는 달라질 수 있으나 열교환기 입구측 브라인 온도는 될 수 있는 한 낮아야 2차측 냉수온도차와 브라인온도차를 크게 할 수 있으므로 1, 2차측 순환펌프의 동력비를 절감할 수 있고, 열교환기 전열면적도 줄일 수 있어 바람직하다. 따라서, 냉동기나 빙축열조를 통과한 브라인이 냉수펌프로 인하여 온도가 상승되지 않는 것이 바람직하다고 본다.

5.3 브라인 회로방식

5.3.1 밀폐형 회로

그림 7에서 처럼 1차측 회로(브라인 또는 물)가 대기에 개방되지 않는 방식으로서, 브라인(또는 물) 배관계통의 부식, 축열조 열취득, 순환펌프 위치 선정 등의 측면에서 다소 유리해질 수 있으나, 설치장소에 제약을 받을 수 있다.

5.3.2 개방형 회로

그림 8과 같이 1차측 회로(브라인 또는 물)가 대기에 개방되는 방식으로서, 축열조 형상의 선정이 비교적 자유로와 설치 장소에 제약을 덜 받는 장점이 있으나, 브라인(또는 물) 관리, 열취득, 배관계통의 부식등의 측면에서 다소 불리해질 수 있다.

5.4 냉동기와 축열조 우선 운전방식

5.4.1 냉동기 우선(Chiller Priority) 운전방식

주간 냉방시 냉동기를 일정한 용량으로 운전하여 일정용량의 냉방부하를 처리하고, 나머지 변동부하를 축열조의 방열로 처리하는 방식이다.

최대부하를 안전하게 처리할 수 있으나, 1일

부하율이 작은 경우 축열량을 전부사용하지 못하게 되므로 운전비가 상승될 수 있다.

5.4.2 축열조 우선(Ice Storage Priority) 운전방식

주간냉방시 축열조의 축열량을 일정한 용량으로 방열시켜 일정 용량의 냉방부하를 처리하고, 나머지 변동부하는 냉동기를 가동시켜 처리하는 방식이다. 축열량을 유효하게 모두 사용할 수 있으므로 운전비가 절감되지만 최대부하일(最大負荷日)의 경우 잘못 운전하면 최대 부하시 냉방 용량의 부족현상이 발생 될 수 있다.

따라서, 어느 한방식으로 고정하여 운전하기 보다는 전날의 운전 특성 분석과 다음날의 부하예측, 방열시 운전상태의 정확한 감시로 가장 효율적인 운전이 될 수 있도록 상기 두방식을 적절히 절충하여 운전하는 것이 바람직하다.

5.5 2차측에의 열반송방식

5.5.1 직송(Direct Distribution)방식

그림 11과 같이 빙축열 시스템의 1차측 브라인(또는 물)을 2차측(부하측)의 공기조화기나, FCU에 직접 공급하는 방식으로서 열교환기가 생략되므로 시스템 전체의 효율이 높고, 대온도차 방식에 의한 동력비절감이 가능하나 배관의 단열, 브라인 관리등의 어려움이 있다.

5.5.2 열교환(Heat Exchanger)방식

그림 12와 같이 빙축열 시스템의 1차측 열매(브라인 또는 물)와 2차측(부하측)의 냉수를 열교환기에 의하여 열교환하여 2차측 부하를 처리하는 방식이다.

6. 빙축열 시스템의 평가 항목

빙축열 시스템의 적용목적, 건물특성, 설치장소, 여건 등에 따라서 평가 항목의 우선순위가 다를 수 있겠지만 다음과 같은 항목에 준하여 평가할 수 있다.

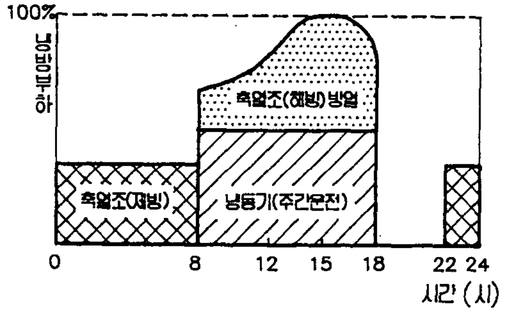

그림 9 냉동기 우선 운전 방식

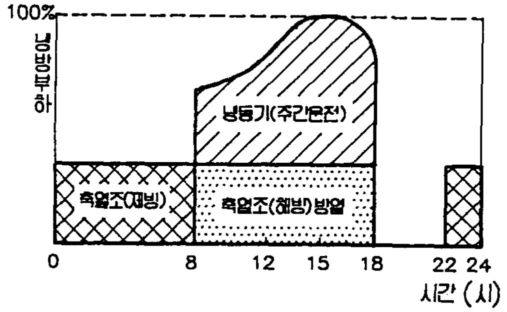

그림 10 축열조 우선 운전 방식

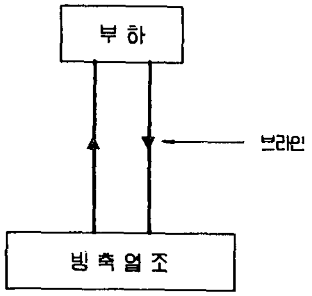

그림 11 직송 방식

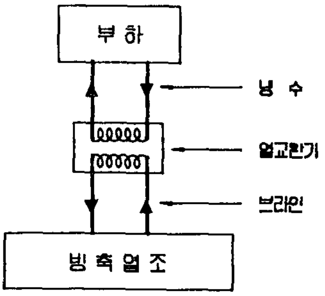

그림 12 열교환 방식

(1) 자원 절약성

전체 시스템의 수명은 물론 시스템을 구성하고 있는 모든 자재의 수명이 길어야 한다.

(2) 에너지 절약성

최소한의 에너지로 운전이 가능하도록 기기 효율이 높아야 하며, 전체 수명도 길어야 한다.

(3) 취급의 용이성

유지관리가 용이하고 쉽고 안전한 운전이 될 수 있어야 하고, 전체 시스템은 안정성이 있어야 한다.

(4) 내 구성

전체 시스템 구성요소의 물리적인 수명이 길어야 함은 물론이고, 초기의 효율이 시간이 경과함에 따라서 떨어지지 않아야 한다.

(5) 제 어 성

제어가 용이하고, 저부하에서 고효율 제어가 가능하고, 최대 부하시 효과적으로 대응할 수 있어야 한다.

(6) 저공해성

사용냉매나 브라인등은 대기중에 방출시에도 되도록 공해가 없어야 한다.

(7) 난방 축열에의 대응성

빙축열조 설치로 인한 설치공간의 증가와 초기투자비의 증가를 최대한 보상하기 위하여 동절기에도 난방 축열조로 병용할 수 있는 시스템이 바람직하다.

(8) 각종 히트소스(Heat Source), 히트씽크(Heat Sink)와의 조합의 적합성

난방과 냉방부하가 공존하는 건물에서 빙축열 시스템은 제빙시 난방열원으로 해빙시 냉방 열원으로 응용이 가능하다.

(9) 2차측 공조시스템과의 조합의 적합성

저온송수, 저온급기등과 같은 2차측 공조시스템과의 조합이 용이한 빙축열 시스템이 바람직하며, 경우에 따라서는 이러한 2차측 시스템에 의해서 빙축열 시스템이 선정될 수도 있다.

(10) 경 제 성

모든 공조시스템이 그러하듯이 빙축열 시스템도 종합적으로 경제성이 있어야 한다. 최소의 투자비, 최소의 동력비, 최소의 열취득 등 여러 가지 측면에서 경제성이 우수한 시스템이 바람직하다.

7. 빙축열 시스템의 응용

7.1 저온송수방식

축열조내의 1~3℃의 저온 냉수를 이용하면 통상 냉수온도차의 2배 정도를 얻을 수 있으므로 배관공사비와 순환펌프 동력비를 대폭 줄일 수 있어 대규모시설에 효과적이다. 냉방부하가 증가된 기존 건물에 적용하면 배관설비를 교체하지 않고도 부하에 효과적으로 대응할 수 있다.

7.2 브라인 직송방식

앞에서 언급한 직송 방식으로서 효과적으로 저온을 이용할 수 있으나, 브라인의 점성이 크고 비열이 작기 때문에 동일온도의 냉수보다는 펌프 동력이 증대하는 경향이 있다.

7.3 물과 얼음의 혼합 송수방식

동적형(動的型) 제빙시스템에서 얻어지는 파쇄된 얼음과 물을 혼합하여 송수하면 얼음의 잠열과 물의 현열을 동시에 이용할 수 있으므로 냉열을 효과적으로 반송할 수 있다. 따라서 지역냉방과 같은 대량의 열을 원거리에 공급할 경우 지역배관의 공사비와 반송 동력을 대폭 줄일 수 있는 효과적인 방식이지만, 얼음과 물의 분리, 얼음에 의한 관로의 막힘, 분기관에서의 얼음 분배문제, 열량계측등의 문제가 있다.

7.4 저온저습공기 공급방식

빙축열조에서 얻어지는 저온냉수로 7~12℃의 저온냉풍을 만들어 대온도차 송풍방식을 적용

표 1 저온공조의 실시예

건 물 명 칭	소 재 지	송풍온도 (℃)	비 고
大阪 터미널 빌딩	大阪 (日)	8~10	유인형 취출유니트에서 15℃까지 승온 공급
日本 IBM 빌딩	東京 (日)	12.0	Fan Powered Unit에서 승온공급
Sunbelt Savings	달라스교외 (美)	6.7	Fan Powered Unit에서 12.8℃까지 승온 공급
Alabama Power Company	버어밍햄 (美)	12.8	
Marchandise Mart	시카고 (美)	7.2~10	
The State of Illinois Center	시카고 (美)	10.0	

하면 송풍동력의 대폭적인 절감이 가능하며, 특히 O.A화로 냉방부하가 증가된 기존 건물에 적용하면 덕트 변경없이 부하에 대응할 수 있다. 또한, 저습도의 공기가 얻어지므로 특수한 용도에 이용될 수 있고, 이러한 저온의 공기는 덕트내의 박테리아나 곰팡이류의 성장을 줄일 수 있으므로 실내의 쾌적성도 높힐 수 있다.

그러나, 경우에 따라서는 덕트의 결로, 실내온도 분포의 불균일, 공기청정도 저하 잠열부하의 증대등의 문제점도 예상된다.

이러한 저온, 저습공기에 의한 저온공조방식의 실시예는 표 1과 같다.

8. 맺음말

위에서 빙축열 시스템의 개념에 관하여 간략히 언급하였지만, 지금까지 빙축열 시스템은 공조설비 설계자가 설계 의도상 필요하여 채택된 경우는 극히 미비하고, 거의 대부분 관련법규등의 외부요인에 의하여 채택되고 있는 실정이다.

빙축열 시스템이 좀 더 지속적으로 발전되기 위해서는 공급업체의 기술개발은 물론 철저한 사후관리가 필요하며, 무엇보다 공조설비 설계자의 빙축열시스템에 대한 정확한 이해와 관련 공조설비에의 적극적 응용을 위한 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. 空氣調和・衛生工學, "特集/氷蓄熱システム(1)" 空氣調和・衛生工學會, 제64권 제6호, pp.1~35, 1990.
2. 空氣調和・衛生工學, "特集/氷蓄熱システム(2)" 空氣調和・衛生工學會, 제64권 제7호, pp.21~59, 1990.
3. 井上良則外, "氷蓄熱の最新技術と導入事例", 設備と管理, Vol.26, No.6, pp.41~47, 1992.
4. Christopher M. Landry and Craig D.Noble, "Making ice thermal storage first-cost competitive", ASHRAE Journal, Vol.33, No.5, pp.19~22, 1991.
5. 國內 氷蓄熱 製造業體 技術資料