빙축열 공기조화 기술

Basics of Air-Conditioning Based on Ice Storage

최 헌 오
H. O. Choi
한국기계연구소 공기조화연구실

• 1955년생
• 열유체분야를 전공하였으며 상변화, 초청정, Filtering, 극저온분야에 관한 연구와 열유동해석 및 시스템 설계에 관한 전산기법에 관심을 가지고 있다.

고 득 용
D. Y. Koh
한국기계연구소 공기조화연구실

• 1959년생
• 열유체 분야를 전공하였으며 극저온, 축열, 축냉 관련분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머 리 말

에너지는 공급과 동시에 사용할 수도 있으나 인위적으로 변환된 형태로 저장하였다가 필요할 때에 사용할 수도 있다. 우리나라의 경우 전기발전량은 원자력발전의 비중이 전체 발전량의 50% 이상을 점유하고 있는데 원자력발전의 경우 부하 변동에 따른 발전량의 조절이 불가능하여 때때로 막대한 양의 전력을 그냥 흘려 보내는 경우가 있다. 최근들어 생활수준의 향상으로 쾌적 환경을 추구함에 따라 하절기 냉방 부하가 급증하는 추세로 산업계 전력 계통의 부하율 저하와 설비 이용율 저하로 이에 대한 대책이 필요하다. 따라서 심야의 값싼 잉여전력을 이용하여 주간의 냉방 부하에 대응하는 기술의 개발은 잉여전력의 효율적 이용과 전력부하의 시간적 평균화를 위하여 매우 시급하다고 할 수 있다.

이의 한 방안으로서 심야 여유 전력을 이용한 냉열저장장치에 대한 연구가 현재 미국, 일본 등 일부 선진국에서는 활발히 진행되고 있다. 냉열저장장치는 냉수축열(현열저장)과 빙축열(잠열저장)로 크게 나눌 수 있는데 여기서는 열용량이 비교적 큰 물-얼음의 상변화를 이용하는 빙축열에 대하여 설명하기로 한다.

2. 빙축열 시스템의 특징

1) 축열조 부피의 감소

빙축열의 가장 큰 특징은 작은 부피로 많은 축열이 가능하다는 점이다. 이는 물의 온도차를 이용한 일반적인 현열축열(1 kcal/kg ℃×5℃ 정도)에 얼음의 융해잠열(80 kcal/kg)을 부가할 수 있기 때문이다. 이 때문에 종래의 대형 축열조를 도입하기 곤란했던 중소 규모의 빌딩에도 설치가 가능하다.

2) 축열조에서의 열손실 감소

축열조의 열손실은 주위와의 온도차와 축열조의 표면적에 의해 결정된다. 빙축열은 저온축열임으로 주위와의 온도차는 크지만 축열조의 축소에 따른 표면적의 감소로 냉수축열에 비하여 열손실이 감소한다.

3) 냉동기 성능 및 효율의 저하

증발온도의 저하에 따른 냉매의 비체적 증대로 인해 냉동기의 성능이 약화되고 또한 냉동기의 성적계수가 나빠짐으로 이에 대한 해결방법으로 가능한 한 0℃에 가까운 온도에서의 제빙이 바람직하다.

4) 냉수공급온도의 안정화

축열조에서 뽑아내 이용하는 열량의 대부분은 잠열분에 의하기 때문에 4℃에서 최대의 밀도를 가진 물의 특성상 축열조로부터 4℃ 내외의 안정된 냉수를 장시간 이용할 수 있다. 이러한 일정한 냉수공급온도는 공기조화 이외의 분야로의 응용도 가능하게 한다.

5) 열수송 동력에너지 저감

낮은 냉수온도를 이용한 고제습이나 저온일차공기에 의한 인덕션 유니트 분배, 공조기나 fan coil unit에서의 온도차 증대로 배관계통의 크기가 작아지거나 배관계통이 줄어드는 등 열수송에너지의 저감의 가능성이 높다.

6) 기존 냉수축열조의 용량증대화

기존 냉수축열조를 빙축열화함으로써 축열용량을 대폭적으로 증가시킬 수 있다.

7) 냉방부하의 증가로 어려움을 받는 기존 건물에의 적응화

작은 공간으로도 적용이 용이한 빙축열조를 도입함으로써 기존의 전기용량을 증가시키지 않고도 축열공조방식으로의 전환이 용이하다.

3. 제빙방식

그림1에 현재 실시되고 있거나 혹은 고안되어 있는 여러 종류의 제빙 및 해빙방식에 관한 기본패턴을 분류해 놓았다. 여기서 부동액형(A군)은 열원에서 먼저 brine을 냉각하여 brine pump에 의해 제빙축열부에 열을 전하는 형식인데 시공관리의 용이함과 냉동시스템의 운전관리, 제어면에서 많은 이점이 있는 방식이다. 직접팽창형(B군)은 부동액형에 비하여 열교환과정이 한 단계 생략되고 1차 pump가 없어도 되는 것을 특징으로 하지만 냉매배관이나 냉매사용법규상의 어려움이 있다. 각 제빙방식의 장단점을 표1에 비교하였다.

어떠한 제빙방식이라도 가장 중요한 것은 제빙 및 해빙의 균일화와 소정 해빙열량의 확보이다. 따라서 이와 같은 여러 방식 중 어느것이 좋은가의 판단은 초기설치비와 운전비를 포함하여, 빙축열 공조를 하려는 건물의 여러조건에 따라야 할 것이다.

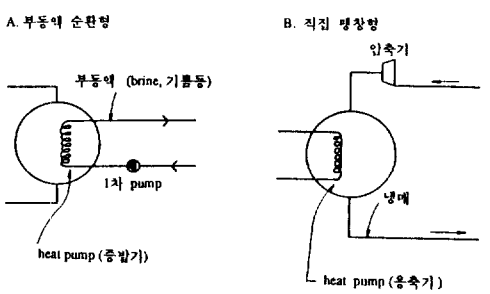

그림1 (a) 제빙방식 분류

4. 얼음의 양, 두께의 검지방법

얼음의 양, 두께를 파악하는 것은 축열량을 계측하는 것 이외에도 제빙코일간의 얼음이 얼어 연결됨(bridging)으로써 2차측 유로가 막히거나 배관내의 얼음이 얼어 관이 막히는 것을 방지하기 위해 매우 중요하다. 여러가지 센서의 예를 그림2에 나타내었다.

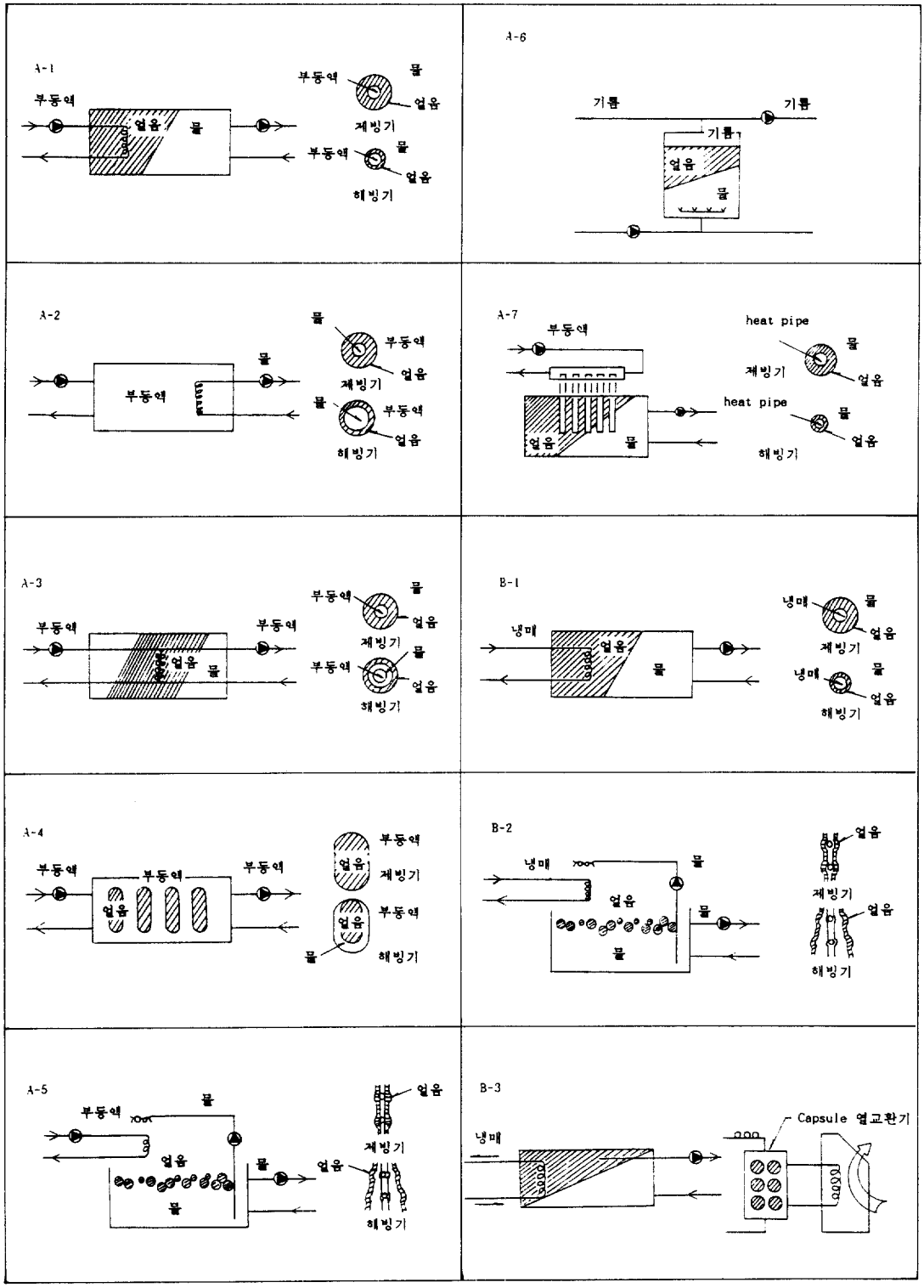

그림1 (b) 여러 종류의 제빙 및 해빙방법

표 1. 여러 제빙방법의 장단점

	장 점	단 점
A-1	• 펌프 이외의 가동부분이 없다. • 제빙됨에 따라 표면적이 증대하여 전열이 유리하다. • 부하측이 물이다.	• 축열조내에 열교환기가 필요하다.
A-2	• 부하측이 밀폐회로가 되어 펌프동력이 감소한다. • 부하측이 물이다.	• 관내 제빙이기 때문에 관이 막힐 위험이 있다. • 제빙됨에 따라 표면적이 감소하여 전열이 불리하다. • 축열조로부터의 열손실이 크다. • brine량이 많다.
A-3	• 부하측이 밀폐회로가 되어 펌프 동력이 감소한다. • 주간운전에서는 증발온도를 높일 수 있다.	• 부하측까지 부동액이 있어 부동액량이 많다. • 전날의 얼음이 남아 있으면 제빙시 열교환기가 파손될 위험이 있다.
A-4	• 빙충진율을 높일 수 있다. • capsule의 대량생산이 가능하다.	• 부하측까지 부동액이 있어 capsule내의 물이 과냉될 수 있다. • 부동액의 흐름이 균일하게 되지 않는다. • 축열조로부터의 열손실이 크다.
A-5	• 제빙효율이 좋다.	• 큰 space를 필요로 한다. • 물 spray용 펌프가 필요하다. • 빙 박리시 에너지 또는 시간이 필요하다. • 난방으로의 대응이 곡란하다.
A-6	• 제빙효율이 좋다. • 빙충진율이 높다. • 축열조내에 열교환기가 필요없다.	• 부하측까지 부동액이 있다. • 축열조가 막힐 위험이 있다. • 실험단계임(가격면에서 불안)
A-7	• 제빙 열교환기로의 수송동력이 작다. • 빙 두께를 균일하게 하기 쉽다.	• 난방으로의 대응이 곤란하다. • Heat pipe의 가격이 비싸다.
B-1	• 제빙됨에 따라 표면적이 증대하여 전열이 유리하다. • 부하측이 물이다.	• 축열조내에 열교환기가 필요하다.
B-2	• 제빙효율이 좋다.	• 큰 공간을 필요로 한다. • 물 spray용 펌프가 필요하다. • 빙 박리시 에너지 또는 시간이 필요하다.
B-3	실 험 단 계 임	

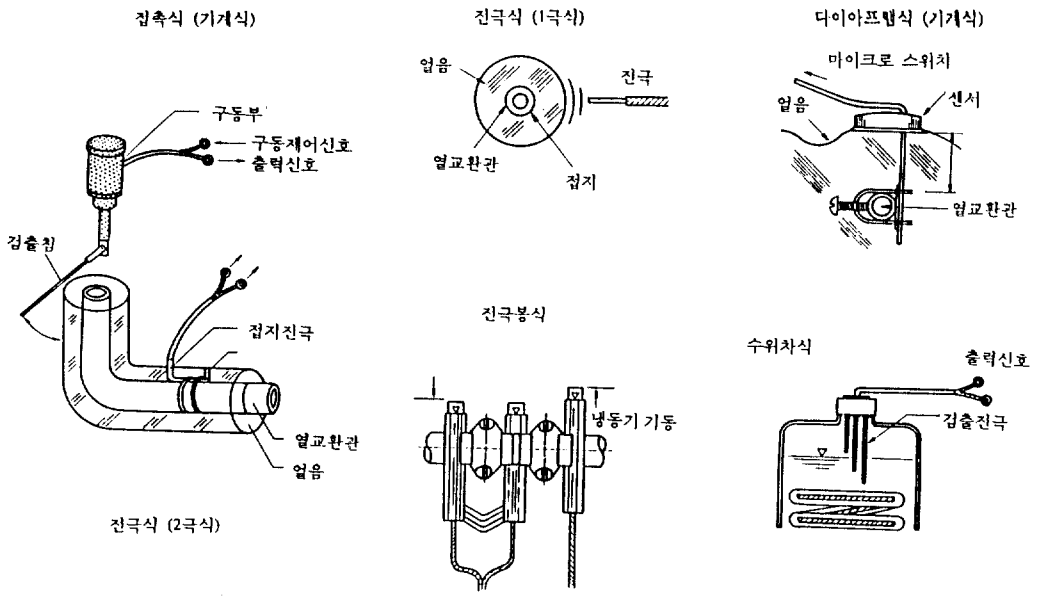

그림 2 센서의 종류

1) 얼음의 양을 측정하는 방법

축열조내의 빙량 파악은 물이 얼음이 될 때의 체적팽창을 이용하여 축열조내의 수위변화를 수위계로 파악하고 계측하는 것이 일반적이다.

2) 얼음의 두께를 측정하는 방법

- ○접촉식(기계식) : 검출계를 일정시간 마다 움직여 빙면에 대어 변위량으로부터 얼음두께를 확인한다.
- ○전극식(2극식) : 제빙배관에 접지전극과 검출전극을 설치해 검출전극이 얼음으로 덮힐 때 까지의 2극간의 통전상태로 얼음두께를 확인한다.
- ○전극식(1극식) : 제빙배관과 전극간의 전위차에 의해 얼음두께를 확인한다.
- ○전극봉식 : 수위전극과 마찬가지로 전극간의 통전상태를 이용한다.
- ○다이아프램식(기계식) : 얼음의 생성에 의해 센서내의 물이 얼음이 되어 팽창하면서 마이크로 스위치가 작동해 얼음두께를 확인한다.
- ○온도식 : 축열조내의 수온과 냉각관내의 냉매온도와의 차로 검출한다.

5. 빙축열 공조시스템의 제어

빙축열 공조시스템에서는 다음날의 부하에 대비하여 전날 야간에 축열운전을 하는 것이므로 부하보다 축열량이 많으면 열손실이 커지게 되고, 축열량이 적으면 낮동안의 추가운전이 필요하게 되어 경제성에 크게 영향을 주게 되므로 부하량에 알맞는 축열을 할 수 있는 제어가 필요하다.

일반적인 빙축열 제어방식으로는 냉동기 주도방식, 빙축열 주도방식, 비례제어방식 으로 나눌 수 있다. 냉동기 주도방식은 주간에 냉동기를 전부하운전하고 부하가 냉동기 능력을 초과할 때에만 빙축열을 이용하도록 하는 방식이다. 이 운전방식은 냉동기의 제어방식을 그대로 사용할 수 있으므로 극히 간단한 방법이지만, 공조시스템에서 첨두 부하를 감소시킬 수 있는 빙축열의 장점을 최대한으로 이용할 수 없다는 단점을 갖고 있다.

빙축열 주도방식은 냉동기 주도방식과는 다르게, 야간에 축열한 얼음을 주간에 가능한 많이 융해시켜 융해열을 최대한으로 이용하고자 하는 것이다. 이 방식은 축열을 최대한으

로 이용할 수 있는 이점이 있지만, 제어 시스템이 복잡하게 되고 또한 제어가 적절히 수행되지 않으면 더운 날에는 얼음이 빨리 녹아 공급냉수온도가 상승하는 결점도 갖고 있다.

냉동기 주도방식은 첨두부하를 감소시키는 능력이 부족하고, 빙축열 주도방식은 설비비가 증대되는 단점을 지니고 있다. 비례제어방식은 이러한 각각의 단점을 해소하기 위한 방식으로 냉동기도 축열조도 공조부하에 대하여 서로 주도하지 않고, 부하를 일정비율로 분담하여 부하상태가 변하여도 그 비율은 변하지 않도록 한다. 이 운전방식을 취하면 빙축열조는 최적운전상태가 가능하여 축열조를 크게 할 필요가 없게 되고 냉동기 주도방식에 비하여 첨두부하의 감소도 크게 된다.

그림3에 세가지 제어방식을 각각 나타내었다.

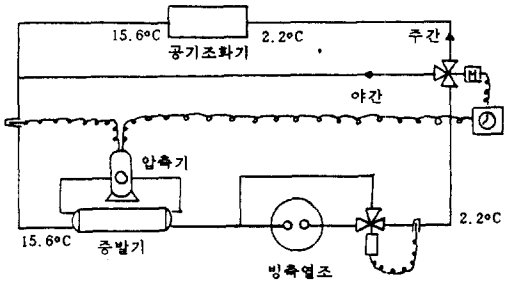

그림 3(a) 냉동기 주도방식

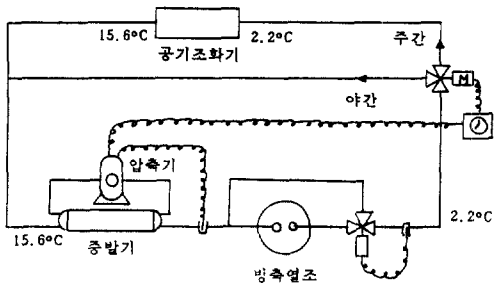

그림 3(b) 빙축열 주도방식

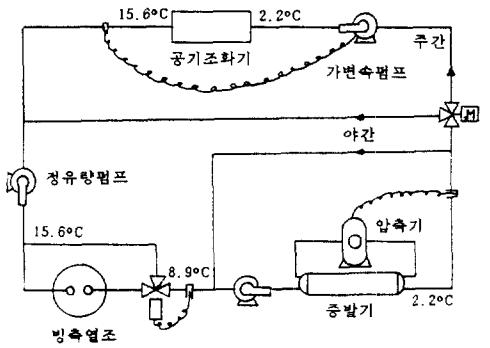

그림 3(c) 비례제어방식

그림3 빙축열의 제어방식

6. 빙축열 공조시스템의 설계

새로운 공조의 개념으로 도입한 빙축열 공조시스템을 설계하기 위해서는 여러가지 설계변수를 고려하여야 하지만 기본적으로 고려해야 할 사항으로는 공조부하, 공조운전시간, 축열운전시간 등을 들 수 있다. 아래에 이러한 사항을 고려하고, 열원으로 열펌프를 사용한 빙축열 공조시스템 설계의 일례를 순서대로 나열하였다.

1) 건물의 하루 최대냉방부하의 산출
2) 열펌프가 필요로 하는 소요냉방능력의 산출
3) 축열조 소요축열량의 산출
4) 이용 온도차 및 빙충진율의 선정
5) 빙축열조의 용량 선택
6) 제빙용 열교환기의 부설을 선정
7) 제빙용 열교환기의 총연장 길이 계산
8) 제빙용 열교환기 출입구에서의 브라인 온도차의 선정
9) 브라인 유량의 계산
10) 제빙용 열교환기의 단위 길이당 압력손실의 선정
11) 제빙용 열교환기의 유니트수 선정
12) 열펌프의 선정
13) 열펌프의 난방성능 체크
14) 축열조의 난방이용시의 성능 체크
15) 2차측 공조기기의 제조건 고려

7. 빙축열 공조시스템의 예

그림4는 하루동안의 냉난방 부하에 대응하

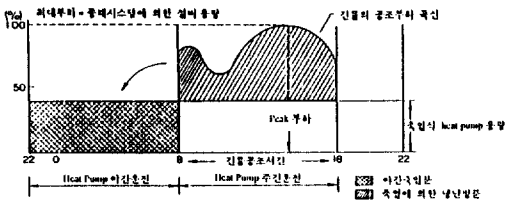

그림4 냉난방 부하 패턴

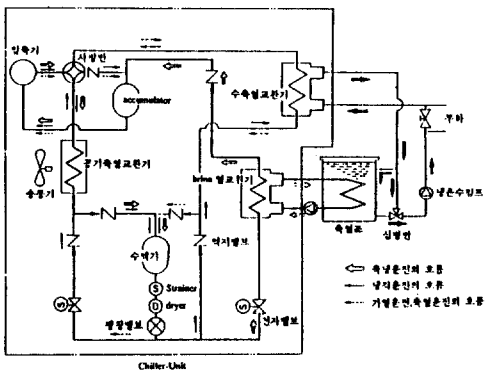

그림5 (a) 축냉운전 사이클

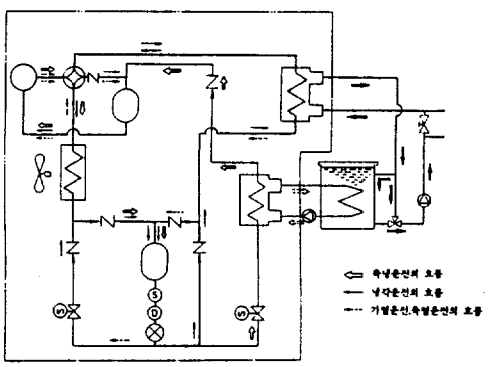

그림5 (b) 냉각운전 사이클

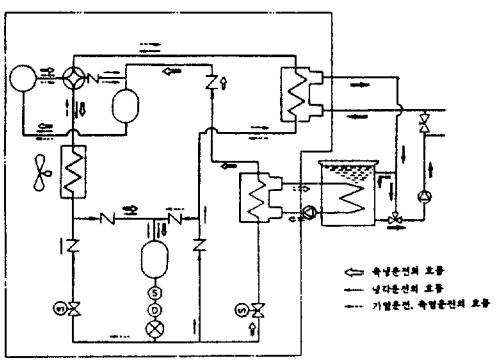

그림5 (c) 가열·축열운전 사이클

는 재래식 열펌프의 설비용량과 축열식 열펌프의 설비용량을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 종래방식의 공조시스템에서의 열펌프 용량을 100%로 하면 빙축열 시스템에서는 주간공조부하에서 야간 축열분을 제하면 종래 방식에 비하여 약 40% 정도의 열펌프 용량으로 주간공조부하를 감당할 수 있게 된다.

위와 같은 특징을 살려 일본의 Hitachi 사에서 개발한 공냉열펌프식 빙축열용 chiller unit를 빙축열 시스템의 한 예로써 소개하고자 한다. Hitachi 사에서 개발한 빙축열용 chiller unit는 냉매-브라인과 브라인-물 열교환기를 내장하는 double cooler type과 냉매-브라인 열교환기만을 내장하는 single cooler type이 있는데 여기서는 이 중 double cooler type의 운전 사이클을 그림5에 나타내었다.

1) 축냉운전(야간)

- chiller unit는 brine용 열교환기를 사용한다.
- brine pump를 사용하여 brine을 축열조로 순환시켜 축열조내에 얼음을 생성시킨다.

2) 냉각운전(주간)

- 냉온수 펌프에 의해 부하측으로 냉수를 보내고 축열조내의 얼음을 사용하여 냉각운전을 수행한다.
- 필요에 따라 chiller unit는 수측열교환기를 사용하는 냉각운전도 수행한다.

3) 가열·축열운전

- chiller unit는 수측열교환기에 의해 온수를 만든다.

8. 맺 음 말

이 글에서는 빙축열 공조시스템에 대한 일반적인 사항들에 대하여 기술하였다. 물의 상변화를 수반하는 빙축열장치는 축열조용적의 현저한 감소, 표면적 감소에 따른 열손실의 감소, 사용냉수온도의 안정화, 열수송 에너지 감소 등의 장점 이외에도 심야여유 전력을 이용하므로 운전비의 절감과 전력의 첨두부하의 평균화로 산업계의 전력부하도 증가시키는 효과

를 갖고 있다. 그러나 빙축열 시스템에서는 축열량이 많아지면 냉동기의 효율이 저하되므로 축열조의 빙충진율과 냉동기 성능계수의 상호관계를 충분히 고려하여 설계할 필요가 있고, 축열조를 설치할 건물, 시스템이 작동하는 지역의 기후, 심야전력요금 등 여러가지 조건들을 감안한 전체 시스템의 최적운전에 관한 연구도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Tadahiko Ibamoto, "빙축열 공조시스템 개론", 냉동 Vol.62, No.714.
2. Isao Hirano, "빙축열 시스템의 구조와 기능", 냉동 Vol.62, No.714.
3. 柳原 隆司, "빙축열 공조시스템의 도입, 실시에 대하여", 공기조화와 냉동 Vol. 26, No.9.
4. Calvin D. MacCracker, ASHRAE Journal, May 1986, p.20.