

심야전력 이용 빙축열 시스템



김 영 인

생산기술연구원 기술개발본부 교수

- 1949년생
- 극저온에서의 열전달을 전공하였으며, 공기조화 및 냉동에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

천연에너지 자원이 부족한 우리 나라에서는 전원 개발의 하나로 원자력 발전소를 건설하여 원자력 발전이 실제 전체 발전량에서 차지하는 비중의 50.5%를 차지하고 있다. 그러나 원자력 발전의 경우에는 부하 변동에 따른 발전량의 조절이 불가능하므로 심한 전력부하 불균형을 초래하고 있다. 이러한 전력부하 불균형 문제를 해결하기 위한 수단으로 야간의 값싼 심야전력을 이용하여 전기에너지를 얼음형태의 열에너지로 저장하였다가 주간에 냉방용으로 사용하는 빙축열 시스템을 채용하면 전력부하 불균형 해소와 아울러 값싸게 쾌적한 환경을 얻을 수 있는 장점이 있다. 공조용 빙축열 시스템에서는 열의 생산과 소비의 시간을 임의로 조절할 수 있는 특성이 있다.

이러한 전력사정의 변화 및 생활환경의 변화가 국내에도 파급되어 조만간 국내에서도 공조용 빙축열 시스템의 설치가 활발할 것으로 예상되어 공조용 빙축열 시스템의 특성, 종류, 구성, 운전방식에 대해 기술한다.

2. 축열시스템의 특성

공조용 축열시스템은 에너지 형태를 열에너지로 저장하여 공조설비에서 필요시에 사용하

는 시스템으로서 열원기기와 공조기기를 분리하여 운전하는 시스템이라 할 수 있다. 따라서 열의 생산과 소비를 임의로 조절할 수 있는 형태이므로 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다. 공조용 축열시스템을 사용하면 전력소비의 평준화, 열원기기의 고효율운전 및 열회수에 의한 에너지 절약을 기할 수 있다. 특히 각종 폐열을 이용할 경우 불안정한 열에너지 공급원으로부터 안정된 열에너지를 얻기 위해서는 조정장치가 필요하며 이 조정장치가 중요한 역할을 한다.⁽¹⁾

2.1 사용배경

축열시스템을 사용하게 되는 배경을 살펴보면 그림 1과 같이 열에너지의 수요와 공급을 조정하는 목적으로 설치하며 간헐성이 많은 자연에너지의 유효 이용과 불안정한 배열의 회수 이용 및 심야전력을 이용하기 위해 설치한다. 또한 열에너지의 수급이 같은 시간대의 수요측

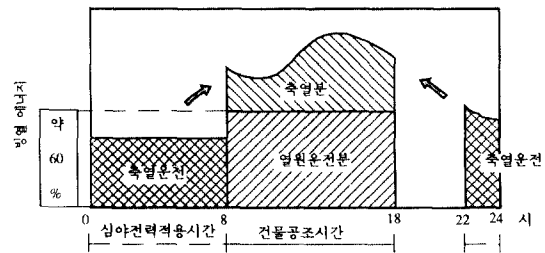


그림 1 축열시스템에서의 열에너지 수요와 공급

의 시각변동을 이용할 경우 열원용량을 절감하기 위해서도 축열장치가 필요하다.

건물에 대한 공기조화의 경우에는 수요측의 특성이 아래와 같을 때 축열시스템을 사용한다.

- (1) 부하가 계절에 따라 변화가 많을 경우
- (2) 일일중의 부하의 변화가 비교적 클 경우
- (3) 건물의 용도에 따라 공조시간대가 다른 부분이 많을 경우

전력회사의 발전측면에서 축열시스템을 사용해야 하는 배경은 아래와 같다.

- (1) 원자력 발전용량의 증대로 인해 전력불균형 초래
- (2) 축열시스템 사용에 의해 발전 설비의 가동률 증대
- (3) 전력회사의 전력저장 기술개발 의욕 증대

2.2 축열시스템 사용의 장단점

축열조 사용의 장점은 아래와 같다.

- (1) 경제적 측면
 - 공기조화 시간외에도 열원기기를 연속 운전하므로 냉동기 및 열원 설비 용량의 대폭 감소에 의한 초기 설비 투자비가 감소된다.
 - 용량 감소 등에 의한 부속설비가 축소된다.
 - 설치 면적 감소에 의한 건축비를 절감할 수 있다.
 - 수전설비 축소 및 계약 전력 감소로 인한 기본전력요금도 감소된다.
 - 심야전력 이용으로 전력 운전비를 절감할 수 있다.
- (2) 기술적 측면
 - 공급 열원기기(냉동기 등)를 전부하에서 연속적으로 운전하게 되므로 고효율 정격운전이 가능하다.
 - 축열조는 완충제 역할을 하므로 열공급의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 특히 공기조화 계통이 많으며 부하변동이 크고 운전시간대가 다를 경우에도 안전한 열공급이 가능하다.
 - 열회수 시스템 채용이 가능하다.

- 전력부하 균형에 기여한다.
 - 타열원(태양열 및 폐열) 이용이 용이하다.
 - 부하증가에 대응이 가능하며, 특히 건물의 일부 증설, 또는 건물 내부의 용도 변경에 공기조화 부하가 증가할 경우에 대처가 가능하다.
- 축열시스템을 사용함으로써 발생하는 단점은 아래와 같다.

- (1) 축열조 및 단열공사로 인한 추가비용이 소요된다.
- (2) 축열조 열손실 : 축열조에 주위온도와 다른 매체를 저장하게 되므로 열손실이 증가한다.
- (3) 축열조의 매체를 냉각, 가열하기 위한 배관계통이 필요하므로 이에 따른 배관 설비비 및 반송 동력비가 증가한다.
- (4) 축열에 따른 혼합열손실에 의해 공조기의 열교환기 코일의 수, 펌프 용량과 2차측의 배관계가 개회로이므로 설비가 증가할 가능성이 있다.
- (5) 축열조의 효율적인 운전을 위하여 제어 및 감지장치가 필요하다.
- (6) 수처리가 필요하다.
- (7) 야간에 열원기 운전의 자동화나 소음에 대응하는 배려가 필요하며 자동화 장치가 없을 경우에는 추가 인건비가 증가한다.

3. 빙축열 시스템

3.1 공기조화용 빙축열 시스템의 원리⁽²⁾

공기조화용 빙축열 시스템은 야간에 값싼 전력을 이용하여 저온형태의 에너지로 저장하였다가 그림 2에 도시한 것과 같이 주간 건물 공조시간에 사용하는 시스템이다.

3.2 공기조화용 빙축열 시스템의 구성

공기조화용 빙축열 시스템은 일반 공조시스템에 빙축열조를 추가시킨 시스템으로 기본적인 구성은 그림 3과 같다.

3.3 축열능력

1톤의 0°C 물이 1톤의 얼음으로 변할 경우

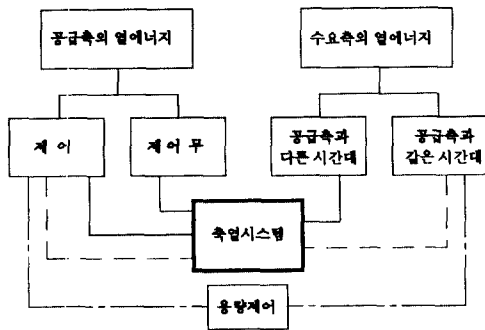


그림 2 축열의 원리

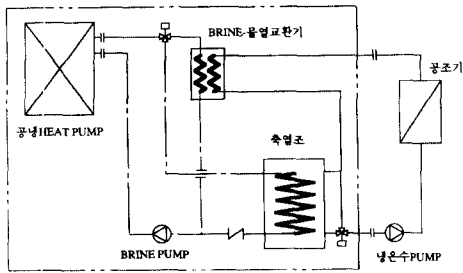


그림 3 빙축열시스템의 구성

80Mcal의 응고열이 발생하므로 15°C의 1톤되는 물이 1톤의 얼음으로 상변화할 때에는 95 Mcal의 이용 수량이 생기는 셈이며, 이것은 같은 경우의 수축열 생성과정에 비해 약 12배의 열당비가 된다.

3.4 빙축열 시스템의 운전방식

건물의 공기조화용 빙축열 시스템의 기본 운전방식은 운전시간 측면에서 아래와 같이 네 가지로 구분할 수 있다.

○ 냉방의 경우

- 야간: 제빙(축열) 운전
- 주간: 냉수 방열 운전

○ 난방의 경우

- 야간: 온수 축열 운전
- 주간: 온수 방열 운전

또한 축열물에 의한 분류로는 전량축열(full storage)와 부분축열(partial storage)으로 구분할 수 있다. 건물에 적용할 빙축열 시스템의

축열량을 결정하는 데에는 대상건물의 성격이 가지는 냉방부하량, 변화추이, 시간대별 가동률을 감안해야 한다.

전량축열은 건물의 최대 냉방부하량을 만족할 수 있는 용량을 저장하는 시스템을 말하며 부분축열은 야간축열과 주간 냉방 시스템 가동을 적절히 하여 운전하는 시스템으로 전량축열의 경우보다 관련기기 용량이 작아지므로 초기 투자비를 절감할 수 있다.

3.5 공기조화용 빙축열 시스템의 종류

현재 일본, 미국에서는 다양한 빙축열 방식이 개발되고 실제로 설치 운전되고 있다. 이들 방식에는 각각의 많은 장단점이 보고되고 있으며 이러한 개개의 방식에 대해서 충분히 그 타당성, 효율성을 분석하여 최대한으로 시행착오를 줄이는 것이 필요하다고 생각된다. 최근까지 보고된 빙축열 방식은 아래와 같이 분류된다.

(1) 축열조 용량에 의한 분류

- 일체형(Unit Type) : 중소형 건물에 사용 (공기조화 건물면적 500~4,000m²)
- 현장시공형(건물본체 이용형) : 대형건물 (면적 3,000m²이상)

(2) 제빙해빙 과정 및 방식에 따른 분류

1) 정적형(靜的型 : Static Type)

(가) 관외착빙형(Ice-On-Tube Type)

조내에 동관 또는 폴리에틸렌제 코일을 설치하고, 그 주위에 얼음을 생성시키는 방법이다. 축열조내에 물을 채우고 코일 내부에는 브라인 또는 냉매를 순환시켜 코일주위에 착빙시키며 냉방시에는 조내의 물을 부하측에 순환시키는 구조이다. 비교적 COP를 높일 수 있으며 착빙이 진행됨에 따라 열전달 표면적이 넓어지므로 열전달 면에서 유리하다.

또한 부하측이 물이므로 기존의 공기조화기를 사용하는데 어려움이 없으나 조내에 별도의 열교환기를 필요로 한다.

현재 일본에서 가장 널리 보급된 방법으로 다양한 코일형태가 개발되고 있다.

(나) 관내착빙형 (Ice-In-Tube Type)

조내에 열교환기를 설치하고 관외로 브라인이 통과할 수 있게 한 구조이다. 제빙시 얼음이 관의 안쪽을 향해 성장하므로 제빙량이 늘어날수록 열전달 표면적은 감소하나 관내에 남아있는 물의 양은 감소하므로 관내에 남아 있는 물에 대한 즉 단위 수량당 열전달 면적은 증가한다.

(다) 완전동결형

이 방식은 조내에 제빙용 열교환기를 설치하고 제빙측 브라인 회로 및 부하측 브라인 회로를 완전 밀폐한 구조이다.

조내의 물은 단순히 열을 저장하는 용도에만 사용되며 부하측으로 순환되지 않는다.

부하측이 폐회로이므로 펌프동력이 감소하며 조내의 물을 거의 완전히 동결시킬 수 있으므로 축열조의 크기를 가장 작게 할 수 있으며 COP도 높일 수 있으나, 부하측도 브라인을 순환시키므로 브라인 소모량이 많아진다. 해빙시의 효율은 나쁜 편이며 간접용해 특성으로 유용에너지의 양, 즉 온도 포텐셜이 감소한다. 일반적으로 대형 시스템에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

(라) 캡슐형

조내에 캡슐을 설치하고 그 내부에 물을 채우고 얼림으로써 열을 저장하는 방법이다. 조내에는 브라인을 채우고 완전동결형과 같이 냉동기 및 부하측 순환매체를 브라인으로 하는 것으로 이에 따른 장단점은 완전동결형과 같다. 지금까지 나열한 방법과는 달리 별도의 열교환기를 설치할 필요가 없고 대량생산이 용이한 캡슐을 사용할 수 있으나 캡슐내부의 물이 과냉현상을 일으킬 수 있고 브라인의 유동이 불균일해지기 쉽다.

2) 동적형 (動的型 : Dynamic Type)

(가) 빙박리형 (Harvest Type)

제빙코일 주위에 생성된 얼음을 박리시켜 별치시킨 조에 얼음만을 저장하는 구조로서 주로 미국쪽에서 개발되고 있는 방법이다. 제빙코일 주위에 두께 5mm 정도의 얼음이 형성되면 냉

동기를 역순환시킴으로써 제빙코일 온도를 높여 이 얼음이 박리되도록 주기적인 운전을 한다.

제빙부와 저장부의 분리가 가능하므로 대용량의 얼음을 저장할 수 있으나 제빙코일 주위에 물을 분사시켜야 하므로 별도의 펌프가 필요하며 얼음을 박리시키는데 에너지가 소비된다.

(나) 액체식 빙생성형 (Slurry Type)

에틸렌 글리콜 (ethylene glycol) 수용액을 이용하여 알갱이 형태의 얼음을 만들어 축열하는 방식이다.

글리콜 수용액과 냉매를 직접 접촉시켜 알갱이 형태의 얼음을 생성하는 직접식과 열교환기를 통해 냉매와 글리콜 수용액을 간접적으로 접촉시켜 얼음을 만드는 간접식 두 종류가 있으나, 모두 글리콜 수용액에 포함된 수분을 알갱이 형태의 얼음으로 만들어 축열하는 원리는 같다.

이 방식은 조의 형상에 구애받지 않으며 소형화를 이룰 수 있다. 얼음이 입자상이므로 열교환 효율이 높고 빙충전율 (Ice Packing Factor)을 50% 이상으로 높일 수 있으나 글리콜이 고가이고 처리가 곤란하며 제빙부 위의 기름제거가 곤란하다. 또한 얼음 생성량이 증가함에 따라 농도가 진해져 응고점이 내려가고 COP가 저하한다.

(3) 시공방식에 따른 분류

1) 현장시공식-별치형

대형 건물과 같이 건물지하에 2중 슬래브가 있는 경우에 적용되는 방식이며 현장에서 단열, 방수공사와 동시에 동관 또는 플라스틱 제빙코일을 설치하므로 설계 및 시공이 용이하다.

현장 시공형에는 주로 관외착빙형을 사용한다. 사례가 많으며, 이에 따라 부하 측 순환회로를 폐회로로 하기는 힘들고 개회로가 되므로 펌프 동력비가 많이 소요된다.

축열용량은 이미 주어진 공간이 결정되어 있으므로 얼음량에 의해 조절한다.

2) 공장제작형-일체형

건물지하에 별도의 2중 슬래브가 없는 경우에 적용할 수 있는 방식으로 공장에서 강제 또는 플라스틱으로 축열조를 유니트화하여 생산하며 설치하고자 하는 공간에 냉동기 등과 같이 운반하여 설치하는 것이다.

이러한 기본 유니트를 여러 개 조합하여 부하에 대응하는 축열용량을 갖도록 한다. 경제적인 면에서 다소 냉동기 성능 계수의 저하에도 불구하고 가급적 단위체적당 얼음량을 높이는 운전방식을 채용하여 전체 축열조 체적을 줄이는 방법이 주로 사용되고 있다.

별치형 밀폐식에는 관외착빙형뿐만 아니라 관내착빙형, 캡슐형 등 다양한 제빙·해빙 방식을 적용할 수 있고, 실제로 많은 실시 사례가 보고되고 있으며 중소형 건물 등에 간단히 설치할 수 있다.

(4) 냉매방식에 따른 분류

1) 브라인 순환식(액순환식)

제빙코일에 순환하는 작동매체를 브라인으로 하는 방식으로 1차 냉매 즉 프레온과 1차 열교환을 한 후 냉각 과정을 거친 2차 냉매 브라인을 제빙부에 보내는 것이다.

이 방식은 현장에서 냉매배관을 따로 할 필요가 없다는 이점은 있으나 1차 냉매와 2차 냉매 사이에 또 다른 열교환기가 필요하고 브라인 순환펌프가 필요하게 되며 균일한 얼음을 형성하기 위하여 제빙코일 입출구의 온도차가 작도록 유량을 크게 해야 한다.

따라서 배관 압력손실이 증가하므로 동력비가 크게 된다. 또한 열교환기가 추가되므로 냉동기 성능 계수도 작아진다.

그러나 다양한 제빙·해빙 방식을 채용할 수 있어 일본에서는 비교적 이 방법이 많이 보급되고 있다.

2) 프레온 직접 팽창식

2차 냉매를 사용하지 않고 프레온이 직접 제빙코일에서 증발하는 방식으로 이 경우에는 냉동기의 증발기가 바로 제빙코일을 겸하는 것이다. 따라서 냉동기의 성능계수 COP를 높일

수 있고 설비비도 저렴해진다. 설치시 전문업자가 필요하기는 하나 기술적으로 어려운 문제는 없다.

그러나 프레온에 섞인 기름을 제거하는데 주의할 요하며 제빙 코일 후반부에서는 냉매가 과열상태(superheated state)가 되므로 착빙량이 다소 불균일해지는 경향이 있다. 미국에서는 주로 이 방법이 사용되고 있으며 일본에서도 많은 설치 사례가 있다.

3) 프레온 강제순환식

프레온 직접 팽창식에 냉매 순환펌프를 추가시키는 방식으로 냉동기 COP를 가장 높게 할 수 있다.

제빙코일은 직접 팽창식에 비해 약간 작아지며 효율 향상과 열펌프에 대응시키는 것이 가능하다. 그러나 저압 리시버와 별도의 순환펌프가 필요하고 시스템이 복잡해지는 것을 피할 수 없다. 이에 따라 설비비가 높아지고 냉매계통의 설계 시공에 고도의 전문성이 요구된다. 중·소형 시스템에는 적합치 않은 것으로 알려져 있다.

4) 암모니아 만액식

(5) 운전방식에 따른 분류

1) 전부하 축열방식(Full Storage Type)

심야전력 등 가장 저렴한 동력비를 얻을 수 있는 시간대에서만 냉동기를 가동하고 다음날의 냉방부하 전체를 축열하는 방식으로 주간에는 냉동기를 운전하지 않는다. 이 방식은 외기 온도가 전반적으로 낮은 심야에 가동하므로 냉동기 성능계수가 높으면서도 전기요금이 저렴하므로, 연간 전체 동력비는 가장 낮아진다.

그러나 운전은 심야에만 하므로 냉동기 용량, 축열조 크기 등이 커져 초기 투자비가 크게 된다.

이 방식의 특징을 살리는 응용으로는 주간에 최대 부하만을 대상으로 한다든가 일 주일에 1회만 냉방을 한다든가 예기치 못한 부하에 대비하는 용도 등에 적용하는 경우 적합하다.

2) 압축기 병용 부분부하 축열 방식

야간의 냉동기 운전으로 제빙을 하고 주간에

도 냉동기를 가동하여 부족한 냉방부하에 대응하는 방식으로 전부하 축열방식의 크기를 절반 정도로 줄일 수 있다. 전부하 축열방식과 동일하나 기기의 작동시간이 길게 되며 냉방부하가 큰 하계 이외에는 심야축열만으로 전부하를 대응시킬 수 있다.

이 방식은 시스템이 단순하고 초기투자도 적게 드나, 주간 운전 중에도 얼음을 통해서 열교환을 해야 하므로 COP가 저하되고 동력비도 많이 소요된다.

3) 냉매코일조합 부분부하 축열방식

압축기 병용식의 낮은 COP를 개선하기 위해 고안된 방식으로 공기조화기에 냉매코일을 설치하여 야간에 축열조에 제빙한 후 주간의 운전방식으로 냉매로써 1차에랭을 하고 축열된 냉수로부터 최종 냉각하는 방법을 취한다.

압축기 병용식의 경우에는 주간에도 증발온도가 $-5^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ 정도로 운전되나 이 방식은 $10^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$ 정도로 COP가 대단히 높아진다.

운전비 면에서는 이 방식이 가장 우수하나 부하측에 냉수코일뿐 아니라 냉매코일도 설치해야 할 필요가 있고, 직접 팽창식인 경우에는 부하가 분산되어 기술적인 어려움이 있다.

4) 냉수용 열교환기조합 부분부하 축열방식

주간 운전의 COP를 높이면서도 기술적인 복잡성을 개선하기 위해 고안된 방법으로 냉수용 열교환기를 설치하여 냉매를 공기조화기까지 공급하지 않고 중간에 열교환기에서 열교환을 거쳐 부하측에 냉수를 보낸다.

주간의 성적계수는 4.0~4.5 정도로 우수하며 빙축열 방식의 장점을 최대한으로 살린 방식이라 할 수 있다.

냉수용 열교환기를 포함해서 열원기기를 모두 중앙기계실에 집중시킬 수 있고 부하측에는 단지 배수관만 접속되므로 시공이 대단히 편리하다. 따라서 설비비 증가요인은 냉수용 열교환기뿐 이므로 경제적, 기술적인 면에서 현재로서는 가장 유망한 방식이라 할 수 있다.

열펌프와 대응하는 경우에 냉수용 열교환기를 온수히터로도 사용하는 것이 가능하여 앞으

로의 중앙식 빙축열 시스템의 기본방식으로 기대된다.

(6) 2차측 부하 설비에 따른 분류

- 개방계 (Open Circuit)
- 밀폐계 (Closed Circuit)

(7) 사용 용도에 따른 분류

- 정전 대책용
- 변동부하 대책용

(8) 반송방식에 따른 분류

- 물 반송형
- 브라인 반송형(직접 열교환형)

4. 사용 용도

빙축열 시스템의 보급이 1980년도부터 시작이 되어 아직 다양한 용도에는 사용되고 있지 않으나 다음의 세 가지 영역에 사용되고 있다.

(1) 공조용

- 사무실, 학교, 도서관, 연구소, 회의실
- 교회, 연회장 ○ 박물관, 미술관
- 백화점, 슈퍼마켓

(2) 산업용

- 우유공장 ○ 맥주공장
- 화학공장

(3) 비상용

- 정전 대책용 ○ 변동부하 대책용


5. 맺음말

이상과 같이 심야전력 이용 빙축열시스템의 원리, 구성 및 종류에 대해 살펴 보았다. 정부는 장기전력 수급에 의해 2001년까지 2,792만 kW의 발전설비를 완공기로 했으나 입지확보와 재원조달의 어려움이 있고 예상 인구 1인당 연간 전력소비량도 생활수준의 향상으로 급속도로 증가하고 있고 전력소비량 중의 상당부분이 여름철의 냉방부하에 의한 것을 고려한다면 심야전력이용 공조용 빙축열 시스템 도입은 필수적인 것으로 생각된다.

따라서 이에 대비해서 다양한 빙축열시스템

중에서 국내 실정에 제일 적합한 시스템을 선정하여 저렴하고 안전하며 효율이 높은 시스템으로 생산하기 위해 기술개발이 요구된다.

과학기술처 pp. 27~35.

2. 한국전력공사, 1990, “빙축열 시스템,” 서울. 

참고문헌

1. 김영인, 1988, “공조용 축열시스템 개발,”