

빙축열시스템의 이용기술

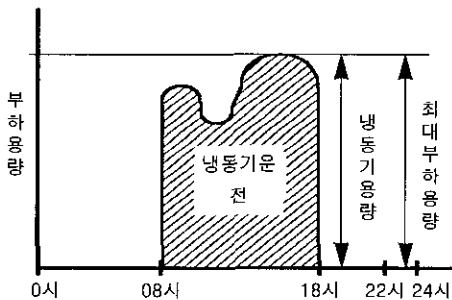
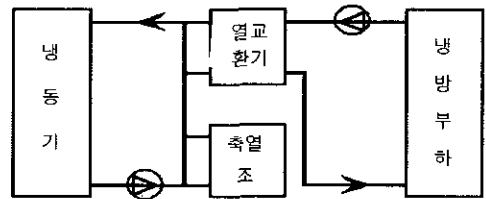
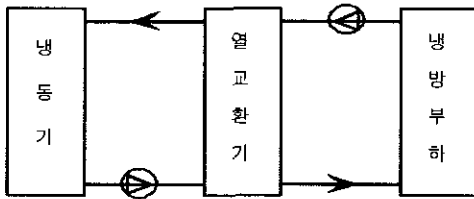
하절기 주간 피크부하의 심야 이전을 위하여 개발 및 보급되고 있는 빙축열시스템의 다양한 응용 및 이용기술에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

박승상, 김영률

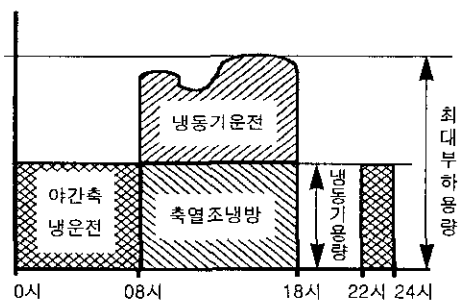
빙축열시스템은 하절기 주간의 폭발적인 냉방수요에 따른 전력사용량의 급증 및 그에 따른 전력수급의 불균형을 해소하기 위하여, 상대적으로 전력수요가 적은 심야시간대에 냉동기를 운전하여 물을 얼음의 형태로 저장하였다가, 주간에 저장된 얼음을 녹여 냉방에 사용하는 시스템으로, 물을 축열매체로 사용하는 잠열이용 축냉식 냉방시스템의 가장 대표적인 시스템이다.

그림 1은 개략적인 빙축열시스템의 구성 및 운전특성을

비축냉식 일반 냉방시스템과 비교하여 나타낸 것이다. 빙축열시스템은 비축냉식과 비교하여, 시스템 구성면에서 축열조가 추가되며, 운전면에서는 비축냉식의 냉동기 용량보다 적은 용량(대략 50% 정도)의 냉동기를 더 많은 시간(주간 운전시간 + 심야 축냉운전 10시간) 운전한다. 빙축열시스템은 냉동기의 운전시간이 증가하고 제빙운전에 따른 냉동기효율의 감소가 뒤따르지만, 냉동기의 용량이 작아지며 심야 축냉운전시 외기온도의



(a) 비축냉식 냉방시스템



(b) 빙축열 냉방시스템

[그림 1] 비축냉식과 빙축열식 냉방시스템의 구성 및 냉동기 용량비교

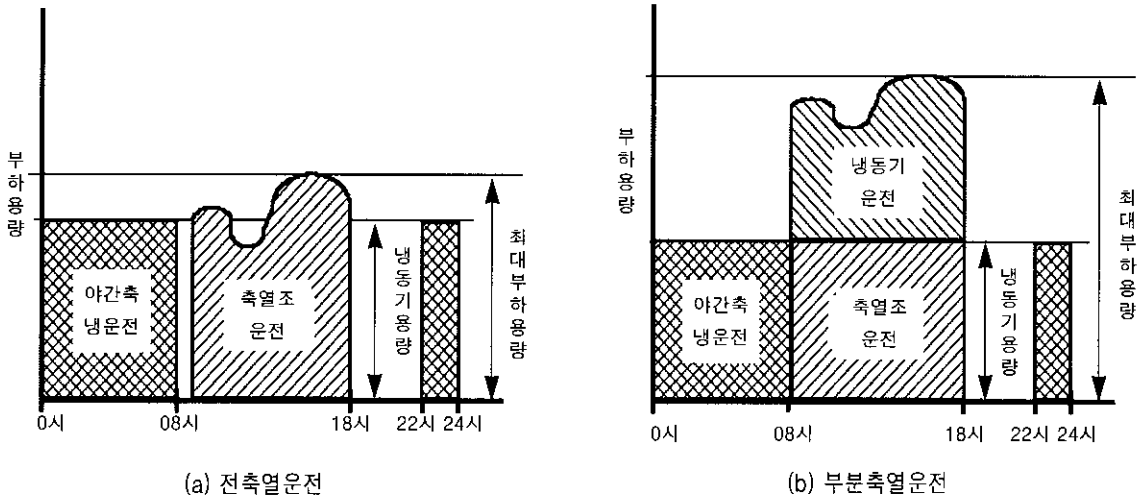
저하에 따른 냉동기 효율의 상승 등의 영향으로, 실제 운전 소비전력은 비축냉식에 비하여 약간 증가하거나 대등하며, 심야전력요금의 혜택을 고려하면 운전비용면에서 비축냉식 보다 훨씬 유리하다.

빙축열시스템의 종류 및 특징

빙축열시스템은 얼음을 얼리는 제빙방식 및 얼음을 녹이는 해빙방식에 따라 다양하게 구분된다. 제빙방식에 따른 종류로는 크게, 정적(static)제빙방식과 동적(dynamic)제빙방식으로 구분할 수 있다. 정적제빙방식은 축열조 내의 물을 덩어리 형태의 얼음으로 제빙하는 방식으로, 시스템 구성이 간단하다는 장점이 있으나, 제빙이 진행될수록 얼음의 두께가 커져 냉동기의 제빙효율이 낮아지는 단점이 있다. 정적제빙방식의 대표적인 시스템으로는, 냉매 또는 브라인이 통과하는 관 주변에 얼음을 얼리는 관외착빙형(ice-on-coil type), 구형 또는 관형 등의 용기 주변으로 브라인을 통과시키면서 용기 내부의 물을 얼음으로 얼리는 용기형(capsule type) 등이 있다. 정적제빙방식은 비교적 시스템의 가격이 저렴하며, 설치 및 운전이 용이하고, 오랜 기간 동안의 사용실적을 통하여 신뢰성이 충분히 입증되었다는 장점으로 현재 사용되고 있는 빙축열시스템의 거의 대부분을 차지하고 있다. 정적제빙방식을 해빙방식에 따라 다시 분류하면 외용형과 내용형으로 구분된다. 외용형은 관외착빙형에서 축열조 내부에 얼지 않고 남아있는 물을 부하측으로 순환시켜 얼음을 녹이는 방식으로 얼음이 외부 표면에서부터 녹기 시작한다. 내용형은 관외착빙형에서 축열조 내부에 설치된 제빙용 코일을 통과하는 브라인을 부하측으로 순환시켜 관 주변의 얼음을 녹이는 방식으로 얼음이 제빙용 코일의 외표면 즉, 얼음층의 내부 표면에서부터 녹기 시작한다.

동적제빙방식은 축열조 내의 물을 작은 얼음조각 형태의 얼음으로 제빙하는 방식으로, 시스템 구성 및 운전제어가 복잡하다는 단점이 있으나, 얼음의 크기 및 두께가 작아 냉동기의 제빙효율이 높아지며 해빙속도가 빠르고

부하측으로 얼음을 직접 반송할 수 있다는 장점이 있다. 동적제빙방식의 대표적인 시스템으로는, 축열조 상부에 설치된 판형의 증발기 표면에 일정두께(대략 5~10mm)로 얼음을 얼린 후에 증발기로 고온의 냉매가스를 통과시켜 증발기 표면에 부착되어 있는 얼음을 이탈시켜 하부의 축열조로 중력에 의하여 떨어지며 그 충격으로 얼음이 작은 조각(수mm ~ 수cm 정도의 크기)으로 깨지게 하는 제빙 및 탈빙운전을 반복적으로 수행하는 하베스트형(harvest type), 이중관 형태의 증발기 표면에 형성되는 얇은 얼음층 또는 물의 과냉각층을 스크레이퍼 등의 회전 도구를 이용하여 증발기 표면에서 이탈시켜 아주 미세한(대략 수십 μ m ~ 수mm 정도의 크기) 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 증발판식 슬러리형(ice slurry type), 과냉각 열교환기를 통과하여 0℃ 이하의 과냉각 상태로 유지된 물을 과냉각 열교환기 출구 쪽에서 일종의 충격을 주어 과냉각이 해소되면서 미세한 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 과냉각식 슬러리형, 물을 물의 삼중점 이하의 진공 상태에서 일부를 증발시켜 그때의 증발열로 나머지 물을 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 진공식 슬러리형, 축열조 내부에 냉매액을 직접 분사하여 냉매의 증발열을 이용하여 물을 얼음 알갱이 형태로 제빙하는 직접접촉식 슬러리형 등이 있다. 동적제빙방식은 얼음을 큰 덩어리 형태에서 작은 알갱이 형태로 변경하여 제빙 및 해빙 특성을 향상시키고, 얼음 알갱이를 부하측으로 직접 반송하는 특성을 효율적으로 이용하기 위하여 개발된 시스템이지만, 비교적 시스템의 가격이 비싸며, 구성 및 운전제어가 복잡하고, 실제 사용실적이 많지 않아 신뢰성이 충분히 입증되지 않았다는 단점 때문에 아직까지는 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 동적제빙방식은 얼음을 작은 알갱이 형태로 제빙하여 저장하는 관계로 해빙방식은 대부분 축열조 내부에 저장된 물(또는 물과 얼음 알갱이 혼합물)을 부하측으로 순환시켜 얼음을 직접해빙하는 방식을 사용한다. 시스템의 특성상 축열조 내부의 물을 부하측으로 직접 순환시키는 것이 곤란한 경우에는 축열조 내부에 열교환 코일을 설치하고 열교환 코일 내부로 브라인 또는 물을 순



[그림 2] 전축열운전과 부분축열운전의 운전패턴 비교

환시켜 간접해빙하는 방식을 사용하기도 한다.

이와 같이 다양한 빙축열시스템이 존재하지만 각각의 시스템은 나름대로의 특징과 그에 따른 장단점을 갖고 있어 일률적으로 어느 운전방식이 더 우수하다고 단정할 수는 없다. 따라서 빙축열시스템의 선정은 적용하고자 하는 용도 및 목적, 부하 및 운전특성, 시설 투자비, 적용되는 전력의 종류 및 요금 등의 제반 사항을 종합적으로 고려하여 적절한 방식을 선택하여야 한다.

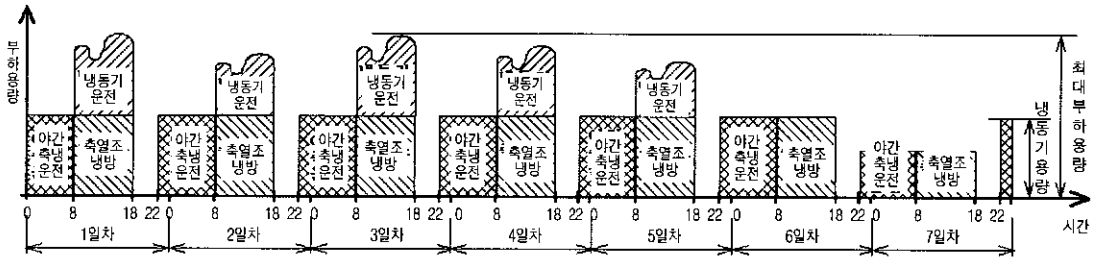
냉방용 빙축열시스템의 운전방법

건물 냉방용으로 사용되는 빙축열시스템의 운전방법은 축열조에 저장된 얼음을 이용하는 방법에 따라 다양한 방법을 사용할 수 있다. 운전방법을 축열량에 따라 분류하면 전축열운전과 부분축열운전으로 구분된다(그림 2).

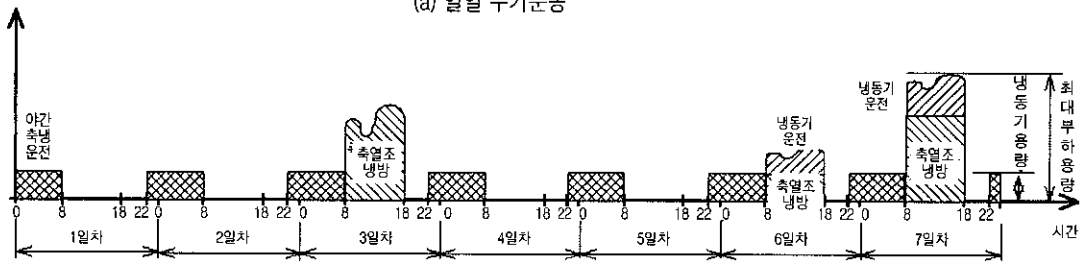
전축열운전은 주간(주간에 필요한 냉방부하 전체에 해당하는 열량을 심야 축냉운전을 통하여 축열조에 저장하였다가 주간에 사용하는 방법)으로, 주간에 냉동기를 운전하지 않아 주간(주간)의 비싼 전력을 부담하지 않는 장점

이 있으나, 냉동기 및 축열조의 용량이 커지며 냉동기 고장 등의 비상사태에 대처하기 곤란하다는 단점이 있다. 전축열운전은 다시 축냉과 방냉의 주기를 하루 단위로 운전하는 방법과 수일 또는 일주일 단위로 운전하는 방법이 있다(그림 3). 하루주기의 운전은 전날 밤에 축냉한 열량을 다음날 주간(주간)의 방냉에 모두 사용하는 운전방식으로, 일반 건물의 냉방 등과 같이 매일매일 일정한 냉방 부하가 있는 경우에 사용되며, 일반적인 전축열 및 부분축열운전의 보편적인 운전방법이다. 일주일주기의 운전은 회의장, 교회, 예식장 등과 같이 냉방부하가 일주일을 단위로 일주일 중에 일부 일에만 집중되어 있는 경우에 사용되는 운전방식으로, 큰 용량의 축열조에 적은 용량의 냉동기를 수일 동안 심야시간에 운전하여 충분한 양의 얼음을 얼린 후 냉방부하가 필요한 일에 집중적으로 사용하는 운전방법이다.

부분축열운전은 주간(주간)에 필요한 냉방부하 중의 일부(대략 40% 이상)만을 심야 축냉운전을 통하여 축열조에 저장하였다가 주간(주간)에 냉동기와 함께 사용하는 방법으로, 냉동기 및 축열조의 용량이 작아지며 냉동기 고장 등의

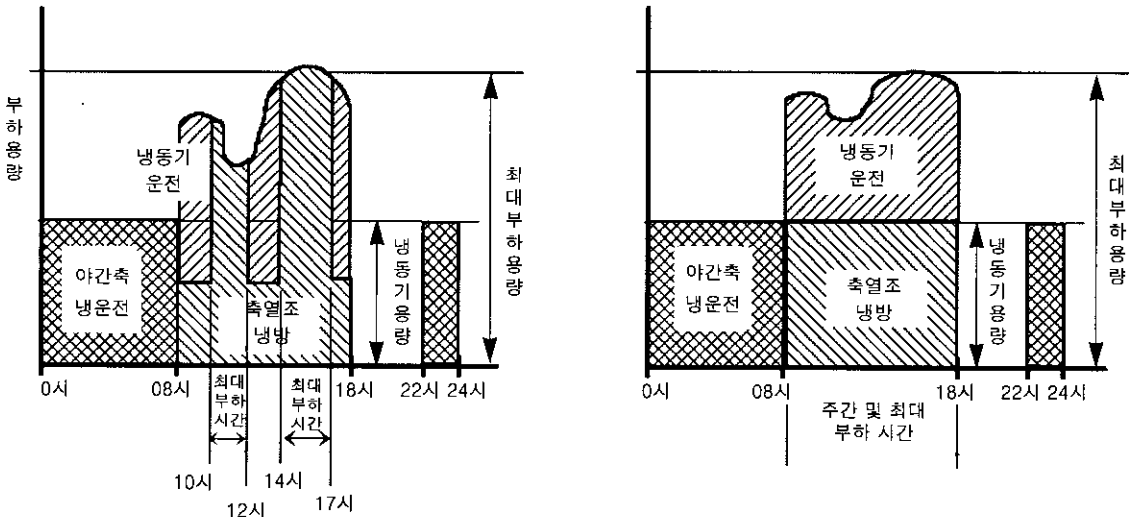


(a) 일일 주기운동



(b) 일주일 주기운동

[그림 3] 부하패턴에 따른 빙축열시스템의 운전주기 예



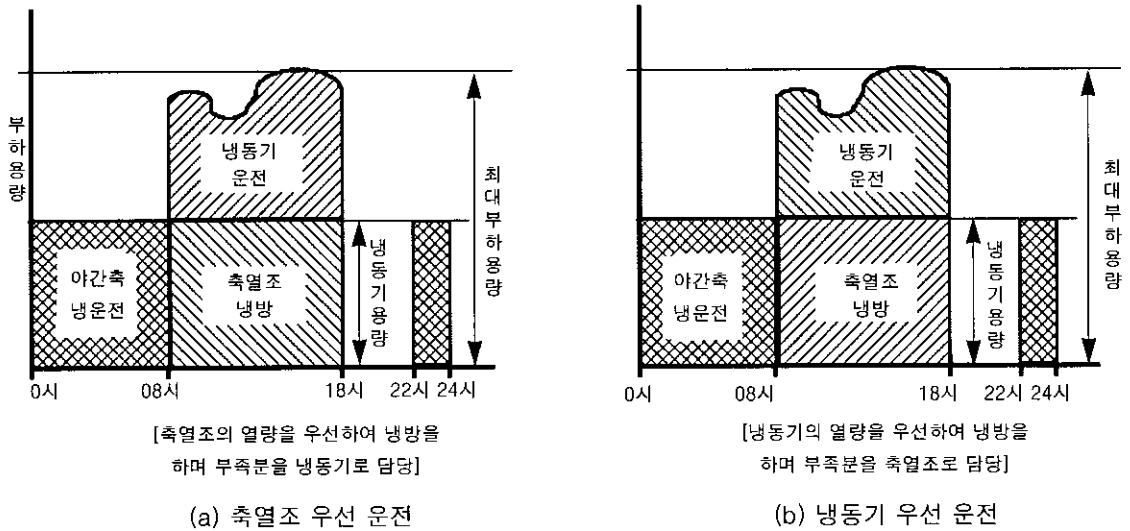
[최대부하 시간대에 냉동기를 정지하여 최대요금 전력수요의 감소를 목적으로]

(a) 피크-컷 운전

[주간 피크시간대를 중심으로 부하를 심아오 이전하여 주간전력요금의 감소를 목적으로]

(b) 피크-이전 운전

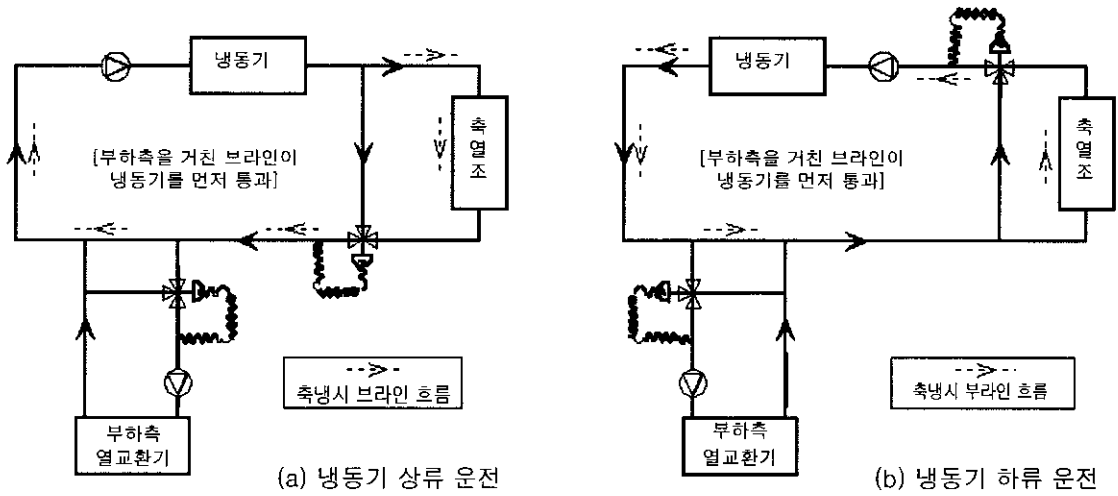
[그림 4] 피크-컷 운전과 피크-이전 운전의 운전패턴 비교



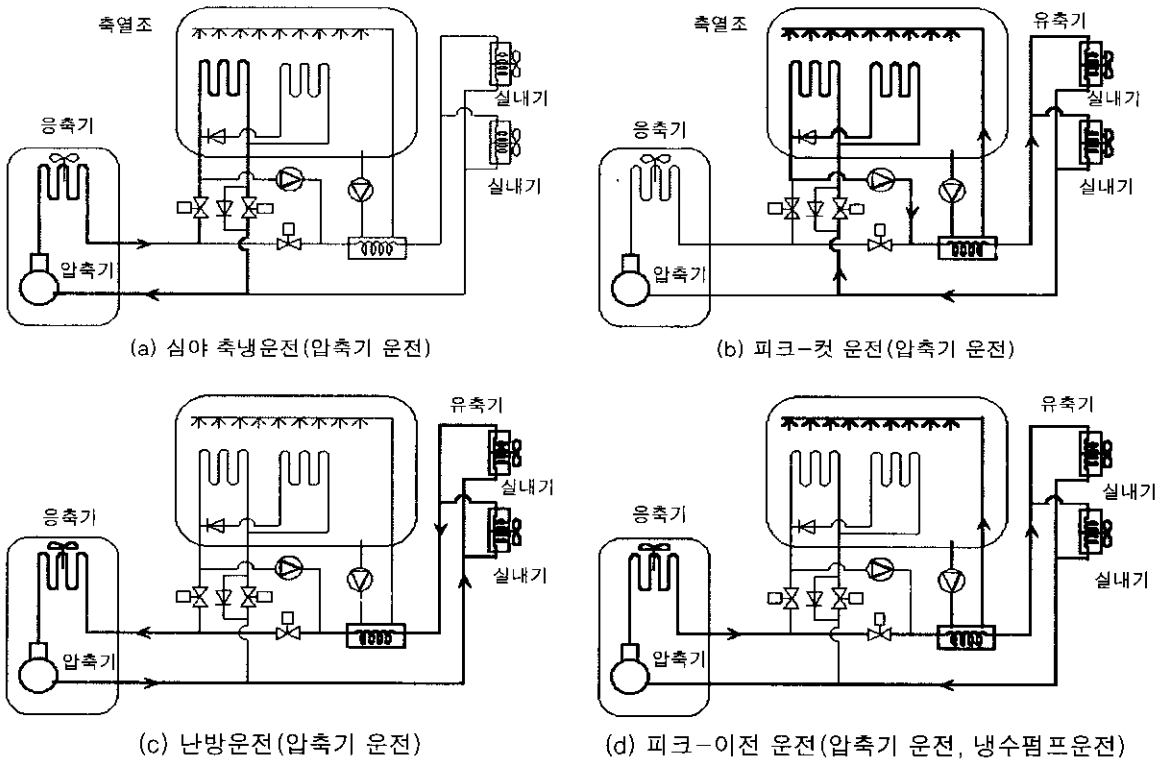
[그림 5] 축열조 우선운전과 냉동기 우선운전의 운전패턴 비교

비상사태에 대처하기 용이하다는 장점이 있으나, 주간에 냉동기를 운전하므로 주간의 비싼 전력요금을 부담하여야 한다는 단점이 있다. 부분축열운전은 다시 주간에 냉동기를 운전하는 방식에 따라 피크-컷(peak-cut) 운전과 피크-이전(peak-shift) 운전(그림 4), 냉동기우선운전과 축열조우선운전(그림 5), 냉동기상류 운전(chiller upstream)과 냉동기하류 운전(chiller downstream)(그림 6) 등으로 구분된다. 피크-컷(peak-cut) 운전은 주간의 최대 전력수요시점인 피크 시간대에 냉동기를 전혀 운전하지 않거나 최소한으로 운전하는 운전방법으로 주간 전력요금의 절감에 초점을 맞춘 운전방식이다. 피크-이전(peak-shift) 운전은 주간의 냉동기 운전용량을 가능한 일정용량으로 유지하며 나머지 필요한 용량은 축열조로부터 이용하는 운전방식으로 냉동기의 용량축소에 초점을 맞춘 운전방식이다. 냉동기우선 운전은 주간 냉방부하중의 일정량을 냉동기로 담당하며 기타 부족한 부분을 축열조에서 이용하는 운전방식이며, 축열조우선 운전은 주간 냉방부하중의 일정량을 축열조로 담당하며

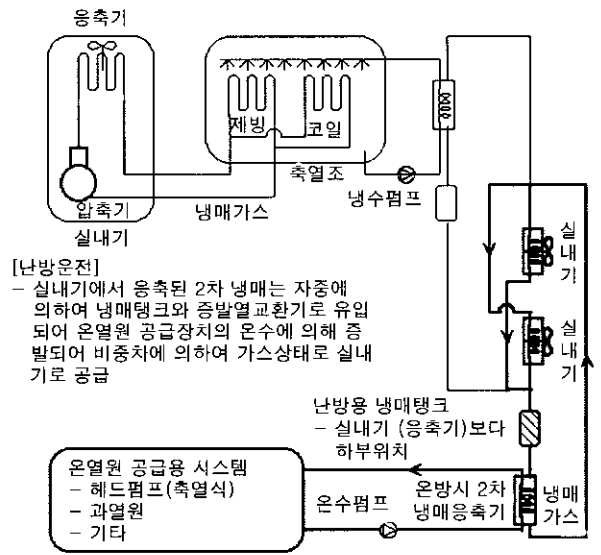
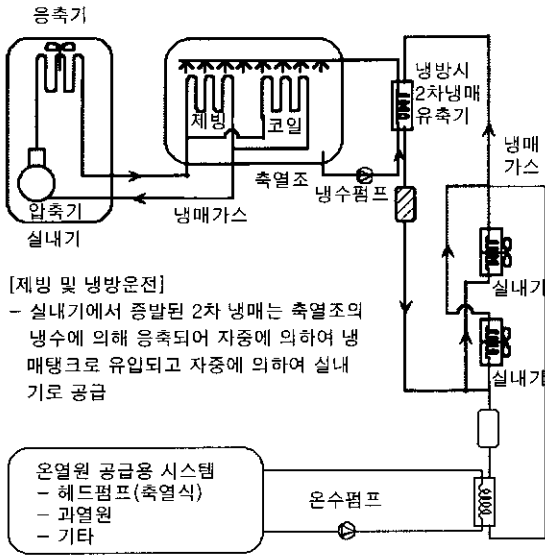
기타 부족한 부분을 냉동기를 이용하는 운전방식이다. 냉동기상류 운전은 부하측 열교환기를 통과하여 온도가 높아진 브라인(또는 물)을 냉동기를 통과시켜 온도를 어느 정도 낮춘 후에 축열조를 통과시켜 최종적으로 온도를 낮추어 부하측으로 공급하는 운전방식이며, 냉동기하류 운전은 부하측 열교환기를 통과하여 온도가 높아진 브라인(또는 물)을 축열조를 통과시켜 온도를 어느 정도 낮춘 후에 냉동기를 통과시켜 최종적으로 온도를 낮추어 부하측으로 공급하는 운전방식이다. 그리고, 운전방법을 축열조에 저장된 열을 어떻게 이용하느냐에 따라 분류하면 직접이용방법과 간접이용방법으로 구분할 수 있다. 직접이용방식은 축열조에 저장된 열을 부하측을 순환하는 물 또는 브라인을 이용하여 녹여 직접 냉방에 이용하는 방법으로, 국내에서 적용되고 있는 빙축열시스템은 모두 이 방식을 사용하고 있다. 간접이용방식은 주로 일본에서 적용되고 있는 방법으로, 축열조에 저장된 열량을 주간에 운전되는 냉동기의 응축기 또는 과냉각기의 냉각열원으로 이용하여 냉동기의 효율을 향상시켜 이용



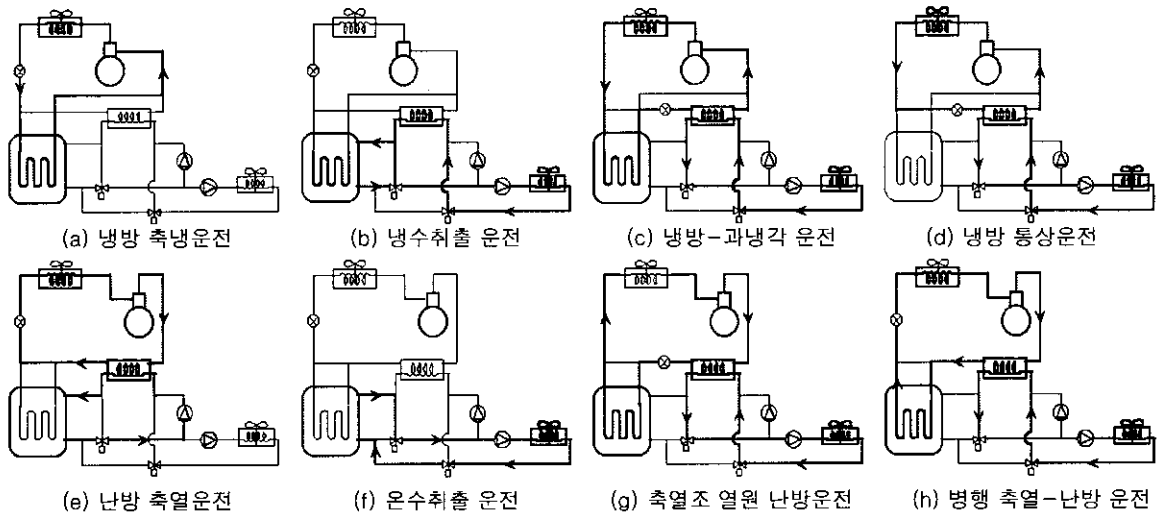
[그림 6] 냉동기 상류운전과 냉동기 하류운전의 시스템 구성 비교



[그림 7] 축열조를 냉매의 냉각열원으로 이용하는 예, 일본



[그림 8] 축열조를 2차냉매 (냉매자연순환시스템)의 냉각열원으로 이용하는 예



[그림 9] 축열조를 다양한 방법으로 이용하는 예, NHK 기보

하는 방법(그림 7), 부하측으로의 순환매체를 별도의 2차 냉매를 사용하며 이 2차 냉매의 응축열원으로 축열조의 저장 열량을 이용하는 방법(그림 8) 등이 있다.

이와 같은 간접이용방식은 냉동기를 단순히 냉방용으로

로 사용하기보다는 냉방, 난방 및 급탕을 겸한 히트펌프로 이용하는 경우에 다양한 운전환경에 효율적으로 적용하기 위하여 개발된 측면이 강하며, 실제 운전에서는 직접운전방식과 간접운전방식을 병행하여 사용하는 경우

(그림 9)가 많다.

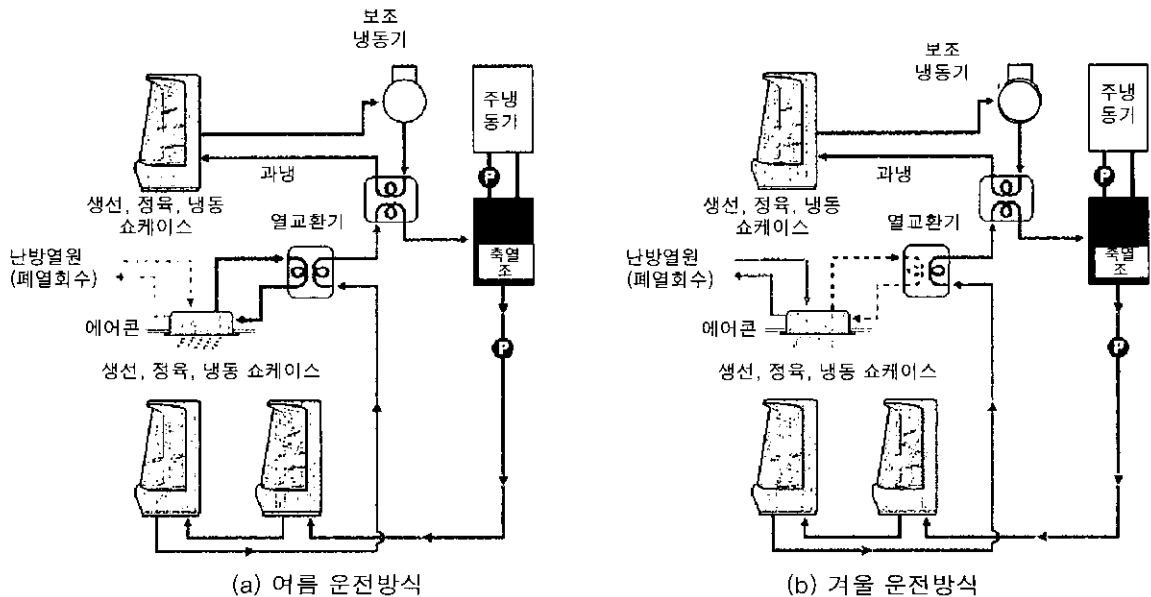
이와 같이 다양한 운전방식이 존재하지만 각각의 운전 방식은 나름대로의 특징을 갖고 있으며, 적용하고자 하는 건물의 부하특성, 냉방시스템 특성, 적용되는 전력의 종류 및 요금 등등에 따라 장단점이 다르게 나타날 수가 있어 일률적으로 어느 운전방식이 더 우수하다고 단정할 수는 없다. 따라서 빙축열시스템의 운전방식은 적용하고자 하는 건물의 부하특성, 냉방시스템의 특성, 적용되는 전력의 종류 및 요금 등을 종합적으로 고려하여 적절한 방식을 선택하여야 하며, 위에서 언급된 여러 가지의 운전방식들을 복합적으로 사용하기도 한다.

빙축열시스템의 기타 응용분야

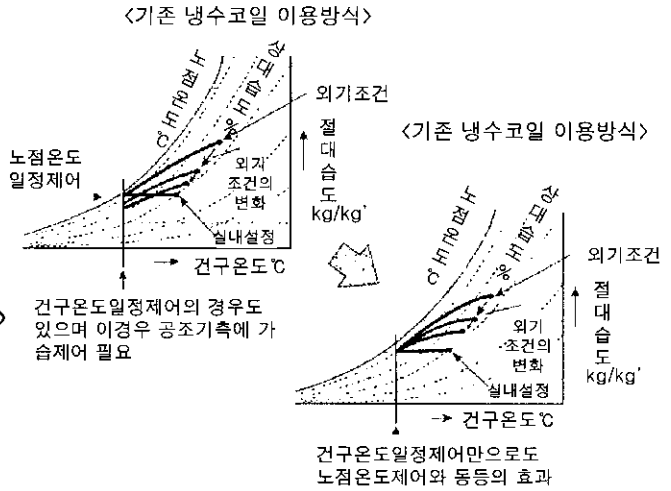
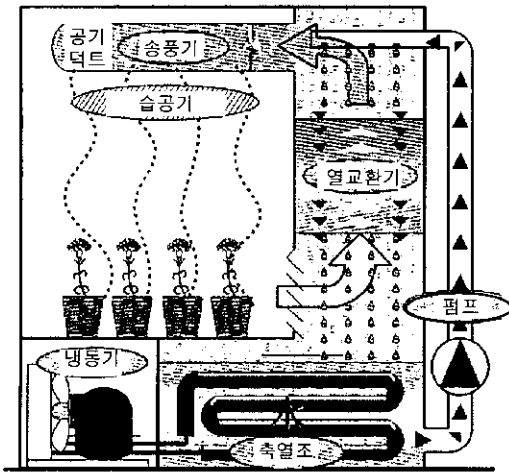
빙축열시스템의 가장 큰 용도는 건물 냉방용이지만, 심야전력 요금제도를 이용하여 사용자의 운전비용을 절감하거나, 일정한 온도를 유지시켜주어 생산 제품의 품질

을 향상시켜 고부가가치화 하는 등의 차원에서는 그 응용분야를 각종 산업 및 상업분야에서 다양하게 찾을 수 있다. 빙축열시스템을 이용한 건물 냉방용 이외의 응용 분야는 현재까지 국내에서는 거의 적용되지 않고 있으나, 빙축열시스템을 다양하게 적용하고 있는 일본에서는 여러 가지의 적용 사례가 발표되고 있다.

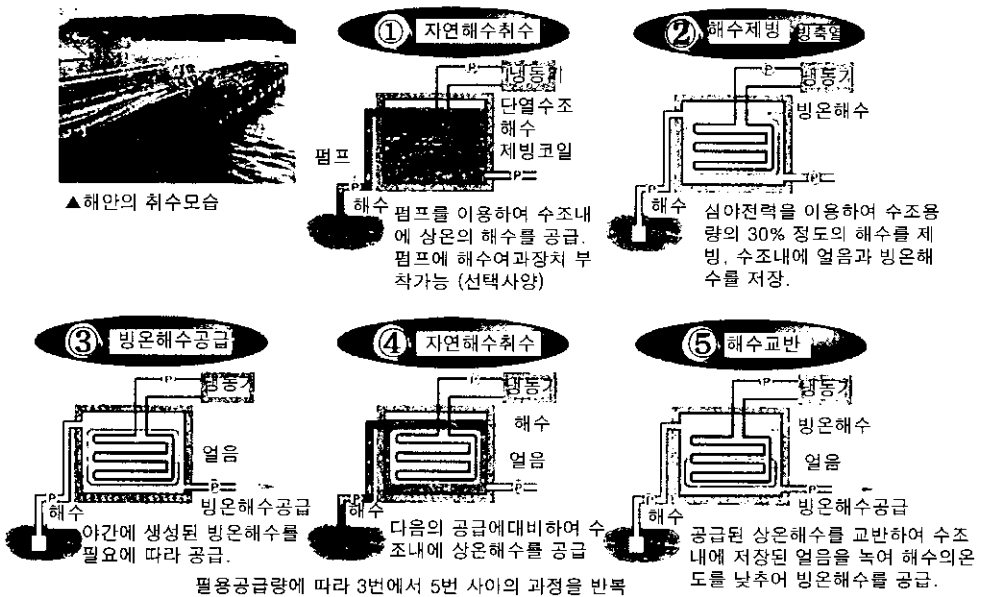
산업용예의 응용은 각종 냉각수 공급시스템에의 적용을 대표적인 예로 들 수 있다. 단순히 냉각탑을 운전하여 냉각수를 공급하는 경우에는 빙축열시스템의 도입이 시설투자비 및 운전비용면에서 매우 불리하게 되어 적용이 곤란하지만, 냉각수의 온도가 낮아 냉동기를 운전하여야만 하는 경우에는 적절한 시스템 및 운전방법의 선정을 통하여 경제성을 확보할 수 있으며, 냉각수의 온도를 항상 일정하게 유지하여 생산제품의 품질을 향상시키는 효과를 거둘 수 있다. 현재 국내에서도 일부 대기업을 중심으로 원가절감 차원에서 빙축열 또는 수축열시스템을 냉각수시스템에 적용하기 시작하였으며, 많은 기업에서



[그림 10] 빙축열시스템을 쇼-케이스에 적용한 예, 일본 YAMATO



[그림 11] 빙축열시스템을 꽃저장고에 적용한 예, 일본 동양열공업



[그림 12] 빙축열시스템을 수산물양식장에 적용한 예, 일본 MITSUBISHI

타당성을 검토하고 있다. 그리고, 일정한 온도에서 매우 큰 냉각열량을 필요로 하는 산업 공정용 냉각수시스템의 경우, 슬러리형 빙축열시스템의 빠른 해빙속도 및 슬

러리 직접반송 특성을 적절히 활용하면 매우 큰 효과를 거둘 수 있다. 그러나, 슬러리 직접 이용의 경우 부하측에 공급되는 슬러리의 온도가 일반적으로 0℃ 이하이므

로, 높은 온도대의 냉각수가 요구되는 경우에는 적용이 수월하지 않으며, 슬러리 직접반송에 대한 충분한 연구가 수행되지 못한 관계로 실제 적용 사례는 매우 적다. 빙축열시스템의 또 다른 산업용 적용 예로는 화력발전시설의 터빈에 공급되는 연소용 공기의 온도를 낮추어 발전 효율을 향상시키는 터빈 입구 공기 냉각 시스템을 들 수 있다.

산업용에의 응용은 각종 저장시설에의 적용을 대표적인 예로 들 수 있다. 일반적으로 5℃ 이상의 냉장온도가 요구되는 냉장시설에는 빙축열시스템의 적용이 무난하며, 슈퍼마켓의 쇼-케이스(그림 10), 꽃 저장고(그림 11), 냉장창고 등에의 적용이 활발히 추진되고 있다. 0℃ 이하의 온도가 요구되는 냉동 저장시설에는 물을 축열매체로 이용하는 빙축열시스템은 제빙온도가 0℃ 이어서 적용이 불가하지만, 물에 적절한 첨가제를 추가하여 제빙온도를 0℃ 이하로 조절한 시스템은 일부 적용이 가능할 것으로 판단된다. -10℃ 이하의 저온 냉동창고에는 첨가제를 추가하여 제빙온도를 낮춘 빙축열시스템 보다는, 낮은 온도대의 상변화 온도를 갖는 잠열축열식시스템의 적용이 더 효과적일 것으로 판단된다.

농수축산업에의 응용은 가장 적극적으로 타당성이 검토되고 있는 분야로, 고급 야채류, 버섯류 및 화훼류의 재배시설에 대한 냉방, 수산물 양식장의 냉각(그림 12), 축사 냉방 및 축산물 가공시설의 냉방, 농수축산물의 냉장 저장 및 유통시설, 농수산물의 냉풍건조시설 등등 매우 다양한 분야에 적용되고 있으며, 매우 활발한 연구가 진행되고 있다.

빙축열시스템의 응용분야 확대를 위한 제안

빙축열시스템의 적용여부에 대한 판단은 적용분야의 특성보다는 심야전력제도에 따른 혜택이 훨씬 큰 비중을 차지하고 있다. 현재 국내에서 적용되고 있는 심야전력

제도는 하절기 주간 냉방용 전력수요의 심야이전에 초점을 맞추어, 건물 냉방용에 국한하여 매우 큰 혜택(값싼 심야전력요금, 지원금 등)을 주는 제도로 운영되고 있다. 따라서 주간 건물 냉방용 이외의 응용분야에 대해서는 현재까지 명확한 지원제도의 규정이 없는 상태이며, 한국전력공사의 민영화 추진에 따라 심야전력제도의 확대적용에 대한 적극적이고 종합적인 검토가 지연되고 있어, 빙축열시스템의 다양한 응용분야에 대한 적용이 실질적으로 추진되지 못하고 있는 실정이다.

심야전력제도는 전력을 생산 및 공급하는 전력회사 차원의 문제라기보다는 전력수급의 안정, 발전시설의 효율적 운전, 국가 전체적인 에너지의 효율적 이용 및 환경문제에 대한 대응 등의 국가적인 관점에서 검토 및 추진되어야 할 사항으로 판단된다. 따라서 정부의 관련부처가 주도적으로 추진하여 정부, 전력회사, 산업계, 학계 및 연구소 등이 종합적으로 참여하여 중장기적인 국가 전력수급정책을 수립하고, 이에 따른 심야전력제도의 중장기적 방향을 시급히 제시하여야 한다. 빙축열시스템 등의 심야전력 이용 축냉기기는 앞에서 언급한 바와 같이 심야전력제도의 혜택여부 및 정도에 따라 적용여부를 판단하게 되는 특성을 갖고 있으며, 따라서 중장기적인 심야전력제도의 방향이 수립되면 이에 따라 적절한 응용분야 및 시스템 응용기술 등이 개발될 수 있다.

끝으로, 빙축열시스템을 비롯한 심야전력 이용 축냉시스템의 보급이 확산되기를 기대하며, 이를 위하여 응용분야 확대를 위한 각종 기초연구(각종 응용분야에 대한 축냉시스템 적용 타당성 연구 등)가 활발히 추진될 수 있도록 정부 및 한국전력공사의 적극적인 지원을 부탁드립니다. 원고 내용 중에 사용한 각종 분류 명칭 중의 일부는 외국의 자료를 번역하는 과정에서 국내에서 통용되는 용어가 없는 관계로, 저자의 개인적 판단에 따라 명칭을 정한 점을 양해해 주시기 바랍니다. (㉞)