

# 에너지 절약형 농산물용 저온설비



이 성 주

## 머리말

**동**냉장 설비에서의 에너지 절약은 그 설비의 계획 초기부터 에너지를 절약 할 수 있는 사항에 대해 자세히 조사할 필요가 있다. 특히 저장되는 식품의 종류, 저장량, 연간 입 출고량, 그에 따른 연간 시간대별 열 부하의 변동, 외기의 연간 변화 추이 등을 고려하여 냉동 사이클을 결정해야한다.

냉장고는 늘 호흡을 하게 마련이다. 실내를 저온으로 유지하려면 당연히 냉각기의 표면온도는 빙점 이하로 운전되기 때문에 빈 창고를 처음 운전 할 때는 냉각기의 입 출구 온도차가 커지므로 실내의 공기를 급속히 수축시킨다. 이때 밀봉이 허술한 냉장고의 문틈으로 상당량의 외기가 흡입된다. 또한 냉각기의 표면 온도는 실내 공기 설계온도보다 10~15°C 낮게 운전된다. 이와 같이 일반적인 냉장고는 하루에 4회 내지 8회의 서리를 제거하기 위한 가열 운전이 10~30분간씩 일어난다. 이때마다 실내공기는 팽창하여 문틈으로 누설되어 많은 양의 에너지를 낭비하는 결과를 초래한다. 냉동 냉장 설비의 에너지 절약은 건축물의 단열, 방습, 밀봉에 관한 사항뿐만 아니라 적재 용적률의 극대화, 부하에 따른 냉동기의 대수제어 시스템 도입 등이 에너지절약 설계의 기본이 된다. 더불어 국제 원유가격의 상승으로 인한 전력요금의 상승은 저장고 운영의 채산성을 악화시킨다. 이를 극복할 수 있는 방법은 심야 전기를 활용하는 것이다. 본 고에서는 농산물의

냉장설비를 기본으로 에너지 절약의 기본 사항을 소개하고 아울러 심야 전기를 이용하는 저온 PCM 축열 방식을 소개하도록 한다.

## 농산물의 냉장설비

요즈음 농산물의 저온 저장 시스템은 저온(0°C)에서 높은 습도(90%이상)를 요구하는 경우가 많아졌다. 대부분의 농산물은 저온에서 고 습도를 유지해야만 선도를 유지할 수 있으며 중량의 감소를 줄일 수 있다. 저장물의 불량률을 감소시킨다는 것은 냉장효율을 높이는 결과를 가져오므로 에너지 절약과 밀접한 관련이 있다. 저온에서 고 습도를 유지하려면 냉각기의 표면 온도를 요구 습도 조건에 따라서 생각대로 변화시킬 수 있어야 한다. 우리나라의 농산물 저온 저장고는 거의 모두 직접냉각 방식을 사용하고 있다. 이 경우 고내 설계온도와 냉각기 표면 온도와 차가 일반적으로 10~15°C정도이며 고내 상대습도는 68%정도 유지된다. 일일 제상주기는 6회 이상 되므로 제상주기 때마다 고내 기압상승으로 공기의 누설이 빈번해져 과도한 에너지를 소모하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 실내의 제상주기를 최소화해야 하므로 직접냉각 방식을 간접냉각 방식으로 하고 고내 온도와 냉각기 표면 온도차를 가능한 한 최소화해야 한다. 설계시 기준 온도차는 약 3.5°C로 한다. 제상방식은 물론이다. 이렇게 하면 저온에서 고습도를 유지할 수

에너지 절약형 냉동 냉장설비

있고 제상주기는 하루에 1~2회로 줄어든다. 또한 냉각기의 입 출구 온도차가 작아져 상층부에 적재된 농산물의 냉해를 예방할 수가 있어 저장 손실을 3%이하로 줄일 수 있다.

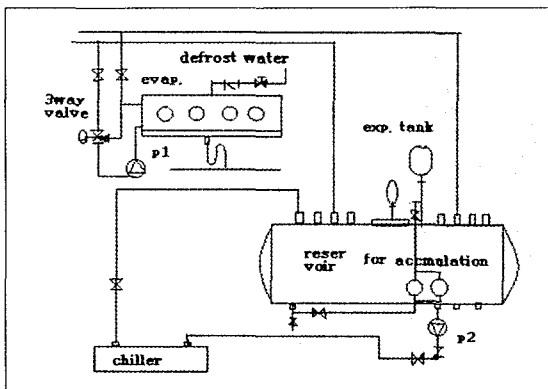
간접냉각방식

냉매를 고내의 냉각기로 직접 보내어 액 냉매의 증발잠열을 이용하는 직접냉각 방식은 냉매의 증발온도를 마음대로 변화시키기가 어렵다. 그러므로 냉동기로 2차 냉매인 브라인을 -7°C 정도로 낮추어 냉각기로 보내서 냉각시키는 시스템이다.

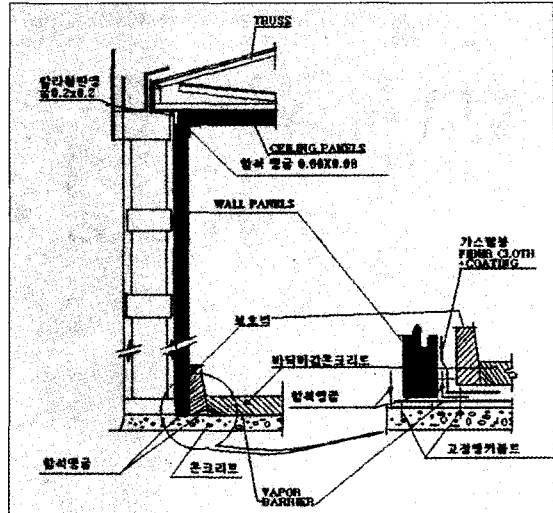
<그림 1>에 나타낸 것과 같이 브라인 칠러는 브라인 저장탱크내의 브라인을 펌프(p2)로 순환시켜 계속하여 냉각을 시킨다. 냉각된 브라인은 냉장고 내부에 설치된 냉각기(evap.) 까지 공급되며 냉각기에 설치된 펌프(p1) 와 3방 밸브로 냉각기의 표면온도를 제어하게 된다. 즉 열원 설비인 저온용 냉동기는 브라인 탱크의 온도에 따라 운전이 되므로 냉장고의 부하에 따른 자동운전이 가능해져 에너지 절약 운전 모드(mode)를 쉽게 구성할 수 있다.

건물의 단열 및 밀봉

앞 단원에서 설명한 것과 같이 온도차로 인한 기압의 변동은 건물자체에 충격을 가할 뿐만 아니라 누설로 인한 에너지의 낭비가 된다. 즉, 1°C



<그림 1> 간접냉각 시스템의 기본 구성



<그림 2> 에너지 절약형 냉장고의 단열 및 밀봉 시공예

의 온도 편차는 37 mmH<sub>2</sub>O에 해당하는 압력이 되며 냉장고 벽면의 단위면적(1m<sup>2</sup>)당 37kg의 힘으로 작용하게 된다. 그러므로 건물의 단열 및 밀봉 설계시에는 이점을 특별히 감안해야 할 것이다. 다음 <그림 2>에 패널 공법의 냉장고 단열 및 밀봉 예를 나타내었다. 냉장고의 문짝은 가장 누설이 많이 생기는 부분이다. 가능한 한 문턱이 없는 미닫이형의 문을 설치하되 누설이 없는 구조의 것을 선택해야 한다. 그림 2에 나타낸 시공 방식의 특징은 벽체와 천정의 이음매, 바닥과 벽체의 이음매 부분의 처리가 중요하다. 특히 일반 콘크리트 바닥은 가스가 투과하기 때문에 비닐이나 이스팔트 루핑 등으로 밀봉 처리한 후 마감 콘크리트로 처리하는 것이 좋다.

냉동기의 선정 및 시스템의 구성

예를 들어 사과, 배 등의 과일을 저장하는 냉장고는 한방의 크기를 약 50평 규모로 10칸을 만든다고 가정을 하여 창고의 높이를 7 m로 하였다. 한 칸의 최대 수용량은 220톤 정도가 되므로 최대 저장용량은 2,200톤이 된다.

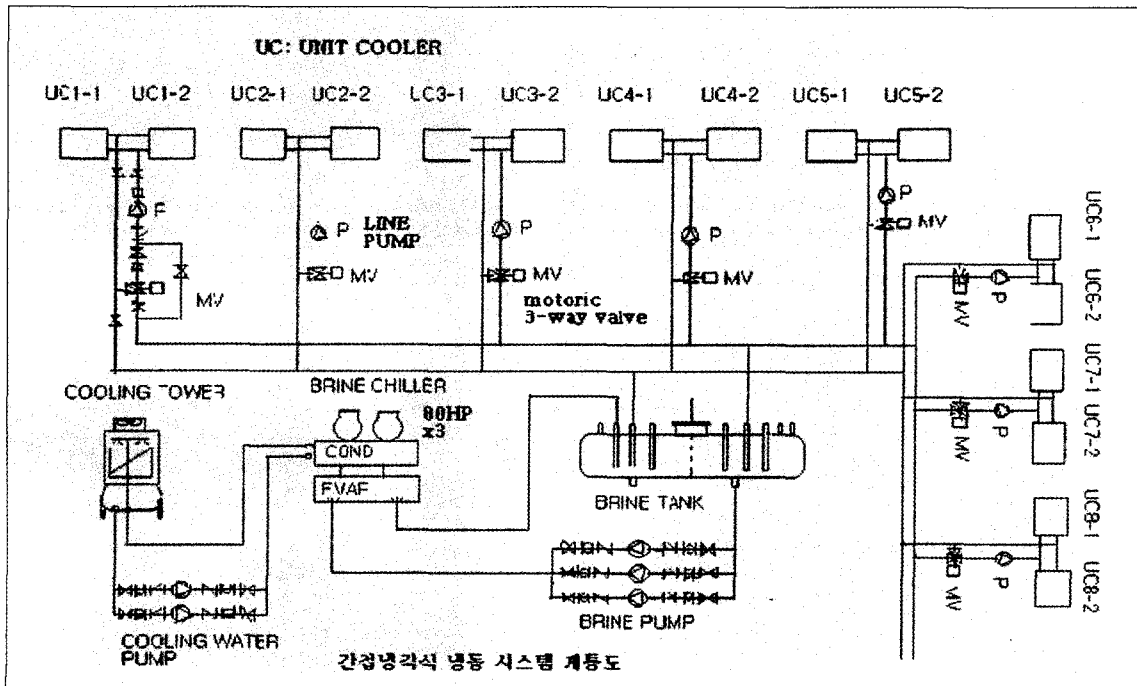
총 냉각부하는 330,000 kcal/h 이므로 -7°C 브라인 출구 온도에서 이 능력 이상의 냉각능력을

에너지 절약형 냉동 냉장설비

보유한 냉동기를 선정한다. 에너지 절약을 위한 냉동기의 운전은 연간 저장되는 과일의 외기 온도 변화에 따른 냉각부하의 변화율을 고려하여 냉동기의 운전대수를 정한다. 이런 경우 과일 수확 후 입고시의 호흡열을 제한된 시간 내에 제거해야 저장품질을 좋게 유지할 수 있게 된다. 그러므로 냉동기의 부하가 최대로 걸리는 시기는 수확 후 입고되는 기간이다. 저장된 과일의 온도를 0°C로 저하시킨 다음의 냉각부하는 40~50% 정도로 줄어들게 된다. 연간 출하 계획에 따른 냉각부하는 최종 출하 계획에 따른 저장량 및 운영되어야 할 방의 수를 정하여 최소냉동부하를 산출한다. 경험상으로 -7°C에서의 냉동능력이 약 120,000 kcal/h인 80 Hp 3대를 설치한다.

저장초기에 냉동기는 80 Hp 3대가 모두 운전되며 10칸의 냉장고가 모두 채워지는 1~2개월간은 전부하로 운전된다. 그 다음부터 냉동기는 부하에 따른 압축기 대수제어에 들어가게 된다. 에너지 절약을 고려하여 압축기는 부분부하 특

성이 탁월한 스크루형을 선정하는 것이 좋다. 한대의 냉동기가 40 Hp 압축기 2대씩 설치되므로 이와 같은 경우에는 총 6대의 압축기를 운전하게 된다. 각 방에는 2대씩의 브라인용 유닛 쿨러를 설치하여 입 출구 공기의 온도차를 작게 유지할 수 있도록 한다. 입 출구 공기의 온도차가 작으므로 풍량이 많아지게 되고 상단부에 적재된 과일은 냉해를 입을 염려가 없어진다. 또한 대온도차 시스템에서는 풍량이 작고 출구공기 온도가 너무 낮아 덕트를 설치해야만 되었다. 그러나 이번에 선정된 간접냉각 방식에서는 덕트를 설치할 필요가 없다. 각 방의 온도 및 습도를 정밀하게 제어하기 위하여 3방 혼합 밸브를 <그림 1>과 같이 설치한다. DDC(Direct digital control) Controller 를 활용하여 각 기기별 제어의 연산기능 및 PID(비례+적분+미분) 제어기능을 적용하는 것이 좋다. 또한 통신기능이 있으므로 개인용 컴퓨터와 연결하여 중앙에서 원격 제어 및 감시 시스템을 도입한다. 장비의 자가 진단



<그림 3> 간접 냉각식 냉동 시스템의 구성예

에너지 절약형 냉동 냉장설비

프로그램이 각 DDC Controller에 내장되어 있으므로 시스템내의 고장으로 인한 경보 신호가 발생하면 운전자의 휴대폰으로 자동연결 되는 방식을 채택한다. 냉동기 고장시에는 메이커에서 컴퓨터 통신을 통하여 냉동기와 통신이 가능하므로 원격지에서 고장 진단이 가능토록 한다.

〈그림 3〉에 개략적인 시스템을 나타내었다. 브라인 순환 펌프는 50% 정격의 것을 3대로 설치하여 전부하 운전시에는 2대를 병렬로 운전하고 한대는 예비용으로 활용한다. 부하가 50% 이하인 경우에는 1대만을 운전한다. 각 방마다 설치된 라인 펌프는 실온에 따라서 운전되도록 구성한다.

저온 PCM 축열방식

저온 축열용 상 변환 물질

공조용으로 이용되는 빙축열 시스템은 빙점이 -0℃에서 동결하게 된다. 얼음 1 kg의 용해 잠열은 약 80kcal 이다. 물은 단성분 물질이므로 일정한 상변환 온도와 잠열량을 갖고 있다. 그러나 저온용 상변환 물질은 2가지 이상의 혼합물로 구성된다. 공융점(Eutectic Point)을 갖는 2가지 이상의 혼합물로 구성된다. 공융점(Eutectic Point)을 갖는 2가지 이상의 혼합 또는 화합물질은 공융액(Eutectic Solution) 이라 한다. 생산기술연구소에서는 수많은 공융액 중 다음 〈표 1〉에 나타낸 것과 같은 공융액을 발표 하였다.

상기 내용중 농산물용 저온 창고에 주로 사용될 공융액은 A19와 A14 가 될것이다. 저온용 PCM으로 A19를 선정하는 경우 1 kg당 잠열량은 64 kcal이므로 대표적인 잠열재인 물에 비하여 20% 정도 열량이 저하한다. 상 변환은 하루에 두번씩 일어나므로 상 변환 수명을 최소한 1800 사이클 이상 보증이 될 수 있는 공융액을 사용하지 않으면 안된다. 그 밖의 공융액의 기본 조건은 과냉각 (super cooling) 현상이 작아야 냉동기의 효율을 좋게 유지할 수 있고, 가격이 저

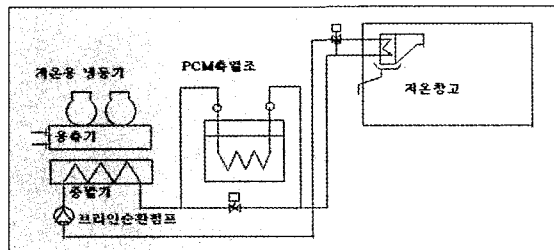
〈표 1〉 최종 선정된 공융액의 상변환 온도 및 잠열량

공융액명	상변환온도	잠 열 량	비 고
A7	0℃	79.0cal/g	물+조핵제
A18	-4℃	74.3cal/g	2 component
A19	-10℃	64.1cal/g	3 component
A14	-12℃	67.8cal/g	3 component
A11(1)	-26℃	54.7cal/g	3 component
A11(2)	-26℃	51.5cal/g	3 component
A11(3)	-26℃	49.5cal/g	3 component
X1	-26℃	36.2cal/g	수입품

렴하고 독성이 없어야 한다. 또한 환경 친화적인 물질이어야 하며, 부식성이 없고 화학적으로 안정된 물질이어야 한다.

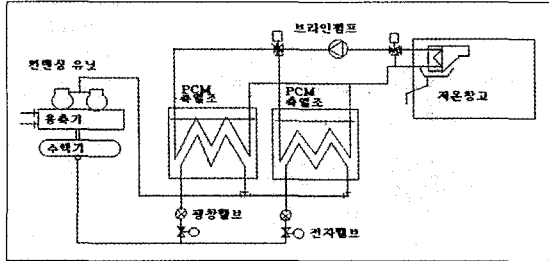
축열조의 형식

축열조는 일반적인 간접냉각 방식의 냉장고에서는 브라인을 순환시키는 방식을 채용하기 때문에 빙축열 시스템에 주로 활용되는 관의 착빙형을 사용하는 것이 적당하다. 사용되는 튜우브는 직경이 대략 6 mm 정도인 소형 튜우브를 사용하여 단위 용적당의 전열면적을 최대가 되도록 하면 축열 및 방냉 효율이 좋아진다. 기존의 간접 냉각방식을 적용한 농산물용 냉장설비는 그 저장 용량이 최소한 2,000톤 이상인 시스템에 적용되는 경우가 대부분이다. 그 이하의 소형 냉장설비에서는 냉매 직접 팽창식 시스템을 적용하여 잠열 교환용 튜우브의 내부로 브라인 대신 냉매를 흘려 축열 및 방열이 이루어지도록 설계한다. 이해를 돕기 위해서 간단한 시스템 계통도를 〈그림 4〉 및 〈그림 5〉에 각각 나타내었다.



〈그림 4〉 간접냉각방식에서의 PCM축열 시스템 응용예

에너지 절약형 냉동 냉장설비



〈그림 5〉 직접팽창식 PCM축열 시스템 응용예

맺음말

에너지 절약형 냉동 냉장설비 중 가장 에너지를 많이 소비하는 냉동기의 압축기 자체만의 효율이 좋은 것을 사용한다고 운영시스템 전체의 효율이 좋아지는 것이 아니다. 농,수,축산물로 구성된 먹거리의 생산에서부터 소비까지의 모든 계통이 콜드 체인이라 말한다. 콜드체인의 중추

적인 역할을 하고있는 냉동냉장설비의 에너지 절약은 최적화된 합리적인 운영시스템이 구축이 선행되어야만 가능해진다. 예를 들면 농산물용 냉장고의 저장물을 적재하는 용기를 팔레트(pallet) 상자라고 한다. 구미 각국에서는 창고의 높이를 7~10m로 하고 저장물을 담은 용기는 300kg을 기본으로 한다. 반면에 우리나라의 경우는 35kg들이 플라스틱 용기를 사용하므로써 단위 용적당의 농산물의 저장량을 유럽에 비해 30~40%작게 운용하고 있는 것이 현실이다. 즉 유통용 적재 상자의 합리화 또한 냉장 냉동설비의 에너지를 간접적으로 지원하는 요소가 되는 것이다. 우리가 풀어나가야 할 과제는 냉동 냉장설비 자체만이 아니라 먹거리의 유통 시스템의 근본적인 문제점들을 파악하여 개선하므로서 진정한 의미의 에너지가 절약될 수 있는 시스템을 만들어 가야 할 것이다. ㉟