

## 제 1 장 냉동의 원리

### 1-1 냉동의 원리

### 1-2 냉동작용의 원리

### 1-3 냉동의 방법

#### 1-1 냉동의 정의

냉동이란 어떤 물체나 공간의 열을 인위적으로 빼앗음으로 해서 주위의 온도보다 낮은 온도로 하고, 또 그 저온을 유지하는 것을 말한다. 따라서 뜨거운 커피를 식힌다든지, 자동차의 라디에이터를 식히는 조작과 같이 주위의 상온보다 높은 온도의 물체를 주위의 상온까지 온도를 내리는 것은 냉동이라고 말하기보다는 냉각이라고 하는 것이 합리적이다. 냉동의 대상이 되는 물질로서는 농, 수, 축산물이 될 수 있고, 공산품이 될 수도 있으며, 유체가 될 수도 있다. 또 직접적으로 이러한 물건을 냉각하기 어려운 경우에는 소위 "브라인"을 냉각하여 이것으로 하여금 목적으로 하는 물체를 냉각하는 방법도 있다.

#### 1-2 냉동작용의 원리

땀흘린 후 바람을 맞으면 시원함을 느낀다. 이것은 땀이 증발하면서 증발열을 몸으로부터 가져가기 때문인데 액체상태에서 기체상태로의 상변화 시에 필요한 열을 증발하지 않은 액체에서 가져가고 그 액체는 그만큼의 열을 피부로부터 보상을 받는 것이다. 이런 현상은 땀, 물 뿐 아니라 모든 액체가 증발하여 기체로 될 때도 필요한 것이다. 물론 냉동장치에는 암모니아나 CFC, HFC, HCFC 계 액체 냉매를 사용한다. 이 액체들은 상온에서는 기체이며  $-30^{\circ}\text{C}$  범위에서 증발한다. 냉동기는 이러한 액체 냉매를 냉각관내에서 증발시킴으로 해서 관을 냉각시키고, 냉각된 관이 주위의 공기나 어떤 물질을 냉각하는 장치이다. 액체의 증발열을 이용한 이용하는 방법 이외에 얼음의 용해열이나 드라이아이스의 승화열을 이용하는 방법도 있으며, 증기의 팽창을 이용하는 방법, Peltier의 효과를 이용하는 방법 등이 있다. 물론 이 중에서 공업적으로 가장 많이 사용하고 있는 방법은 증발열을 이용하는 것으로서, 증기압축식 냉동법(압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성), 흡수식 냉동법 등이 여기에 속한다.

#### 1-3 냉동의 방법

냉동작용을 얻는 방법에는 용해, 승화, 증발 등의 물리적 자연현상에 의한 흡열작용을 이용하는 소위자연냉동(natural refrigeration)

과 기계적인 일이나 열에너지를 소비하여 저온의 물체에서 열을 뽑아서, 열을 주어도 지장이 없는 고온구역으로 열을 방출시키는

기계냉동(mechanical refrigeration)으로 나눌 수도 있으나 다음의 네 가지로 나누고 있다.

## 1) 얼음, 드라이 아이스를 이용하는 방법

### (1)얼음

가정에서 아이스박스에 얼음을 넣어 냉동작용을 얻는 것은 가장 간단한 냉동방법의 하나로, 이것은 얼음의 용해열을 이용한 것이다.

이는 대기압 하에서 얼음은 0℃에서 용해하고, 이 때 얼음이 녹으면서 1kg 당 79.6kcal 의 열을 주위로부터 흡수하는 것을 이용하는

것인데, 얻을 수 있는 최저온도가 0℃이다. 따라서 고내의 온도가 높다는 단점이 있으나 고내의 습도가 아주 높으므로 식품의 건조가 늦다는 특징이 있다.

얼음에 식염을 적당량 혼합하면 -20℃ 정도의 저온을 얻을 수 있는데, 이때 소금을 기한제라고 한다. 소금과 얼음의 혼합물이 낮은

온도를 만들어내는 이유는 소금이 얼음을 빨리 녹게 하고 이 때 필요한 용해열을 다른 곳에서 흡수하기 때문에 주위 온도가 0℃ 아래로

떨어지는 것이다. 이 방법을 사용하면 얼음을 빨리 소모하게되고 따라서 얼음을 계속 보급하여야 하는 단점이 있다. 이러한 결점에도

불구하고 오랫동안 얼음은 유일한 냉각수 단이었으며, 지금도 야채나 과일, 생선, 낙농식품, 음료수 등의 일시적 보관용으로 널리 사용되고 있다.

### (2)드라이아이스(dry ice)

대기압 하에서는 드라이아이스는 -78.3℃에서 승화한다. 이 때 물 1kg 당 137kg 에 해당되는 열을 주위에서 흡수하므로, 이 열을

냉동작용에 이용하는 것인데, 승화된 가스가 0℃까지 상승할 동안에는 다시 15kcal/kg 의 열을 더 주위로부터 흡수하게 된다. 얼음을

이용하는 경우와 마찬가지로 이러한 경우에도 주위로부터 승화열을 빨아들임과 동시에 점점 소모되어 버리므로, 연속적인 냉동작용이

필요한 경우에는 미리 적당량을 준비하여 두거나 부하에 따라서 정량을 계속하여 보충시켜 주어야 한다. 그러나 얼음의 경우와는 달리

열을 흡수하고 생기는 부산물은 증기가 되어버리므로(승화), 액체의 상태를 거치지 않는다. 이렇게 승화된 기체는 공기와 대치되므로

식품의 경우는 산화를 지연시켜 그 신선도를 유지해 준다.

## 2) 압축가스를 팽창시키는 방법

지구를 둘러싸고 있는 대기는 해면에서부터 1000m 상승함에 따라 온도가 6℃정도씩 하강한다. 이는 기압의 저하에 따른 기체의

팽창에 의한 것이다. 이러한 원리를 이용하면 냉동작용을 얻을 수 있으며, 공업적으로 액체공기를 제조하는 방법도 이러한 원리를 이용하는 것이다. 이 방법의 특징은 공기사이클 시스템에서와 같이 응축이나 증발과 같은 상태변화(phase change)가 없다는 것이다. 그리고 작동유체인 공기의 공급에도 아무런 제한이 없다. 이 장치의 개략도는 아래 그림과 같다.

그림에서와 같이 압축기에서 고온, 고압으로 압축된 공기는 냉각기에서 냉각되어 팽창기로 들어간다. 여기서 압력이 저하됨과 동시에 온도가 저하하게 되고, 이렇게 저온으로 된 공기를 냉동에 이용하는 것이다. 냉동효과에 비해 많은 동력이 필요하여 열효율이 나쁜 것이 이 장치의 최대 결점이나, 구조가 간단하여 고장도 없고, 또 손쉽게 냉난방이 가능하기 때문에, 효율이 문제가 되지 않는 특수한 곳, 즉, 엔진용의 압축공기를 이용할 수 있는 항공기와 같이 압축공기를 별도로 얻을 수 있는 곳에서의 냉난방으로 사용되고 있다.

### 3) 펠티에 효과(Peltier's effect)를 이용하는 방법

종류가 다른 금속 도체의 접합부에 전류를 통하면, 그 전류의 방향성에 따라 접합부에서 열을 흡수 또는 발열이 일어나는 현상은 1834년부터 펠티에 효과로 알려져 있다. 이 원리를 냉동에 이용한 것이 소위 전자냉동 혹은 열전기식 냉동법이다. 일반적으로 전기를 잘 통하는 물질은 열도 잘 통하는 성질이 있으므로 실용화에 어려운 점이 많았으나, 반도체 기술이 발달하고 나서부터 실용화되기 시작하였다. 이 방법은 한 곳에서 열을 흡수해서 다른 곳으로 냉매가 아닌 전기에너지로 열을 옮기는 방법으로서 흐르는 전류의 방향을 바꾸어 놓으면 덥고 차가운 면을 바꾸어 놓을 수 있으므로 냉각뿐만 아니라 가열할 수도 있다. 이러한 원리의 응용은 휴대용 냉장고와 가정용 특수 냉장고, 물 냉각기, 핵잠수함 내의 냉난방장치 또는 컴퓨터나 우주선 등의 특수 전자장비의 어떤 부분을 냉각시키는 데 사용된다. 이 장치는 일반 증기압축식 냉동장치에 있는 압축기, 응축기, 증발기 등이 없을 뿐만 아니라 냉매도 없으며, 움직이는 부품이 없고, 소음이 없다. 또 소형이고 수명은 반영구적이다. 그리고 가격면에서나 효율면에서 단점이 있으나 대형에서부터 소형까지 제작할 수 있으며, 용량도 간단히 조절할 수 있는 장점이 있다.

그림은 전자 냉동장치의 모형을 나타낸 것이다. 그림에서 붉은 색과 푸른색은 반도체 재료의 성질을 말하는 것이다. 또한 반도체 전자가 전류의 흐름에 영향을 받아 어떻게 작용하는가에 따라 양극 또는 음극으로 정해진다. 그림에서 화살표 방향으로 전류를 통과시키면 흡열부는 냉각되고, 발열부는 발열한다. 이러한 경우 전류의 방향을 반대로 하면 흡열면과 발열면은 반대로 된다. 흡열량과

발열량은 전류에 비례하여 크게 된다. 한편 반도체의 전기저항 열량은 전류의 2 승에 비례( $V=IR^2$ )하여 크게 되고, 또 증발면과 흡열면의 온도차에 비례한 열의 이동도 크게 되므로, 결국 흡열 발열 양면의 온도차는 어느 전류값에서 최대로 된다. 따라서 전자냉동에 적합한 재료는 펠티에의 효과에 의한 흡열량이 크고, 열량에 대하여 전기저항이 낮고, 열전도율이 적은 반도체가 바람직하다.

#### 4)증기압축식 냉동장치

액체냉매를 뚜껑이 열린 용기에 넣어 방열된 공간에 방치하면 액체 냉매는 끓으면서 공간으로부터 열을 흡수한다. 이러한 기본적인 원리를 냉동장치에 응용할 수 있다. 증발을 함으로서 실내의 열을 빼앗는 방법 중 가장 간단한 방법은 R-134A(CFC 계 냉매)와 같은 물질이 들어 있는 용기를 그림에 나타낸 것과 같이 잘 방열 된 공간에 용기의 뚜껑을 열어 두어 자연적으로 증발, 방출시킴으로 해서 실내를 냉각시키는 것이다. R-134A 는 표준대기압 하에서 포화온도가  $-26.5^{\circ}\text{C}$  이기 때문에, 이와 같이 낮은 온도에서 증발하면서 용기벽을 통하여 실내 공간으로부터 열을 흡수한다. 물론 용기 속의 냉매액은 증발하는 동안  $-26.5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지되면서 냉매액은 점차 증발하여 배기구를 통하여 대기로 나갈 것이나, 이러한 과정은 용기중의 액이 없어질 때까지 계속 될 것이다. 액의 증발에 의하여 흡수된 열은 증기에 포함되어 배기구를 통해 외부로 떠난다. 그림에서와 같이 냉매의 증발에 의하여 냉동작용이 일어나고 있는 용기를 증발기라고 부르는데 증발기는 기계냉동장치에서 없어서는 안된다.

##### (1)증발온도의 조절

증발기에서 액이 증발하는 온도는 액위에 있는 증기의 압력을 조절함으로써 조절할 수 있다. 바꾸어 말하면 증발기로부터 빠져나가는 증기의 유량을 조절함으로써 조절된다. 예를 들면 배 기관에 밸브를 설치하여 두고 배기관을 부분적으로 닫으면, 증기는 증발기로부터 자유롭게 빠져나가지 못하고 액위에 모이게 될 것이고, 이 것은 또 증발기의 압력을 냉매의 포화온도까지 올리게 된다.

그림에서와 같이 증발기로부터의 증기의 유량을 조절하기 위해 배기구에 밸브를 설치하여 배기밸브를 조절함으로써 액위에 있는 증기압력을 조절할 수 있다. 즉, 냉매 R-134A 를  $-26.5^{\circ}\text{C}$ 와 주위온도 사이의 어떤 임의의 바라는 온도에서 증발시킬 수 가 있다.

배기관을 완전 히 닫아 어떠한 증발기도 증발기로부터 도망가지 못하게 하면 증발기의 압력은 액의 포화온도가 공간의 온도와 같이 되는 점까지 상승하게 될 것이다. 이 때는 온도차이가 없게 되므로, 공간으로부터 냉매로 열이 흐르지도 않을 것이고 증발작용도

일어나지 않을 것이며, 냉각작용도 더 이상 일어나지 않을 것이다.

또 대기압에 상당하는 냉매의 포화온도보다 낮은 증발온도가 요구될 때는 증발기내의 압력을 대기압 이하의 어떤 압력으로 감소시킬 필요가 있다. 이것은 오른쪽 그림에서와 같은 펌프 (증기 압축기)를 사용함으로써 이를 수 있다. 이 방법에 의하여 액체냉매 R-134A 의 증발은 주어진 압력-온도와의 관계에서 알 수 있듯이 대단히 낮은 온도를 얻을 수 있다.

## 2) 증발기의 액량 유지

증발기에서 액이 끊임없이 증발하도록 하기 위해서는 증발기로 끊임없이 액을 공급해주어 액의 양이 일정하게 유지되도록 해야 한다.

증발기에 새로운 액의 공급을 하는 하나의 방법으로 그림에 나타낸 것과 같이 증발기에 프롤루트밸브를 설치하는 것이다. 프롤루트

장치의 작용은 수액기(냉매액 저장통)로부터 증발기로 공급되는 액의 양과 증발기에서 증발되는 액의 비율이 정확하게 일치되도록

증발기에 있는 액의 높이를 일정하게 유지하는 것이다.

증발량이 많아지면 프롤루트가 내려가면서 밸브를 열어 액을 증발기내로 유입시키고 증발이 없으면 밸브를 닫혀지게 하는 방향으로

움직이게 된다. 그리고 증발기에 있는 냉매의 포화온도가 주위의 온도와 같게 되면 액체냉매가 저장탱크나 증발관에서 증발하지

않는다. 그림에서와 같이 프롤루트밸브 즉, 증발기로 흐르는 액체냉매의 유량을 조절하는 장치를 냉매 유량조절장치라고 한다.

냉매유량조절 장치는 어떠한 기계냉동장치에서도 필수적인 부분이다.

## (3) 냉매의 재사용

배기관을 통해 외부로 버리는 것은 대단히 비경제적일 뿐만 아니라, 대기오염의 원인이 된다. 따라서 외부로부터 끊임없이 회수하여

본래의 액상태로 응축시켜 다시 사용하는 방법을 강구하면, 외부로부터 장치 내로 새로운 냉매를 공급할 필요가 없게 될 것이다.

이를 위해서는 증기를 응축시키는 어떤 수단 즉, 냉매증기의 응축(condensing)에 아래 그림과 같은 응축기를 설치할 필요가 있다.

왜냐하면 냉매는 냉동되는 공간으로부터 필요한 잠열을 흡수함으로써 증발기내에서 증발하고, 이러한 증기는 받은 만큼의 열을 다른

물체로 주어야만 액의 상태로 되기 때문이다.

응축기에서 증기로부터 잠열을 흡수하여 응축이 일어나게 하는 물체를 응축매체라고 부른다. 가장 보편적 응축매체는 물과 공기이다.

이 때 물은 수돗물이나 하천수를 직접 이용하거나 냉각탑으로부터의 순환수를 사용할 수 있으며, 공기는 일반적으로 대기를 사용한다.

따라서 증발하는 냉매증기의 온도를 어떤 방법을 사용하여 응축매체의 온도 이상으로 증가시키지 아니하면 냉매증기가 가지고 있는

열이 응축매체로 사용되는 공기나 물로 흐르지 아니한다. 따라서 어떠한 외부열을 가하지 않고 냉매증기의 온도를 이 온도 이상으로 올려야 하는데, 이를 위해서는 그림에 나타난 바와 같이 증기압축기 혹은 증기펌프를 사용하여 냉매증기를 압축하는 방법이 있다.

압축하기 전에 냉매증기는 증발온도와 증발압력의 상태에 있다. 압축하는 동안 증기의 압력은 포화온도가 응축매체의 온도 이상으로 되는 점까지 상승한다. 즉, 기계적인 일이 증기에 가하여짐으로 해서 고압으로 된다. 냉매증기를 압축한다는 것은 냉매가 가지고 있는 열을 농축하는 것과 같으며, 이 때는 열의 강도라고 할 수 있는 온도가 증가하게 된다. 압축 후에 고압, 고온으로 된 증기는 저온의 응축매체로 열을 주는 응축기로 가게된다. 증기는 그 자신의 포화온도 이하로는 냉각되지 않기 때문에, 응축기 내에 있는 냉매증기는 응축이 되어 새로운 고온, 고압의 포화온도에 있는 액으로 될 때까지 끊임 없이 열을 응축매체로 주게 되고, 응축매체는 이 열을 다른 곳으로 옮겨주는 역할을 한다. 응축된 액은 결과적으로 응축증기의 압력과 같게 될 것이고, 응축기로부터 수액기로 흐르게 되어 증발기로 재 순환될 준비를 하게 된다. 이렇게 작동하는 유체, 즉 냉매는 냉동되는 공간이나 물품으로부터의 열을 공간 밖으로 운반하여, 응축기에 있는 응축매체에 열을 방출하는 역할을 한다.

#### (4) 전형적인 증기압축 냉동장치

간단한 증기압축 냉동장치의 개략도는 그림과 같다.

장치의 중요 부분은 ①냉매가 냉동되는 공간이나 물품으로부터 열을 빼앗아 증발하는 증발기, ② 증발기로부터의 저압증기를 압축기의 흡입관까지 옮겨주는 통로인 흡입관, ③ 냉매 증기의 온도와 압력을 응축 가능하도록 높여주고 냉매순환의 원동력인 압축기, ④ 압축기 토출관으로부터 나오는 고압, 고온의 증기를 응축기까지 운반하는 통로인 고온가스관 혹은 토출관, ⑤ 고온의 냉매증기로부터 응축매체로 열전달 표면을 통해 열을 통과시키는 역할을 하는 응축기, ⑥ 응축된 액을 보관하여 필요에 따라서 증발기에 필요한 액을 일정하게 공급해주는 수액기, ⑦ 수액기로부터 냉매유량 조절기까지 액냉매를 운반해 주는 통로인 액관, 그리고 ⑧증발기로 들어가는 냉매액의 유량을 조절하고 액관에 있는 고압의 액체냉매를 필요한 저온도에 상당하는 포화압력까지 저하시켜 바람직한 저온에서 냉매가 증발하도록 하는 냉매유량조절장치 등으로 구성되어 있다.

※ 압축기를 거치면서 고온고압이 되고 팽창밸브를 거치면서 저온저압이 된다.  
 ※ 증발기를 거치면서 증기가 되고 응축기를 거치면서 냉매는 액체가 된다.  
 (압축기, 증발기, 팽창밸브, 응축기, 부속기기, 냉동사이클은 다시 설명된다.)