

◆ 連載講座 ◆

< 5 回 >

冷凍裝置의 設計

金 鳳 彬*

5. 蒸發器

蒸發器는 冷凍裝置에서, 冷凍의 目的을 達成하기 爲하여, 被冷却物에서 熱을 吸收하는 熱交換器이다. 따라서 4章에서 說明한(4.1)式에 依하여 傳達面積을 求한다. 蒸發器에서는 冷媒가 低壓力 狀態에서 蒸發하고 또한 低溫度가 要求될수록 蒸發壓力이 낮아져야 함으로 蒸發器內에서 冷媒의 分配가 均一하게 되도록하고 同時에 冷媒가 過熱 蒸氣狀態로 蒸發器를 나오지 않도록하는 것이 重要하다. 蒸發器의 型式은 被冷却物質에 따라서 適正한 것을 撰擇하여야 된다.

5.1 乾式蒸發器

乾式蒸發器는 主로 프레온(Freon)冷媒의 冷凍 裝置에 採用되며, 그림 5.1과 如히 適當한 길이의 管을 벤드(bend)로 熔接하여 冷媒를 管의 上部에서 流入시킨다. 管內에 流入된 冷媒는 管外의 熱을 吸收하여 飽和蒸氣로 充滿하게 된다. 管內에 冷媒의 飽和蒸氣로 充滿되는 蒸發器를 乾式 蒸發器라고 한다. 암모니아 冷媒일 때는 冷媒를 管의 下部에서 流入시키고, 管의 上部를 吸込管

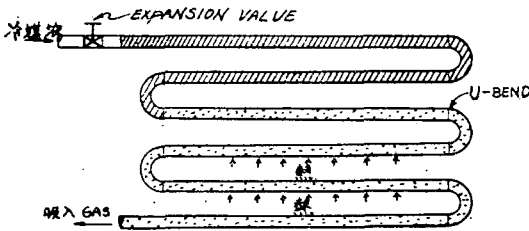


그림 5.1 乾式蒸發器

에 連結한다. 이 乾式蒸發器는 低溫度의 冷蔵庫 用 또는 空氣調和用으로 廣範圍하게 使用되고 있다. 長短으로는

(가) 蒸發器內가 飽和蒸氣임으로 冷媒量이 少量所要된다.

(나) 冷凍油가 蒸發器內에 고이는 일도적다.

(다) 構造가 簡單하고 修理時에 冷媒處理가 容易하다.

短點으로는

(가) 傳熱作用이 적다.

(나) 암모니아 冷凍裝置에서는 蒸發器出口에서 過熱가스로 되어서 冷凍能力이 減少된 憂慮가 많다.

5.2 滿液式蒸發器

滿液式蒸發器는 主로 암모니아 冷媒의 冷凍 裝置에 採用되며, 그림 5.2와 如히 冷媒液이 蒸發器管內에 充滿되고 蒸發된 冷媒가스단을 吸込管으로 보내기 爲하여 液分離器(accumulator)를 設置한다. 滿液式에는 冷媒液을 自然循環시키는 方法과 冷媒펌프에 依한 強制循環式이 있으며 그 長點은

(가) 蒸發器內가 冷媒液으로 充滿되므로, 熱傳

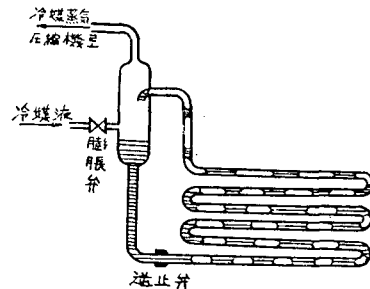


그림 5.2 滿液式蒸發器

* 正 會 員

達係數가 크다.

(나) 큰 용량이라도 蒸發器를 적게할 수 있다.

短點으로는

(가) 冷媒量이 多量所要된다.

(나) 冷凍油가 蒸發器에 고이고, 壓縮機로 되 돌아가지 않는 傾向이크다.

(다) 冷凍裝置를 修理할때 冷媒處理가 困難하다.

5.3 管코일蒸發器

管코일蒸發器는 製作이 容易하고, 天井에 附着 시키며는 設置場所를 別途로 必要하지 않으므로, 小形冷藏庫에서 大形冷藏庫에 이르기까지 現在도 널리 使用되고 있다.

프레온 冷媒를 使用할때는 乾式으로하고, 암모니아冷媒를 使用하는 冷凍裝置에서는 滿液式으로 한다. 滿液式일때는 天井에 液分離器를 設置함으로 建物에 알맞과 設計를 하여야된다. 特히 大型冷藏庫의 天井에 附着시 켤때는 空氣의 自然對流에 依하여 均一한 溫度分布가 되지만 除霜하는 것이, 大端히 困難하다.

例題 5.1 이 連載講座 第1回(1973年發行 Vol. 2, No.3)의 그림 2.1에 있는 No. 1 冷藏室에 암모니아冷媒로, 滿液式管코일 蒸發器를 使用코져 한다. 이때 蒸發器를 設計하라.

解

冷凍負荷 $q_1=6.069 \text{ Kcal/h}$ (Vol. 2, No.4 參照)

$$q_1=2.104 \text{ Kcal/hr}$$

$$q_1=q_2+q_3=8173 \text{ Kcal/hr}$$

그림 3.1에서 蒸發溫度 -25°C

冷藏室溫度 -18°C

管코일의 傳熱係數는 다음과 같다.

1. 靜止空氣中

溫度差 $5 \ 10 \ 15^\circ\text{C}$

암모니아用 { 乾式 $8 \ 12 \ 12.5 \ \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 滿液式 $10.5 \ 15.5 \ 18\text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 프레온用 $8 \ \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

但 $8 \ \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 는 溫度差에 依하여 다음 係數로 補正한다.

溫度差 $^\circ\text{C} \ 5 \ 10 \ 15$

係數 $0.7 \ 1 \ 1.1$

冷藏庫內溫度에 對한 補正係數

庫內溫度 $^\circ\text{C} \ 5 \ 0 \ -5 \ -10 \ -15 \ -20$

補正係數 $1.5 \ 1.2 \ 1.03 \ 1.00 \ 1.00 \ 1.00$

係數使用例(프레온冷媒일때)

冷藏庫內 溫度 0°C , 溫度差 10°C 일때 傳熱係數 K' 는

$$K'=8 \times 1.2 \times 1=9.6 \ \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{로함}$$

이 例題에서 코일入口溫度를 -15°C , 코일出口溫度를 -22°C 로 하면

$$\text{코일入口溫度差 } \tau_s=25-15=10^\circ\text{C}$$

$$\text{코일出口溫度差 } \tau_c=25-22=3^\circ\text{C}$$

그림 4.2 (Vol.3, No.1 參照)에서 平均溫度差 τ_m 는 5.6°C 임

4.1式(Vol. 3, No. 1, p.33參照)에서 코일面積 A 는 다음과 같이 求함. $K=10.5$ 로 擇함

$$A=\frac{Q}{K\tau_m}=\frac{8173}{10.5 \times 5.6}=\frac{8173}{58.8}=138.99\text{m}^2$$

蒸發器에 50A 鋼管을 使用하면 그 所要長 L 는

$$L=\frac{A}{\pi D}=\frac{138.99}{3.14 \times 0.0605}=731.64 \text{ m}$$

安全係數 15%를 加算하며는

$$L'=L \times 1.15=731.64 \times 1.15=842 \text{ m}$$

5.4 핀 코일蒸發器(Fined coil type evaporator)

空氣冷却用으로는 핀 코일蒸發器를 使用하게 되며, 이形은 低溫冷藏庫와 空氣調和에도 使用되고 있다. 冷却管內에서 冷媒가 直接蒸發하면서 空氣의 熱을 吸收하는 것을 直接膨脹式(direct expansion coil) 이라하고 略字로서 DX coil 이라고도한다. 冷却管內에 冷水(chilled water) 또는 브라인이 通過하면서 空氣의 熱을 吸收하는 것을 間接式이라하고, 이것은 冷却器(cooling coil)라고 한다.

空氣는 熱絕緣體로서 取扱되는 것같이 熱의 傳達性이 不良하여서 蒸發器의 管의 表面積이 넓어야된다. 4.1式에서 同一한 冷凍負荷에서 K 의 值가 적으면, 表面積 A 가 넓어야되는 것을 알수 있다. 이렇게되면 蒸發器가 大端히 커져야 하기 때

문에 表面積 A를 넓히는 方法으로 熱傳達工學에 서, 冷却管과 같은 效果를 얻을수 있는 핀(fin) 을 冷却管에 插入하여서, 空氣側의 表面積을 크 게하고 있다. 이때 핀과 冷却管은 熱抵抗이 最小 限으로되도록 清潔한 狀態에서 密着되도록 한다. 이 핀 코일蒸發器는 現在암모니아 冷媒의 冷凍裝 置에서도, 蒸發器를 小型化하여 強制送風을 하는 유닛쿨러(unit cooler)를 使用하는 傾向이있다
핀 코일로서 유닛쿨러를 製作하여 低冷藏庫 에 使用할때는 핀과 핀사이에 着霜된다. 霜 또는 雪은 熱傳導抵抗이 大端히 크다. 着霜된 두께가 두꺼워지면 熱傳達係數가 적어지고, 또한 空氣의 通路가 좁아져서 風量의 減少를 일으키게 된다. 零度以下의 溫度에서 使用할때는 핀의 피치(pitch)를 25mm 當 3~6枚使用하고 -10°C 以下에 서는 25 mm 當 2~3枚使用하며, 핀 코일通過風 速은 2~2.5 m/sec 가되도록 코일正面立積을 決定한다. 空氣흐름 方向으로의 冷却管의 數를 列 (row)이라하며 이 列數는 다음式에 依하여 計 算한다.

$$N = \frac{q_s}{fKA(MTD)} \quad 5.1$$

N: 코일 列數

q_s : 顯熱負荷 Kcal/hr

f: 補正係數

K: 코일熱傳達係數 Kcal/m²hr°C

A: 코일正面面積 m²

MTD: 對數平均溫度差 °C

DXcoil에서는 庫內溫度과 蒸發溫度를 어떻게 決定하는 가를 아는 것이 重要한 問題이다. 이러 한 것은 學術적으로 充分히 習得함과 아울러 많은 經驗이 必要하다. 지금 DX 코일의 計算은 다음式으로 行한다.

$$i_c = \frac{i_2 - i_1 \cdot BF}{1 - BF} \quad 5.2$$

i_c : 코일의 表面溫度 t_c 에 相當하는 엔탈피 Kcal/kg

i_1, i_2 : 코일入口, 出口空氣의 엔탈피 Kcal/kg

BF: 코일의 바이패스係數

$$t_r = t_c - \frac{q_1 R}{a_1 A a N} \quad 5.3$$

t_c : 冷媒蒸發溫度 °C

t_r : 코일의 表面溫度 °C

q_1 : 冷凍熱量 Kcal/H

$R = \frac{\text{코일의 外表面積}}{\text{코일의 內表面積}}$

a: 코일正面面積 1m²當의 列當의 表面積 m²

A: 코일正面面積 m²

N: 코일列數

핀 코일을 使用한 유닛 쿨러를 低溫冷藏庫에 設置할때는 除霜裝置를 하는 것이 使用하는데 便利하다. 그리고 다음事項에 留意하여 容量을 決定한다.

(1) 貯藏品이 自然對流式에 比하여 乾燥가 빠 르다.

(2) 庫內에서 送風機를 使用하므로 送風機用電 動機의 使用電力이 庫內熱負荷로 된다.

(3) 送風機의 騒音을 發生하고 유닛 쿨러를 出入門의 反對壁側에 設置하며는 出入門을 開閉 할때 熱損失이 커진다.

5.5 板狀蒸發器(Plate type evaporator)

이 板狀蒸發器는 小型은 家庭用電氣冷藏庫를 爲始하여 大型은 선반(棚)으로 兼用하고 또한 쇼 우 케이스, 아이스크림 스토커의 內箱을 兼하는 데에 使用하고 있다. 數年前부터 急速冷凍用的 接觸冷凍裝置(contact freezer)에도 使用되고있 으며, 그 構造는 암모니아 冷媒用은 鐵板에 冷媒 가흐르면서 蒸發하는 홈을 프레스加工한 것을 二 枚 合하여 홈이없는 部分을 熔接하여 氣密을 維持 하도록 製作한다. 프레온冷媒用은 알루미늄板에 冷 媒흐르는 通路를 特殊잉크로 印刷하여 二枚合한 다음 壓力로우러로 元板의 두께의 1/2두께程度 가되도록 로우링하며는 密着된다. 이것을 約 200 kg/cm² 程度의 水壓을 加하여 膨脹시켜서 冷媒 의 通路를 만든다. 알루미늄製는 우리나라에서도 生産되고 있다.

알루미늄板은 鹽分에 對하여 弱함으로 一般食品 用冷藏庫의 선반用으로 使用하지 않고 있다.

5.6 셸 튜브蒸發器(Shell and tube type evaporator)

셀튜브蒸發器는 암모니아冷媒用 또는 프레온冷媒用 共히 水平型이며, 암모니아 冷媒일때는 滿液式으로서 브라인冷却用으로 많이 使用된다. 프레온冷媒일때는 工業用인 0°C 以下用과 0°C 以上인 空氣調和用이 있는데 여기서는 처음부터 冷凍冷藏을 目的으로하는 冷凍裝置의 設計를 爲主로 하였으므로, 低温用에 對한 說明을 한다.

암모니아凍媒일때는 滿液式으로 하며, 圓筒과 冷却管의 外部와 사이는 蒸發壓力에 該當하는 冷媒液이 充滿하게 되고, 브라인은 冷却管內를 흐르게 된다. 이때에 冷却管內를 흐르는 브라인의 流速는 熱傳達係數에 影響을 주므로 冷却管의 本數와 長이는 브라인量에 依하여 決定된다. 브라인의 흐름은 冷却管을 한번通하는 것을 1通路(one pass)라하고 普通은 多通路(2~4pass)로 한다. 冷却管은 38A를 一般的으로 使用하고, 암모니아冷媒의 熱傳導率이 커서 冷媒側에 핀(fin)을 必要로 하지 않는다. 冷却管이 길어질때는 冷却管이 휘어지지 않도록 冷却管支持板을 設置하고 管板은 一般的으로 32mm 두께로서 管孔에는 그루빙(grooving)을 하여 管을 擴管시킨다.

滿液式蒸發器의 熱傳達係數는 다음과 같다.

암모니아冷媒를 使用하며 溫度差 5°C, 브라인 溫度 -10°C, 冷却管 32 mm 일때

流速 m/sec, 0.38 0.5 0.75 1 1.5

熱傳達係數 Kcal/m²h°C 160 230 340 405 470

溫度差에 依한 係數

溫度 °C 3 5 7

係數 0.8 1 1.07

브라인 溫度에 依한 係數

브라인 溫度 °C 0 -5 -10 -15 -20 -25

係數 1.04 1.03 1 0.96 0.90 0.80

例題

冷凍負荷 33200 Kcal/h 蒸發溫度 -27°C로서 암모니아 冷凍裝置에서 브라인溫度 -20°C로 維持하고자 함. 滿液式蒸發器를 設計하라.

但 冷却管은 38A管을 使用함.

解

브라인量을 計算함 브라인은 鹽化칼슘(CaCl₂)로 함.

브라인溶液의 比熱 C=0.673(凍結點 -30°C로 할때)

브라인 溶液의 比重 ρ=1.24

$$\text{브라인循環量 } W = \frac{R}{\Delta t c} = \frac{33200}{5 \times 0.673} = 9866$$

$$l = \frac{W}{\rho} = \frac{9866}{1.24} = 7956 \text{ l/h}$$

Δt; 브라인入口溫度 -15°C, 出口溫度 -20°C 熱傳達係數 K는 補正係數를 適用하고 브라인 流速 0.75 m/sec로 假定함.

$$K' = 340 \times 1.07 \times 0.9 = 327 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$$\text{所要面積 } A = \frac{33200}{327 \times 9.4} = 10.8 \text{ m}^2$$

$$\text{冷却管所要量 } L = \frac{10.8}{3.14 \times 0.0416} = 83 \text{ m}$$

安全率 20% 加算하면

$$L' = 83 \times 1.2 = 99.6 \text{ m}$$

一本當의 長 3000으로하며는

$$\text{本數 } N = \frac{99.6}{3} \approx 34 \text{ 本}$$

34本을 4pass 시키고져 할때는 1 pass 當 9本으로 하여야 되므로 36本으로 함.

브라인 流速 V는 鋼管의 內徑을 0.0416 m로 할때

$$\begin{aligned} \text{管의 斷面積 } a &= \frac{\pi}{4} d^2 \frac{N}{4} = 0.785 \times (0.0416)^2 \times 9 \\ &= 0.022 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{L/1000}{3600 \times 0.0122} = \frac{7956/1000}{3600 \times 0.0122} \\ &= \frac{7.956}{43.92} = 0.18 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

以上の 計算에서 流速을 0.75m/sec로 假定하였으나 實際에 있어서는 0.18m/sec가 되므로

本計算에서 擇한 熱傳達係數 K=340은 過大하게 커졌음을 알수있음 따라서 熱傳達係數는 0.38 m/sec 程度로 假定하여서 以上の 計算을 返復하여 行하고 假定條件과 計算值가 맞는 것을 發見하여야 된다.