

冷凍裝置의 設計 (4)

金 鳳 彬*

(다) 蒸發式凝縮器

蒸發式凝縮器에서 壓縮된 冷凍가스의 冷却作用을 시키는 것은 물의 蒸發潛熱을 利用하는 것을 原理로 한다. 水冷式凝縮器는 물의 顯熱을 利用하므로 물 1 kg 가 凝縮器內를 通過하는 동안에 32°C에서 37°C로 되어서 나온다면 5 kcal의 熱量을 除去하게 되지만, 蒸發式凝縮器에서는 물 1 kg 가 蒸發하면 597 kcal의 熱을 除去할 수 있어서 蒸發式凝縮器는 冷却循環量이 적어도 된다. 蒸發式凝縮器에서의 蒸發하는 水量은 循環量의 1%程度이다.

蒸發式凝縮器의 作用과 構造를 說明하면 그림 4.3에서 보는 바와같이 下部의 물탱크部 中央의 冷却管과 엘리미네이터의 코일部 上部에 팬(Fan)部로 되어 있다. 그림 4.3은 空氣는 코일 밑으로부터 流入하여 코일群을 通過하여 上部로 流出되어 大氣로 放散된다. 이런 型式은 吸引式이라 하

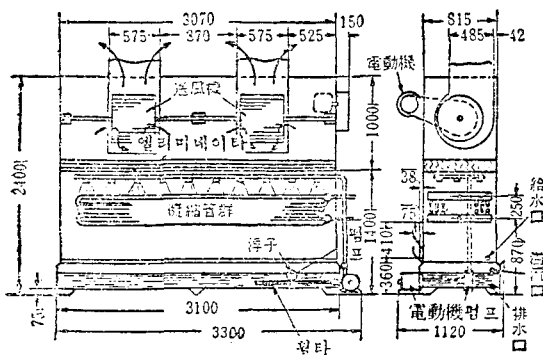


그림 4.4. 蒸發式凝縮器

고 팬을 코일 밑部에 附着시켜서 空氣를 壓送하는 型式을 押込式이라고 한다. 물탱크의 물은 펌프에 의하여 冷却코일 위에 設置한 스프레이 노즐(spray nozzle)로 分射하면 冷却코일 表面을 均一하게 적시면서 冷却코일 最下端까지 내려와서 물탱크로 떠러진다. 間時에 空氣는 물과 逆流하면서 冷却코일 表面의 물을 蒸發시켜서 壓縮된 高壓가스로부터 熱을 除去하여 冷媒가스를 凝縮液化한다. 엘리미네이터는 分射될때의 粒子인 水滴이 飽和된 空氣와 같이 外部를 放出되는 것을 防止하는 役活을 한다.

지금까지 說明한바와 같이 熱傳達方法이 水冷式같이 傳導에만 依하여 熱交換되는 것이 아니고 다음 과 같이 複雜하다. 그림 4.5는 冷却管의 斷面을 表示하며 傳熱은 3區分으로 된다.

1. 冷媒에서 管에 傳하는 熱量

$$q = \frac{A_i}{A_o} \cdot \frac{1}{\frac{1}{h_R} + \frac{l_R}{a_R}} \cdot (t_c - t_p) \text{ kcal/m}^2\text{h} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

q ; A_o 의 單位面積에서의 傳熱量 kcal/m²h

A_i ; 管內面積 m²

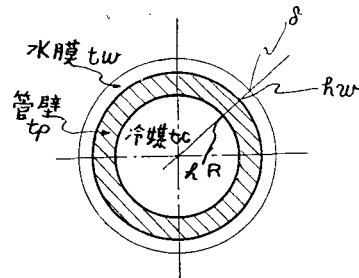


그림 4.5 冷却管의 斷面

* 正會員, 漢陽大學校 工科大學

表 4.1 h_w 의 值 (kcal/m²h°C)

水量 l/min(RT) 管的 種數	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5/8" 銅 管	1323	1476	1619	1754	1882	2005	2123	2237	2347	2453
3/4" 銅 管	1320	1472	1615	1750	1878	2001	2118	2232	2342	2448
20A. 鋼 管	1354	1510	1657	1795	1926	2052	2173	2289	2402	2511
25A. 鋼 管	1423	1587	1741	1886	2024	2156	2283	2405	2524	2638

- A_o ; 管外面積 m²
- h_R ; 冷媒와 管과 間的 境膜係數 kcal/m²h°C
- a_R ; 油膜의 熱傳導率=0.1 kcal/mh°C
- l_R ; 冷媒側油膜의 두께 (0.01mm)
- t_c ; 冷媒의 凝縮溫度 °C
- t_p ; 管의 溫度 °C

2. 管에서 水膜에 傳하는 熱量

$$q = \frac{1}{\frac{1}{h_w} + \frac{l_w}{\sigma_w}} \cdot (t_p - t_w) \dots\dots\dots(4.6)$$

- h_w ; 管과 水膜과 間的 境膜係數 kcal/m²h°C
- l_w ; 水膜의 두께 (0.2mm) m
- σ_w ; 水膜의 熱傳導率=1 kcal/m h°C
- t_w ; 水의 溫度 °C

3. 水膜에서 空氣로 傳하는 熱量

$$q = \frac{A_o + A_w}{A_o} \cdot \delta \cdot (i_w - i_{am}) \dots\dots\dots(4.7)$$

- A_w ; 管間의 水滴의 表面積 m²
- i_w ; t_w 의 飽和空氣의 엔탈피 kcal/kg
- i_{am} ; 空氣의 平均 엔탈피 kcal/kg
- δ ; 水膜에서 空氣로의 蒸發率 kg/m²h
- $\delta = \frac{h_a}{c_p}$

- h_a ; 水膜 空氣와 間的 境膜係數 kcal/m²h°C
- c_p ; 空氣의 定壓比 0.24 kcal/kg°C

4.5式에서 h_R 는 冷媒에 따라 다음과 같이 取한다.

암모니아	5000 kcal/m ² h°C
크롤메칠	1700 "
F-12	1600 "
F-22	1800 "

蒸發式凝縮器에서 가장 重要한 問題는 h_a 이고 h_w, h_R 는 그리 큰 影響을 주지 않는다. h_a 의 값

表 4.2 h_a 의 值

管的 種類	全平面에 對한 風速 m/sec		
	2.0	2.5	3.0
5/8" 銅 管	73.7	84.1	93.7
3/4 銅 管	69.9	79.7	88.8
20A 鋼 管	60.7	69.2	77.0
25A 鋼 管	55.7	63.4	70.5

表 4.3 管列數에 依한 傳熱傳數의 變化(管列 10일때 를 1로 함)

管 列 數	2	3	5	7	10
傳熱係數의 比率	0.8	0.88	0.95	0.98	1.00

을 表 4.2에 表示하고 管列數에 依한 傳熱係數의 變化를 表 4.3에 表示한다.

蒸發式凝縮器는 表 4.3에서 보는바와 같이 코 일形成이 從으로 10段이 되므로 冷媒의 壓力降 下가 水冷式에 比하여 크므로 受液器보다 最少 1200mm 높은 곳에 設置하는 것이 冷媒液이 受 液器로 흐르기가 容易하다.

그리고 表 4.2에서 알 수 있는 것같이 凝縮器 의 性能에 큰 影響을 주는 것은 入空空氣의 濕球 溫度가 낮을수록 水의 蒸發量이 많아지게 되므로 蒸發器出口의 飽和空氣가 蒸發器로 吸入되는 空 氣에 混合되지 않도록 設置하여야 된다.

冷臟冷凍의 冷凍裝置는 空氣調和의 冷凍機같이 여름節에만 使用하는 것이 많이고 거이 年中使用 하게 되므로 大田以北의 地方에서 겨울期間에 冷 却塔을 使用할 때는 冷却塔의 送風機를 使用하지 않더라도 冷却水의 水結問題가 頭痛거리로 惹起

되므로 이럴때는 蒸發式凝縮器를 設置하는 것이 運轉費도 節減되고 氷結問題도 없어 좋은點이 많다, 即 冬期에는 蒸發式凝縮器의 물을 放出하고 送風機만 運轉하여 空冷式凝縮器로 使用한다. 酷寒時에는 送風機를 使用하면 凝縮壓力이 過度하게 낮어져서 冷凍사이클이 不安定하게 됨으로 壓力스위치에 依하여 送風機의 運轉 및 停止를 調整하면 便利하다.

4.4 凝縮器의 形式과 設計

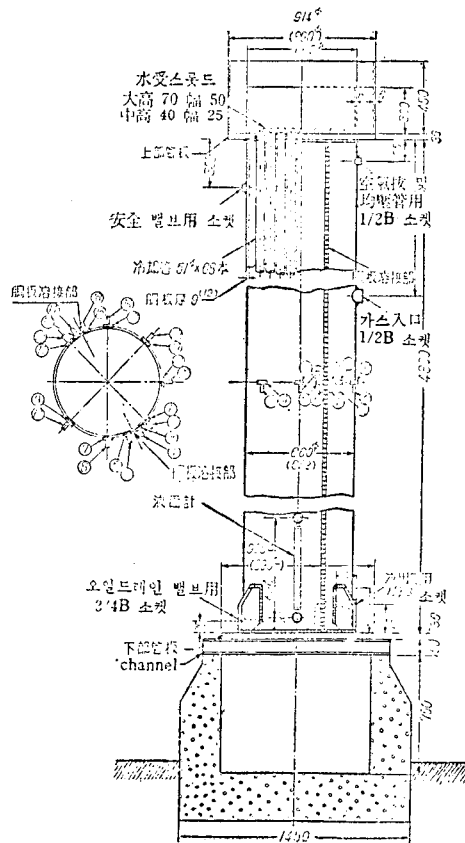
(가) 셸. 튜브凝縮器(Shell and tube condenser)

셸. 튜브凝縮器는 立型和 橫型의 二種이 있다. 그림 4.5는 立型셸. 튜브凝縮器의 構造이다. 이 凝縮器는 氨모니아冷凍裝置用으로 主로 使用되며 冷媒가스는 冷却管의 外部에 接觸하여 凝縮되어 圓筒의 下部로 흘러서 모이게 된다. 冷却管의 內徑側으로는 冷却水가 나선形으로 흘러 下部로 내려간다. 冷却水를 나선形으로 흘러게하기 爲하여 나선形으로 된 陶器製 스윙(swirl)을 冷却水入口에 插入한다. 冷却管은 STPG. 鋼管外徑 51mm을 使用하고 氨모니아冷媒의 境遇熱傳達係數를 大略 900kcal/m²h°C로 하고 冷却水量은 20l/min (RT), 平均溫度差는 5°C로 設計한다.

板鋼中央部の 應力測定
(Strain gage의 위치 및 번호)

番號	計測值	kg/ m ²
①	σ_t	600
②	σ_a	226
③	σ_t	766
④	σ_a	288
⑤	σ_t	776
⑥	σ_a	285
⑦	σ_t	554
⑧	σ_a	152
⑨	σ_t	122
⑩	σ_a	-47
⑪	σ_t	662
⑫	σ_a	215
⑬	σ_t	733
⑭	σ_a	246
⑮	σ_t	740
⑯	σ_a	242
⑰	σ_t	788
⑱	σ_a	249
⑲	σ_t	133
⑳	σ_a	-25
㉑	σ_t	272
㉒	σ_a	28

平均 σ_t 428
理論 σ_t 420



- 註 1) 試驗水型 15kg/cm²
- 2) σ_t : 圓周方向應力 σ_a : 軸方向應力
- 3) (-)는 壓縮應力 뜻함
- 4) ()內의 치수는 應力을 測定한 凝縮器의 치수를 뜻함

그림 4.6. 立型凝縮器

管板은 32~36mm 두께, 圓筒은 直徑에 따라 相異하지만 大略 9~12mm 두께로 한다.

이 凝縮器의 特徵은 冷却水側의 點檢과 크리닝이 容易하여 海岸地의 冷蔵冷凍庫의 冷凍裝置에 海水를 使用한다. 設置面積이 적고 過負荷에 對한 耐力이 크고, 製作費가 低廉하다. 短點으로 是 冷却管의 腐蝕이 빠르고, 冷媒의 過冷却이 잘 될지 않는다. 암모니아冷媒의 冷凍裝置에서는 現在도 널리 使用되고 있다.

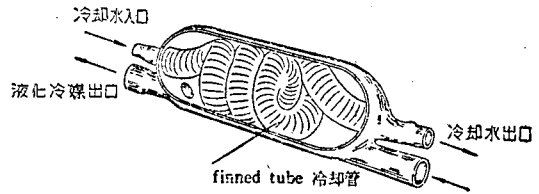
橫型셸. 튜브凝縮器는 主로 Freon系冷媒의 冷凍機와 吸收式冷凍機에 使用하고 있다. 따라서 冷却管은 銅管이며 Freon系冷媒가스는 蒸發式凝縮器에서 h_R 의 值를 보아서 알수 있는 바와같이 境膜係數의 值가 적어서 冷却管의 Freon가스와 接觸되는 管의 外表面은 外表面積을 넓게하기 爲하여 管에 나사型을 한 lowfin tube를 使用한다. 一般의으로 많이 使用되고 있는 lowfin tube의 規格은 直徑 15.87mm에 fin數는 19/25.4mm이다. 外表面積은 $0.142m^2/m$ 이고, 冷却管內의 冷却水速度를 1m/sec로 할 때 Freon系冷媒일 때의 熱傳達係數는 $500kcal/m^2h^{\circ}C$ 程度로 한다.

冷却管이 銅이고 두께가 1~1.2mm로 얇으며, 管內에는 冷却水가 흘러서 管이 휘어지는 힘을받게 되므로 管長이 길어질 때는 1200mm 以下의 間隔으로 中間에 管支持板을 두게 된다. 管板과 管은 擴管具로 密着시켜서 氣密을 維持한다.

圓筒은 冷凍裝置中에서 가장 높은 壓力을 받으므로 圓筒의 두께는 고압가스 안전관리법, 시행령 별표 5의 참고에 있는 式으로 計算하고, 熔接을 하였을 때는 可能한 限 X線 檢査를 한다. 이 凝縮器의 長點으로 冷却水量이 12l/min(RT)로서 比較的少量이 要求되고 材料의 熱傳導率이 크다. 短點은 過負荷가 困難하고 冷却水의 흐름抵抗이 커서 펌프動力消費가 많다.

(나) 셸, 코일凝縮器(Shell and coil condenser)

셸.코일凝縮器는 그림 4.6에서 그 構造를 알수 있는 바와같이 lowfin tube를 코일形으로 製作하여 圓筒(shell)內에 設置하고 壓縮된 冷媒가스



能力 R.T.(U.S.R.T.) finned tube 冷却管長 63.5cm
銅의 外徑 64mm

그림 4.7. 셸.코일凝縮器

는 코일外表面에서 凝縮하고 코일內로 冷却水가 흐른다. 製作에 特殊한 코일벤다가 必要하고 大容量에는 適合하지 않아서 Freon系冷凍裝置에서 5馬力以下의 小型에 使用할 때가 있다. 熱傳達係數는 橫型과 近似하지만, 冬期에 코일內의 冷却水를 完全히 放出하지 못하므로 寒帶地方에서 冷凍機設置室의 室溫이 零下일때는 凍破되는 境遇가 많다.

(다) 二重管式凝縮器(Double tube condenser)

Freon系冷凍機의 小型(5馬力以下)에서 全密封式壓縮機의 周圍에 圓型으로 二重管式凝縮器를 設置함으로써 機械設置空間을 最少로 하기 爲하여 使用한다. 따라서 package型 空氣調和機 또는 chiller에 使用하는 境遇가 있다. 熱傳達係數는 橫型과 近似하다. 冷却水는 外部管과 内部管間을 흐르고 冷媒는 内部管의 内部를 흐른다. 이 凝縮器는 設置空間을 적게하는 長點에 比하여 點檢 및 補修가 困難하여 널리 使用되고 있지 않다

(라) 大氣凝縮器(Atmospheric condenser)

이 凝縮器는 암모니아冷媒가스의 冷凍器置에 使用하며 蒸發式凝縮器의 原理와 같이 물의 蒸發熱을 利用한다. 空氣는 自然對流에 依하여 물과 直交流한다. 그림 4.7과 같이 冷却管을 橫으로 連絡하여 管코일로 하였고, 最上部管의 上端에 冷却水分布통이 있다. 이 통에서 冷却水를 落下시키면 漸次下部의 管에 흐르면서 空氣에 依하여 물이 蒸發된다.

Bleeder型은 冷媒가스를 最下端의 管으로 注入시키며 冷却水와 逆方向으로 이른다. 冷媒가스는

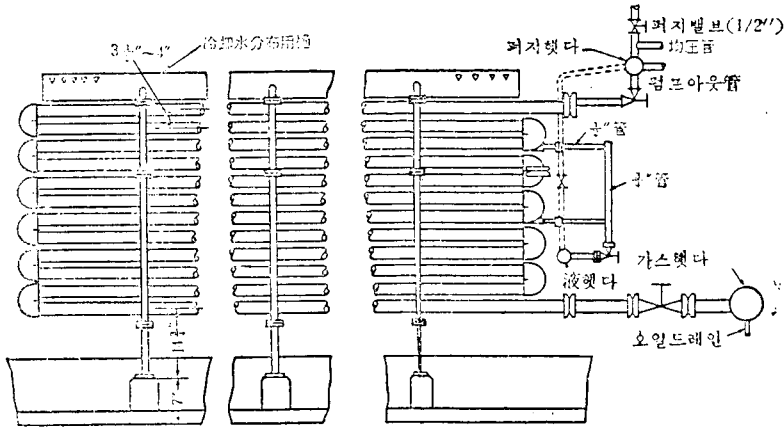


그림 4.8 Bleeder 形大氣式凝縮器

따라 液化하고 코일의 途中에 設置한 數個의 液出口管(Bleeder)에서 冷媒液만 流出되도록 한다. 液出口管은 코일의 4段마다 1個式 配置한다. 傳熱係數는 冷却水量 25l/(m)(min)일 때 600 kcal/m²h°C 로 한다.

天氣式凝縮器는 通風이 잘되는 곳에 設置하는 것이 가장 重要하다. 現場에서도 製作이 容易하게 遂行할 수 있으므로 우리나라에서는 아직도 使用되고 있다.

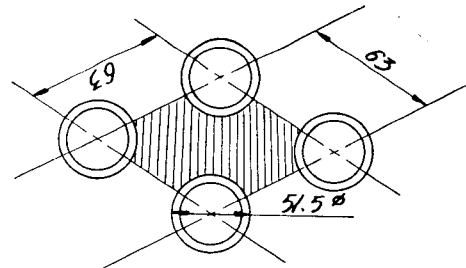


그림 4.8 管配列數

4.5 設計計算例

암모니아冷媒의 冷凍裝置에서 冷凍負荷가 100,000kcal/h 이고 蒸發溫度는 -15° 凝縮溫度를 35°C, 冷却水는 海水로서 入口水溫 25°C, 出口水溫 30°C 로 할 때 立型셸 튜브式凝縮器를 設計하라. 適用法規는 高壓가스 安全管理法에 準한다.

設 計

1. 凝縮器의 熱負荷

$$Q_c = 1.3 \times 100,000 = 130,000 \text{ kcal/H}$$

2. 冷却水量

$$W = \frac{Q_c}{c \Delta t} = \frac{130,000}{5} = 26,000 \text{ kg/H}$$

3. 熱傳達面積 A.

그림 4.2에서 平均溫度 $\tau_m = 7.5^\circ\text{C}$ 를 찾고

$$A = \frac{Q_c}{K \tau_m} = \frac{130,000}{900 \times 7.5} = 19.3 \text{ m}^2$$

冷却管을 50.8φ 를 使用하면 1m² 당 6.27m² 가 되므로, 管의 長이는

$$L = 19.3 \times 6.27 = 121.01 \text{ m}$$

冷却管 1本의 長이를 3.6m 로 하면

$$\text{管數} = \frac{121.01}{3.6} = 33.6 \text{ 本} \rightarrow 34 \text{ 本}$$

4. 管配列은 63mm 핏치로 그림 4.8과 같이 지그재그配列로 한다.

5. 管板

鋼製管板의 最少值, 鋼板은 SS-41로 함.

$$\delta = 8 + \frac{d'}{12}$$

d' 는 管孔의 直徑 51.5mm 로 한다.

$$\delta = 8 + \frac{51.5}{12} = 12.3 \text{ mm}$$

腐蝕과 安全率을 合하여 通常 32mm 로 한다.

$$\delta = \frac{16 \times 450}{200 \times 41 \times 0.25 \times 0.65} + 1 = 6.4 \text{ mm}$$

6. 胴板

胴板도 SS-41로 한다.

胴板直徑은 作圖에서 求할 수 있다. 두께는 安全率을 보아서 普通 9mm를 使用한다.

$$\delta = \frac{PD}{200fx\eta_e} + a \text{에서}$$