

# 遠心冷凍機

金 鳳 彬\*

## 1. 概 論

우리나라에도 建物과 工場의 空氣調和裝置의 冷房機로서 遠心冷凍機를 設置하는 台數가 年次의 으로 增加되고 있다. 遠心冷凍機는 一名 터어보(Turbo)冷凍機라고도 하며 아직은 國產化되지는 못하였으나 不遠한 將來에 外國의 製作會社와 技術合作하여 生産될 可能性도 있어 앞으로 더욱 遠心冷凍機의 需要量이 增加될 것이 豫想된다.

遠心冷凍機는 一般의 으로 比較的 蒸發溫度가 높은 用途에 使用되었으나 근자에는 食品, 石油化學工業等의 分野에서 大容量의 低溫用冷凍機가 要求되어 암모니아 프르판, F-12等의 冷媒를 使用한 遠心冷凍機가 使用되고 있다. 여기서는 干先 空氣調和裝置用의 單段 터어보冷凍機에 關한 水準에서 運轉取扱에 關한 問題를 爲 主로 論하고 앞으로 紙面이 허락하는 限度에서 特殊用途로 使用되는 遠心冷凍機를 記述코져 한다.

## 2. 遠心冷凍機의 簡單한 理論

遠心冷凍機도 蒸氣壓縮式冷凍機에 屬하며 熱交換器인 凝縮器와 蒸發器의 設計理論과 構造는 往復式冷凍機와 近似하다. 다만 壓縮機의 壓縮作用原理가 往復式 回轉式 또는 스크류式과 相異하다. 遠心壓縮機의 心臟部는 임펠러(Impeller)다. 이 임펠러는 遠心펌프의 임펠러와 本質의 으로 같은 形으로 되었고 또한 作動도 같다. 即 임펠러는 高速回轉을 하면서 임펠러의 中心으로 流體(壓縮機에서는 冷媒가스이고 펌프에서는 液體임)를 吸入한다. 이 吸入된 流體는 날개車의 回轉으로 遠心力의 作用을 받아 임펠러의 外周로 흘러 나가면서 加壓되는 同時에 流體의 絕對速度도 增加된다. 임펠러를 떠난 流體는 더퓨저(Diffuser)에서 外周로 向하는 同時에 速度가 減小되므로 速度가 減어지자 壓力에 減어지므로 變하여 더욱 壓力이 높아지게 된다. 이와 같이 遠心壓縮機는 遠心力을 利用하여 가스를 壓縮하는 故로 同一周速에서도 무거운 가스를 吸入하면 吐

出壓力도 높아지고 가벼운 가스를 吸入하면 吐出壓力도 낮아지는 것은 끈의 一端에 골프의 球를 매고 돌렸을 때의 遠心力과 같은 크기의 卓球공을 매고 돌렸을 때의 遠心力이 相異한 것을 알 수 있다. 이와 같이 무거운 가스分子일수록 吐出壓力이 높아진다.

體積形인 壓縮機(往復式, 回轉式, 스크류式壓縮機)에서는 피스톤의 變位에 依하여 吸入과 壓縮作用이 이루어지고 가스의 分子量은 壓力에 直接의인 影響을 주지 않지만 遠心冷凍機는 위에서 說明한 바와같이 根本的 으로 相違하다. 遠心壓縮機에서는 同一가스일 때는 一定한 回轉時는 遠心力이 一定值 以上으로는 上昇하지 않으므로 遠心壓縮機에는 安全밸브가 必要하지 않고 또한 가스의 흐름이 連續이고 脈動이 없는 것이 遠心壓縮機의 特徵이다.

## 3. 遠心冷凍機의 特性

### (1) 遠心壓縮機의 特性

遠心式 壓縮機에서는 壓縮機의 能力 即 임펠러의 能力을 表示하는데 壓力헤드(헤드라고도 함)및 가스량을 使用한다. 이에 對하여 簡單히 論하고저한다.

#### 가. 壓力헤드

헤드는 펌프의 概念에서 引用된 것으로 펌프일 때는

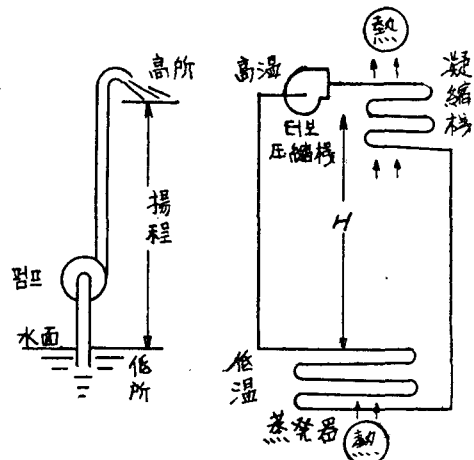


Fig. 1. 물펌프와 터어보壓縮機의 헤드比較

\* 正會員, 漢陽大學校 工科大学 講師

헤드는 文字 그대로 밀어올릴 수 있는 液體의 높이를 表示하지만 이 壓縮機에서는 다음과 같이 생각할 수 있다.

即 壓力  $P_1$ , 溫度  $T_1$ 의 가스(蒸發器에 該當함)를 높이  $H$ 만큼 높은 高位熱源(擬縮器에 該當함)까지 運搬한다. (Fig 1. 參照)

萬一 가스를 非壓縮性的 流體라고 하면

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

이때  $H$ =헤드  $m$ .  
 $P_1, P_2$ =壓縮機의 入口 및 出口壓力  $kg/m^2$   
 $\gamma$ =가스의 比重量  $kg/m^3$

普通은 가스는 壓縮性 流體로 생각하여

$$dh = \frac{dp}{\gamma} \dots\dots\dots(2)$$

$dp = \gamma dh$   
 보일과 샤알 법칙 ::  
 $PV = \frac{P}{\gamma} = ZRT$

單位重量의 가스를 壓縮機로 斷熱壓縮할 때의 斷熱壓縮헤드를  $H$ 라 하면

$$H = \frac{k}{k-1} ZRT_1 \left\{ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} kg-m/kg \dots(3)$$

- $k$ : 斷熱指數
- $R$ : 가스常數
- $Z$ : 壓縮係數(完全가스일 때는 1.0)

遠心冷凍機에서는 冷媒가스는 完全가스가 아니고 가스의 諸常數 壓縮係數等의 값이 壓縮過程에서 變化하는故로 (3)式에 依하여 헤드를 計算하는 것은 困難하므로 實際에서는 冷媒의 모리엘線圖(P-i線圖)에서 헤드를 求한다.

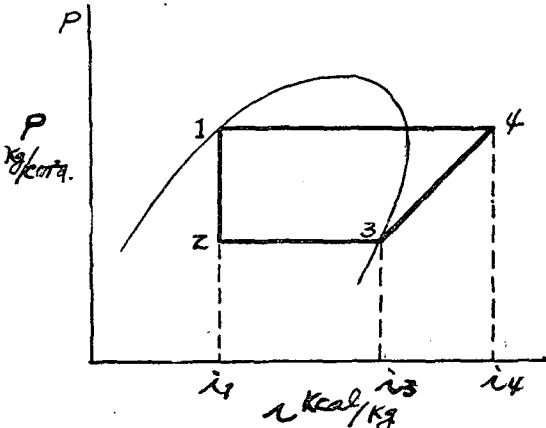


Fig. 2. 모리엘線圖

$$H = J(i_1 - i_2) = \frac{k}{k-1} ZRT_1 \left\{ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} \dots(4)$$

$J$ =熱의 相當量=427kg-m/Kcal

空氣調和裝置에 要求되는 遠心壓縮機의 헤드는 冷媒의 種類, 冷却水의 種類(井水, 冷却塔水, 河川水等)에 따라 다르지만 大略 2,000-3,000m이다. (第1表參照)

또한 一般으로 遠心冷凍機의 임펠러 1段으로 얻을 수 있는 헤드는 最大 3,000m程度이다. 헤드  $H$ 와 임펠러 周速度와의 關係는

$$H = \mu \frac{u^2}{g} \dots\dots\dots(5) \quad \text{이다.}$$

$g$ =重力의 加速度 9.8m/sec<sup>2</sup>

$\mu$ =壓力係數(이 係數는 임펠러의 設計에 依하여 다르지만 大略 0.5로 한다).

따라서 單段의 임펠러로 3,000m의 헤드를 얻으려면

$$u = \sqrt{gH/\mu} = \sqrt{9.8 \times 3,000 / 0.5} \doteq 240m/sec$$

이고 이것을 2段의 임펠러로 한다면 1段當 1,500m인 故로

$$u = \sqrt{9.8 \times 1,500 / 0.5} \doteq 170m/sec$$

로 된다. 그런데 임펠러出口狀能의 가스의 音速은 150m前後이므로 單段形에서는 當然히 임펠러 出口가스의 絕對速度는 音速을 超過하게 되지만 二段形에서는 音速以下가 된다. 임펠러入口의 가스速度가 音速에 가까울 때는性能低下의 原因이 되므로 Mach Number (가스速度/音速) 0.8~0.9以下로 抑制한다. 音速은 冷媒의 種類 및 溫度에 따라 變하며

$$a = \sqrt{gkRTZ} \dots\dots\dots(6)$$

이다.

- $g$ =重力의 加速度
- $k = c_p/c_v$ =冷媒가스의 比熱比
- $R$ =冷媒가스의 기체常數
- $T$ =冷媒가스 溫度
- $Z$ =冷媒가스의 壓縮係數(完全가스는 1.0)

나. 가스量

冷凍能力을  $R_s$  kcal/sec 冷媒의 冷凍效果(蒸發潛熱)를  $\Delta i$  kcal/kg 임펠러入口 및 出口에서이 冷媒가스의 比體積을 各各  $v_i, v_d$  m<sup>3</sup>/kg로 하면 임펠러의 出入口의 風量은 다음 式으로 求한다.

임펠러 吸入風量

$$Q_i = \frac{R_s}{\Delta i} \times v_i \text{ m}^3/sec \dots\dots\dots(7)$$

임펠러 吐出風量

$$Q_d = \frac{R_s}{\Delta i} \times v_d \text{ m}^3/sec \dots\dots\dots(8)$$

遠心冷凍機가 取扱하는 最小가스量은 여러가지 條件에 依하여 規定되는데 그중에서도 最終段임펠러의 吐出風量 및 吐出部이 幅의 큰 要因으로 되며 그 값은 各各 約 0.2m<sup>3</sup>/sec 및 約 4~5mm이다. 이 以下에서는 임펠러 壁摩擦의 影響으로 遠心壓縮機의 效率이 大端히 低下된다. 따라서 遠心冷凍機가 良好한 效率로 取扱되기 爲하여 吸入風量을 40~600m<sup>3</sup>/min의 範圍로 하고, 最小容量은 冷媒 F-11을 使用할 때는 約 100 (US)RT, F-113일 때는 約 40(US)RT로 制約을 받는다.

큰 용량일 때는 F-11代身에 F-114, F-12等を 사용함으로써 遠心冷凍機를 小形으로 할 수 있다. 예를 들면 F-11用의 壓縮機의 寸수는 F-114일 때는 約 1.5倍, F-12일 때는 約 5倍의 冷凍能力을 發揮할 수

있다.

Freon系 冷媒는 表 1에서 알 수 있는 바와 같이 冷媒에 따라 所要헷드는 큰 差가 없지만 冷凍能當의 가스量이 크게 틀리므로 冷凍容量 및 目的에 따라서 遠

第 1 表

冷 媒	蒸發壓力	凝縮壓力	壓 縮 比	헷 三	有 効 蒸 冷 有 潛 熱	冷 循 環 量	가 吸 込 量	比 體 積	블로우어 力	成績係數
	kg/cm <sup>2</sup> abs	kg/cm <sup>2</sup> abs								
F-11	0.410	1,782	4.35	2,620	45.48	0.0225	$9.13 \times 10^3$	0.405	0.77	4.57
F-12	3,146	9,770	3.10	2,140	36.99	0.0305	$1.73 \times 10^3$	0.0567	0.855	4.12
F-113	0.153	0.796	5.20	2,200	33.90	0.0290	$23.20 \times 10^3$	0.799	0.825	4.27
F-114	0.897	3,521	3.93	2,000	32.95	0.0360	$5.22 \times 10^3$	0.145	0.94	3.75
NH3	4,379	15,850	3.62	19,400	301.52	0.00328	0.95	0.2897	0.83	4.24

心冷凍機에 가장 알맞는 冷媒를 撰擇하게 된다.

上記 表는 蒸發溫度 0°C 凝縮溫度 40°C 플리트로프 效率 75%로 基準함.

다. 헷드와 가스吸入量과의 關係

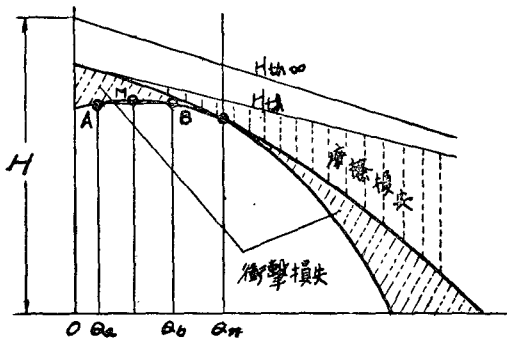


Fig. 3. 헷드와 가스量과의 關係

遠心壓縮機의 特性은 2에서 論한바와 같이 體積形의 壓縮機와 比較하면 獨特하다. 그림3에 依하여 說明하면 다음과 같다. 그림3은 임펠러가 后方曲形 임펠러에 關한 것으로 縱軸을 헷드 橫軸을 吸入가스量(一般的으로 風量이라 함)으로 하고 Hth∞는 임펠러의 날개數가 無限大 即 理想流體가 날개의 通路形에 完全一致하여 充滿되어 흐른다고 생각하였을 때 임펠러가 가스에 加하는 헷드이고, Hth는 有限枚數의 날개를 가지는 임펠러의 理論헷드라고 한다.

그림에서 風量과 헷드의 關係가 直線이 되지 않고 曲線으로 되는 것은 風量の 自乘(따라서 流速의 自乘)에 比例하는 壓縮機內의 摩擦損失과 設計點 N에서 0이 되지만 그보다 風量이 많거나 적을 때 그 差 만큼의 風量の 自乘에 比例하는 衝擊損失이 있으므로 拋物線形이 된다.

遠心壓縮機에서 任意的 風量에 對한 效率는 y=

H/Hth로 表示되며 이 效率를 風量에 對하여 求하면 그림3의 拋物線과 近似한 形態의 曲線으로 表示된다. 實際로는 遠心壓縮機의 特性曲線은 計算에 依하여 正確히 豫想하는 것은 困難하므로 製作會社에서 많은 實驗에 依하여 豫想性能曲線을 作成한다.

그리고 遠心冷凍機로서는 特性曲線으로서 橫軸에 風量代身 冷凍能力을 縱軸에 헷드代身에 凝縮溫度나 軸入力을 表示할 때가 많다.

라. 써어징(Surging)

遠心壓縮機의 風量이 設計點보다 減少되면 그림3에서 헷드는 M點을 境界로하여 減少되기 如作한다. 이 M點 및 風量 0間의 注意의 點 例를 들면 A點에서는 B點과 壓力헷드가 同一한데도 不拘하고 風量은 Qa와 Qb와 같이 大幅으로 틀린다. 이것은 同一壓力(또는 헷드)에 對하여 二種의 틀린 風量으로 作用코저하는 傾向을 表示하며 이것을 具體적으로 說明하면 壓縮機를 一定한 回轉速度로 運轉할 때 吸入펌퍼를 점점 줄이거나 凝縮壓力를 점점 높여서 風量을 減少시킬 때는 어떤 風量에 到達하여 갑자기 임펠러內에서 가스의 脈動과 振動이 일어나 不安定하게 된다. 이것을 써어징現象이라 하고 運轉上 大端히 重要한 現象이다. 써어징現象에 對하여 아직도 完全히 解明되지 못하였고 여러 가지 說이 있는데 그중하나를 紹介하면 다음과 같다.

써어징이란 普通, 特性曲線의 左側下降部에서 發生한다. (이部分에서는 風量이 減少되면 헷드도 減少된다) 特性曲線의 右側 下降部에서는 어떤 原因으로 系의 抵抗이 커졌다며는 Q-H의 關係로 風量の 減少를 招來한다. 그리고 風量の 減少는 抵抗을 減少시키므로 系는 安定된다. 이에 對하여 左側下降部에서는 若干의 혼들림에 對하여도 系를 安定하는 方向으로 되지 않는다. 即 不安定하다. 以上과 같은 說明은 그럴듯한 것 같

지만 不安定한 運轉狀態의 物理的 原因에 對하여는 아직 解明되지 않고 있다. 그러므로 싸어징 發生을 豫想하거나 싸어징에 있어서의 흐름의 特殊性에 關하여 說明할 수가 없다.

大體로 싸어징 現象은 自勵振動의 特性을 지니고 있으며 싸어징의 發達에는 壓縮機가 作動하고 있는系 特別히 吸込系 및 吐出系의 寸수, 形狀이 重要한 影響을 미치고 있다. 싸어징點은 壓縮機設計에 따라 다르며 遠心冷凍機에서는 大體로 風量은 設計點의 60~70% 헛드에서는 105~120% 程度의 點으로 된다.

마. 蒸發溫度의 變化에 依한 影響

그림 4와 같이 遠心冷凍機에서 壓縮機의 回轉數와 凝縮溫度를 一定히 하고 蒸發溫度를 變更시켰을 때의 冷凍能力과 所要動力의 變化를 往復式壓縮機와 比較하여 보면 그림에서 알 수 있는 바와 같이 遠心壓縮機가 高速多氣筒壓縮機보다 變化가 크다. 蒸發溫度가 낮은 範圍에서는 急激히 能力과 動力이 低下되므로 一定한 蒸發溫度以下로는 내려가지 못하며 따라서 高速多氣筒 壓縮에 比하여 높은 蒸發溫度가 된다. 이것은 가스比 重量이 적어지는 影響과 壓力이 極히 낮은 狀態에서는 壓縮하는 能力이 極히 不良하다는 것을 意味한다. 勿論 이런 境過 往復式에서도 體積效率이 低下되는 것을

避할 수 없지만 가스比重量이 極히 낮은 狀態에서도 吸入을 繼續한다.

이러한 特性은 遠心冷凍機를 運轉할때 自己 制御性을 增加시켜 便利한 點도 있다.

負荷가 減少되어 冷水溫度가 低下되면 冷凍機의 蒸發溫度도 따라서 低下된다. 이럴 때 遠心冷凍機에서는 冷凍能力의 減少가 커서 스스로 均衡을 잡는 點이 좁아진다. 따라서 蒸發溫度를 極端으로 낮추지 않으면 冷水가 凍結되는 危險性도 적어지며 制御도 容易하다.

바. 凝縮溫度變化에 依한 影響

마.項과 같은 方法으로 遠心冷凍機의 壓縮機回轉數를 同一하게 하고 이번에는 蒸發溫度를 一定하게 維持하면서 凝縮溫度를 變化시켰을 때의 冷凍能力과 動力의 變化를 보면 그림 5와 같다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 遠心冷凍機에서는 凝縮溫度의 上昇에 따르는 冷凍能力의 低下가 甚하며 어느 溫度以上은 上昇시키는 것은 困難하다. 이 理由는 壓力헛드에 限界가 있다는 것을 意味하며 凝縮器에는 水溫과 水量에 安定된 條件으로 運轉되어야 함을 強調한다.

動力의 變化는 어느 一定한 點까지 上昇하고 그 後는 도리어 低下된다. 動力에서도 壓力헛드에 上限點이 있다는 것을 實證하여준다. (次號斷續)

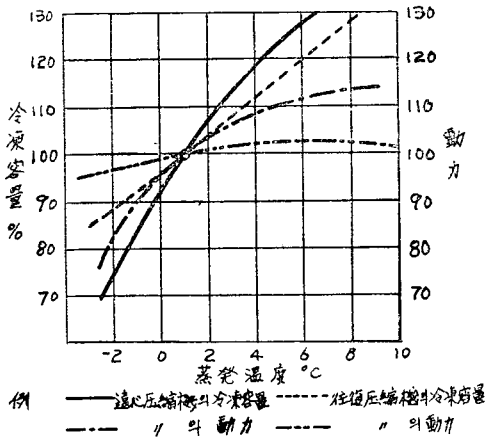


Fig. 4. 蒸發溫度變化에 依한 影響

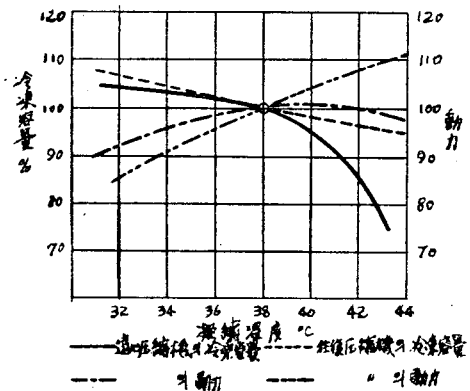


Fig. 5. 凝縮溫度變化에 依한 影響