

스크류壓縮機冷凍裝置

金 鳳 彬*

1. 序 論

逆카루노 사이클에 의한 冷凍機의 5個構成要素인 壓縮機, 凝縮器, 膨張밸브, 蒸發器 및 配管에서 蒸發器로부터 吸入한 低壓, 低溫의 冷媒가스를, 高壓, 高溫인 凝縮壓力까지 壓縮하는 壓縮機의 種類로는 往復式壓縮機, 遠心式壓縮機 (Turbo 壓縮機) 및 回轉로터리壓縮機가 一般的으로 使用되고 있다.

外國에서는 10余年前부터 헬리칼 로터리壓縮機 (Helical Rotary Compressor) 一般的으로 스크류壓縮機 (Screw Compressor) 라고 불리우는 壓縮機를, 低溫用 또는 空氣調和用으로 使用되었고, 우리나라에도 食品冷凍用 또는 冷凍冷蔵用으로, 設置되어서 運轉되고 있으며 앞으로 더욱 增加할 것으로 믿어지므로 여기서는 本學會誌, Vol. I. № 2의 轉載內容과 重複을 避하면서 記述하고자 한다.

스크류壓縮機를 ASHRAE Hand Book 에서는 往復式壓縮機와 같이 陽變位壓縮機 (Positive displacement Compressor) 에 屬하는것으로 區分하였고, 日本冷凍協會에서는 容積型壓縮機라고 하였다. 壓縮機의 區分에서 알수 있는 바와 같이 스크류壓縮機는 往復式壓縮機에 使用되는 冷媒와 溫度範圍에 모두 適用되고, 또한 로우터의 回轉을 빨리 할수 있어서, 同一冷凍能力일때 往復式壓縮機보다, 壓縮機를 적게 할수 있다. 스크류壓縮機는 摩耗部가 없어서, 오버 haul (Over haul) 하지 않고, 60,000時間以上을 運轉할수 있어서, 安全性, 操作性, 信賴性이 높고, 冷凍사이클에서의 여러가지 優秀성이 있어서, 空氣調和用冷凍機로서, 히이트 펌프(H-

eat Pump) 를 兼하는데 使用되고, 船舶用冷凍機等 廣範圍하게 使用하게 되었으므로, 發達한 背景과 特性에 關하여 記述하고자 한다.

2. 스크류壓縮機의 技術의 背景과 現狀

스크류壓縮機는 1934년에 스웨덴人 Lysholm에 의하여 理論的으로 開發된것을, 그 후 스웨덴의 Svenska Rotor Maskiner 社 (S. R. M 社) 에서, 스크류壓縮機의 理論的 및 實驗的 研究를 하여, 多數의 理論特許를 받으면서, 처음에는 가스壓縮機로서 化學工業分野에 使用되었고, 1950年後半부터 冷凍機用으로 登場하게 되었다. 1934年 가스壓縮機로 使用될때는 回轉數를 5,000 ~ 15,000 r. p. m를 얻기爲하여 增速기어裝置를 하고, 암 로우터 (Female Rotor) 를 回轉시키기爲하여, 수 회전자 (Male Rotor) 와 암 로우터를 기어로 連結하였다. (이 기어를 타이밍 기어라고함). 卽 로우터의 兩側에는 기어에 의하여 動力이 傳達되는 방식이고, 수회전자와 암 로우터와 사이에는 給油를 하지않아서 壓縮比는 2 ~ 4程度로 적은狀態여서, 運轉時에 回轉騒音의 큰缺點이 있었다. 그러나, 無給油式임으로, 吐出가스에 오일이 混合되지 않아서 化工系統의 가스壓縮과 空氣壓縮에는 좋은 條件인 長點도 되었다. 1955年代에 위의 壓縮機를 다음과 같이 두가지를 改良하였다. 첫째는 로우터 사이에 給油를 噴射式으로 함으로서 回轉數를 3,000 ~ 3,600 r. p. m로 低下시키고도 壓縮比를 20以上으로 增加시켰다. 둘째는 壓縮機用電動을 2極으로 直結시키므로서 增速기어를 使用하지 않았다. 따라서 回轉騒音은 中程度로 낮게 되었으나, 吐出가스에 오일의 混合이 若干있게 되었다. 冷凍機用壓縮機

* 正會員, 漢陽大學校

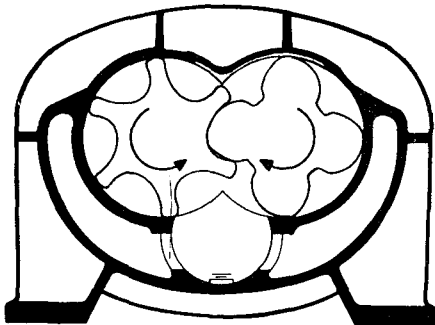
로서 觀心을 갖게된것도 오일噴射式으로 改善되면서부터이고, 1960年代에 들어서면서 더욱 改善하였다. 卽, 로우터間隙과, 로우터와 케이싱과의 間隙을 적게할수 있어서 암로우터의 驅動을 타이밍 기어를 除去하고 수 회전자가 直接 암 로우터를 驅動시키게 함으로서, 암 로우터는 아이들 기어 (Idle Gear)와 같은 作用을 하게 되고, 다음과 같은 長點을 가지면서 冷凍用壓縮機로서 本格的으로 널리 使用하게 되었다.

長點: 1) 増速 및 타이밍 기어를 없애므로서 動力을 15%程度 減少시키고 廻轉騒音을 低下시켰음.

2) 로우터間隙 및 로우터와 케이싱 間隙을 縮少시킴으로서 低速으로도 壓縮比와 體積 效率를 增加시키고, 同時에 機械의 信賴性을 높게 되었다.

3) 오일噴射式으로 하면서 油溫을 낮게 하면, 吐出가스를 오일이 冷却시켜서 吐出가스 溫度도 낮게 하고, 로우터의 溫度分布도 比較的 均一化하게 되어서 阻立間隙을 最小로 하여 壓縮機內部的 가스漏洩을 적게한다.

1960年代부터 로우터의 齒型改良이 繼續되었다. 卽 元來의 對稱圓孤齒型에서의 缺點으로 되었던, 壓縮側密封部에 심기는 부로우 홀(Blow-holes) 때문에 일어나는 壓縮가스 內部 漏洩을 적게하는 그림 1과 같은 非對稱齒型으로 改善하여서 더욱 效率이 좋은 스크류壓縮機



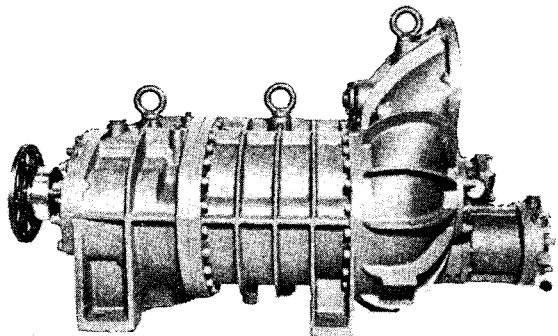
[그림 1] 非對稱型齒型

로서, 現在 世界各國에서 冷凍用壓縮機로 普及되고 있다. 스크류壓縮機의 製造元祖는 前述한 S. R. M 社라고 할수 있으며 各國의 20 余個 製造會社가 S. R. M. 社와 特許契約을 맺고 製作 販賣하고 있다.

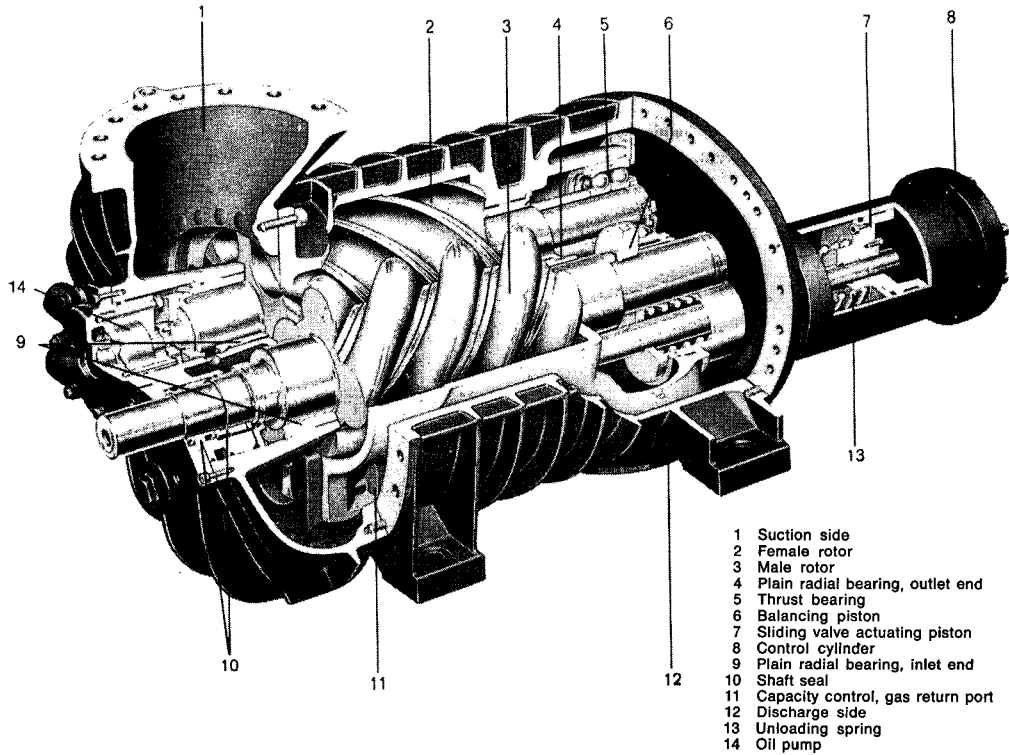
스크류壓縮機의 現狀을 調査하여보면 冷媒로는 F-12, F-22 및 NH₃, 用이 一般의이고 容量으로는, 스웨덴의 STAL-LAVAL Co. 가 Swept Volume 으로 850~4,700 m³/H (500~2,750 CFM)로 5個機種을 製作하고, U. S. A의 SULLAIR CORPORATION이 773~2,905 m³/H (445~1,710 CFM)로 5個機種을 製作하고 있으며, 日本의 Mycom-S. R. M. 가 682~10,900 m³/H로 18機種을 製作하고 있다. 1970年代에 와서 스크류壓縮機는 産業用, 空氣調和用 및 漁船用으로도 使用하면서 信賴性이 크고 性能이 좋아서 需要의 增加는 높아지고 있다.

3. 壓縮機의 構造

壓縮機의 機能으로는 逆카르노 사이클에서 短熱壓縮過程을 擔當하는 基本은 變化가 없다. 冷凍裝置로서의 使用目的에 따른 條件을 幅 넓게 充足시킬수 있는 壓縮機를 要求하는 것은 어떤 型式의 壓縮機에서나 마찬가지이다. 스크류壓縮機의 構成要素는, 冷凍가스를 吸入 및 壓縮하는 수 회전자와 암 로우터, 로우터, 케이싱, 샥손 카바 및 베어링 헤드이며, 그림 2는 外觀을 表示하고, 그림 3은 切斷된 詳細部를 說明한다.



[그림 2] 스크류壓縮機의 外觀



〔그림 3〕 스크류壓縮機의 切斷詳細圖

스크류壓縮機에서 冷媒가스의 吸入行程, 閉込行程, 壓縮行程 및 吐出行程이 로우터의 回轉에 따라서 行하여진다. 따라서, 가스흐름의 抵抗을 적게하고자 吸入부터 吐出까지의 가스흐름을 圓滑하게 하기 爲하여 軸과 平行으로 吸入하고, 軸과 平行으로 壓縮한後, 軸方向과 半徑方向으로 吐出한다.

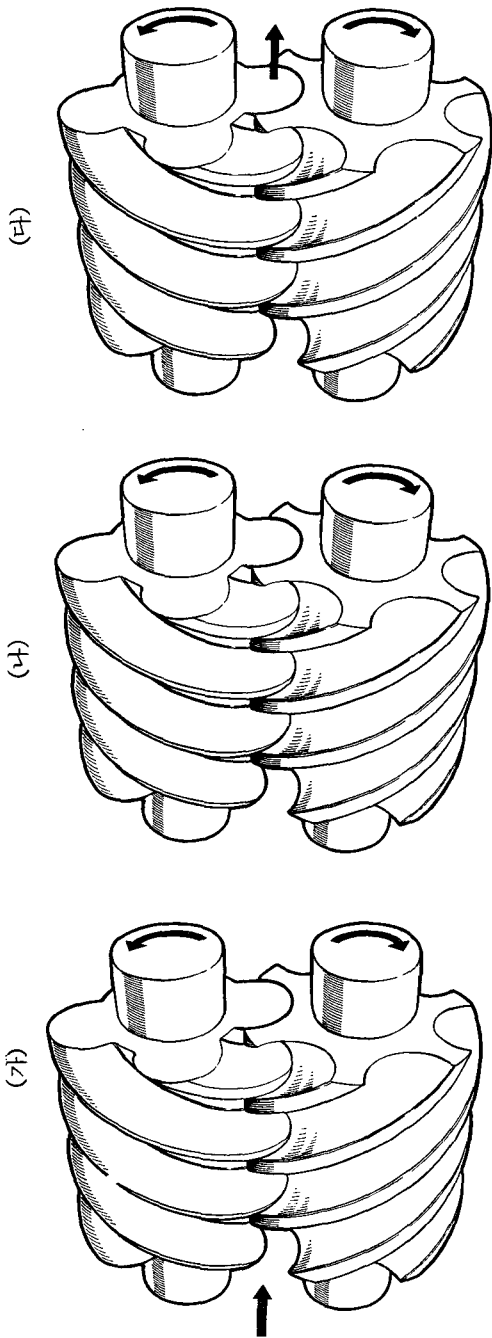
로우터 케이싱은 高級鑄鐵製로서 로우터部分은 로우터와 케이싱의 隙間을 正確하게 維持하도록 精密加工하였다. 가스壓縮側에는 二重構造로 되어서, 容量制御辨, 가스 바이패스孔, 및 潤滑油通路로 되었다.

로우터는 그림 1에서 알수있는 바와같이 凸凹形으로 되었으며, 右側로우터를 수 회전자(Female Rotor) 라하며, 4개의 齒數(Four lobes)로 되었고, 左側로우터를 암 로우터(Male Rotor)라고 하며, 6개의 齒數(Six lo-

bes)로 形成되었다. 스크류壓縮機의 齒數組合은 2 : 4, 3 : 5, 4 : 6, 및 6 : 8로 되는 것이 一般의이지만 冷凍用壓縮機로서는 4 : 6이 各製作會社에서 共通의으로 採擇되고 있다. 로우터는 炭素鋼棒을 極히 精密하게 加工하였으며, 齒面部分은 油噴射로 充分한 潤滑이 되고, 암 로우터에 加하여지는 가스에 依한 回轉力을 調査한 結果, 가스壓力에 依한 힘의 合成力은 全部中心으로 向하고 回轉을 爲한 힘은 거의 必要하지 않으며 單只 수회전로우터의 실(Seal)作用한다고 생각된다. 따라서 齒車의 負荷는 거의 없으므로 摩料도 없고 壽命이 오래간다고 保證할수 있다. 로우터의 剛性은 充分함으로 一般의 回轉機械에 比하여 높은 危險速度로 된다.

3. 1 吸入行程

그림 4의 (가)는 吸入가스의 狀態를 表示한다.



[그림 4] 스크류壓縮의 空間의 變化

吸入側에서는 吸入孔으로부터 密閉空間으로 흘러 들어오고, 두개의 로우터의 齒 (lobes) 는

吸入側兩面中央에서 물려있다. 로우터가 回轉하는데 따라서 물림은 吐出側으로 吐出側으로 移動하면서 두 로우터間과 로우터 케이싱 사이의 空間容積을 增加시킨다. 이 空間은 最大吸入容積이 되었을때 吸入孔으로부터 遮斷된다.

3. 2. 壓縮行程

로우터의 廻轉이 進行됨에 따라 그림 4의 (나)에서 알수있는 바와 같이 두 로우터는 吸入側부터 물리기 始作한다. 이때의 두 로우터의 組合은 吸入行程과 다르다. 그 理由는 齒數가 同一하지 않기 때문이다. 물림이 始作되면 密閉된 空間의 容積이 減少된다. 卽 密封線은 吐出側으로 移動되면서 容積은 減少되고 가스壓力은 上昇되는 壓縮作用이 이루어지게 된다.

3. 3. 吐出行程

어떤回轉角에서 齒間의 容積이 一定하게 되면 吐出側開口部와 齒間의 空間은 吐出孔에 通하게 되고 가스는 吐出側으로 밀려나게 된다. 좀더 물림이 移動하면 空間의 容積이 零으로 되어 完全히 가스가 남아있지 못하게 된다. 그림 4의 (다)를 참조하라.

以上과 같이 吸入, 壓縮, 및 吐出行程이 行하여 지며, 1阻의 齒間에 對하여 密封線의 한쪽에서는 壓縮 또는 吐出를 하는 容積減少가 되고, 密封線의 反對側에서는 空間容積이 增加하여 吸入行程이 이루어지고 있으며, 回轉數가 比較的 빠르므로 吐出가스의 脈動이 거의 發生하지 않는다.

3. 4. 베어링과 샤프트 실

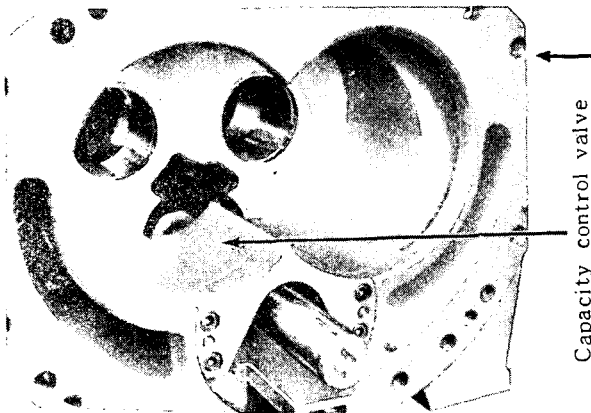
스크류壓縮機는 特殊한 型을 除外하고는 般的으로 開放型이다. 따라서 冷媒의 漏洩을 防止하는 高速用 샤프트 실이 必要하다. 샤프트 실은 카본面과 金屬面이 接觸하여 冷媒의 漏洩을 防止하는 型으로서 特殊材質의 카본과 合金으로 製作하고, 廻轉時의 磨耗와 發熱 및 漏洩을 防止하는 潤滑油注入時 오일의 흐름을 圓滿하게 하는 홈이 파져있어 苛酷한 條件에서도 運轉을 可能케하고, 壽命을 길게하도록 되었다.

베어링은 그림 3의 4번과 9번에서 보는

바와 같이 放射形負荷에 對하여는 슬리브 베어링 (Sleeve bearings) 을 使用하였고, 5 번은 軸方向荷重 (Thrust load) 卽 로우터回轉에 依한 가스壓力的 推力으로 因한 스라스트 荷重을 받음과 同時에 吐出側로우터端面과 베어링 헤드壁面의 間隙을 正確하게 維持하는 役活을 말도록 보울 베어링 (Ball Bearing) 을 使用하였다. 이 베어링은 高精度가 要求됨으로 超精密形베어링을 使用한다. 스크류壓縮機에서 特殊한 것은 油壓스라스트 바란싱 (Hydraulic thrust balancing) 機構이다. 이것은 吸入側은 軸直角方向의 荷重을 받는 베어링과 스라스트를 바란스시키는 役活을 시키기 爲하여 그림 3의 6번과 같이 바란스 피스톤을 設置하였다. 巴란스 피스톤이 있어서 베어링의 壽命을 延長시켜주며, 베어링 計算壽命이 스크류壓縮機의 點檢時期를 決定지워주고 있어서 一般적으로 25,000時間點檢, 50,000時間 點檢으로 베어링을 交換한다.

3. 5. 容量制御裝置

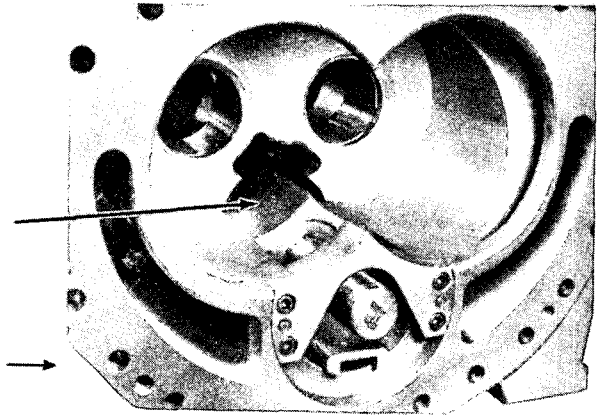
容量制御方法에는 여러가지 方法이 있으나, 여기서는 現在 冷凍用壓縮機로 使用되는 스크류壓縮機에 關하여 說明키로 한다.



[그림 5 (가)] 스크류壓縮機의 容量制御裝置, 全負荷일때.

그림 5의 (가) 는 容量制御발브 (Capacity C-

ontrol Valve) 機構에 依하여 冷媒가스의 一部를 바이 패스 (By-Pass) 시키는 方法에서 全負荷運轉時의 位置를 表示하였다. 그림 5의 (나) 와 그림 3을 對照하면서 說明하는것이 理



[그림 5 (나)] 容量制御裝置의 部分負荷일때

解하기 쉬울것 같다. 그림 5의 (나)에서 알 수 있는 바와 같이 로우터 케이싱의 가스壓縮側齒合部에 로우터와 平行하게 移動할수 있는 슬라이드 발브 (Capacity control valve)를 그림 3의 7번 슬라이딩 발브 作動 피스톤 (Sliding Valve Actuating Piston)에 連結시켰다. 7번의 피스톤에 依하여 슬라이딩 발브를 移動시킴으로서 로우터의 壓縮部分의 長이를 바꾸는 方法이다.

이 方法에 依하면 容量調節을 無段階로 10%에서 100%까지 運轉이 可能하다.

3. 6. 潤活油와 油噴射

앞에서 說明한 바와 같이 스크류壓縮機를 冷凍用に 使用하는 것은 油噴射式 (oil Injection type) 이다. 各 베어링에 給油하는 潤活油와 容量制御의 슬라이드 발브上部, 로우터齒合部에 油噴射를 한다. 潤活油와 噴射油는 同一한 오일이고, 同一한 오일 펌프에 依하여 給油 및 噴射되어 케이싱內에서 潤滑, 로우터의密封 및 로

우터의 冷却作用을 하고, 가스吐出側으로 모여서 吐出가스와 같이 油分離器로 壓送된다. 油分離器는 油 탱크를 兼하는것이 一般的이고, 分離된 油일은 油일冷却器에서 所要溫度까지 冷却되어, 油일 펌프로 流入된다. 그림 3의 14번은 油일 펌프를 表示한다. 油일 펌프는 기어式이다. 스크류壓縮機에서 循環되는 油量은 冷媒의 變位量의 8~1%의 範圍가 되고, 油일과 粘度는 壓縮機의 性能과 耐久性에 크게 影響을 주는故로, 油일의 種類 및 供給油溫度에 對하여 製作會社의 指示를 어기지 말고, 管理를 하여야 된다.

4. 스크류壓縮式冷凍機의 特性

스크류壓縮式冷凍機의 特性에 關하여 本學會誌 Vol. 1. No.2. Page 46에 掲載되었으므로 序論에서 理解를 求한바와 같이 重複을 避하고 지 한다.

油일 噴射式 스크류壓縮機는 冷媒가스와 油일이 混合되어서 噴射되므로 性能에 關係되는 要素가 增加하게 된다. 一般的으로 蒸發溫도와 凝縮溫度를 定하고 冷凍能力에 對한 所要馬力은 各製作會社의 안내서에 依하여 比較하는 것이 妥當하다고 생각한다.

그림 3에서 吸入 및 吐出발브가 表示되어 있지않은 것은 스크류壓縮機에는 往復式壓縮機같은 발브가 없다. 따라서 스크류壓縮機를 使用한 冷凍裝置에서는 運轉을 停止하면은 가스의 壓力은 高壓側에서 低壓側으로 壓縮機를 通하여 逆流하게 된다. 이 逆流를 防止하기 爲하여 低壓側과 高壓側에 逆止발부 (Cheek Valve)를 附着하여야 된다. 그러나 壓縮機內部는 高壓狀態로 均壓된 後에 停止하게 된다. 起動時는 容量制御발브가 最小負荷인 位置에 있게 되고, 壓力差도 없어서 壓縮機의 起動토크가 적지만은 回轉速度가 增加함에 따라서 壓縮機內部에서 加스의 壓縮과 油일의 攪拌이 일어나면서 壓縮機의 토크도 增加하는 傾向이 있다.

스크류壓縮機는 蒸發溫度 -15°C , 凝縮溫度

30°C 일때의 容量으로 100(CGS) RT 以上일때 그 特性이 往復式 或은 遠心式보다 優秀함을 認定받게 된다. 그러므로 新設되는 大容量의 冷蔵, 冷凍設備, 漁船의 冷凍設備等에 漸次 스크류壓縮機의 採用이 增加하였고, 空氣調和의 冷凍設備에도 空氣熱源 히트 펌프 사이클을 兼하여 使用되고도 있다. 지금까지 使用되고 있는 往復式壓縮機 또는 遠心式壓縮機는 苛酷한 運轉條件, 리퀴드 백 (Liquid Back) 등으로 使用上的 制限이 여러가지 있으나, 스크류壓縮機는 比較的 이러한 制限을 慎重하게 받지 않아도 되므로 우리나라에서도 電力事情이 좋아지면은 空氣熱源에 液體燃料를 補助熱源으로 하는 히트 펌프에 依한 冷暖房機로서 登場하여야 될 것으로 믿는다.

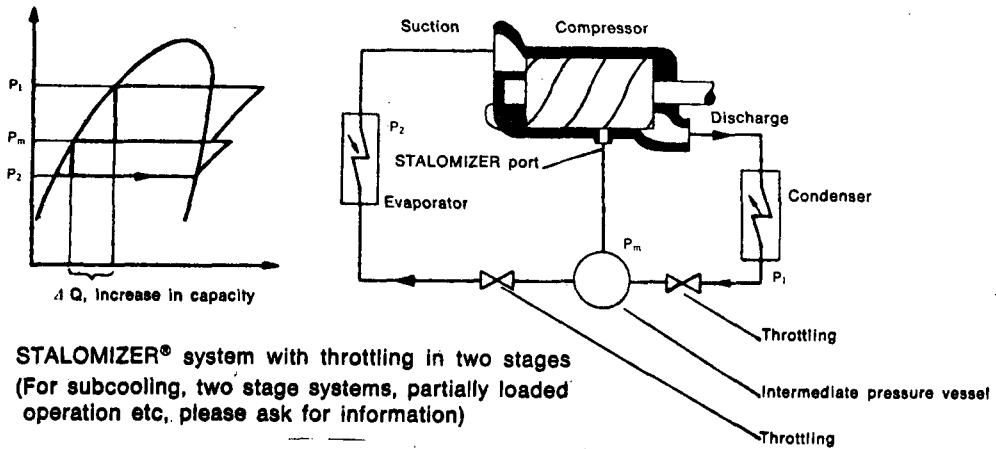
騒音에 關하여도 各國에서 公害問題로 큰 比重을 갖고 從來의 冷凍裝置와 比較檢討한 結果 高速多氣筒壓縮機보다 적어지고 있으며, 遠心式壓縮機를 設置할수 있는 場所라면 스크류壓縮機도 使用할수 있다. 機械의 運轉騒音を 分析하여 보면은 大部分이 驅動用電動機의 騒音が 큰것 같이 스크류壓縮機에서도 騒音의 源泉은 電動機라고 할 수 있다.

스크류壓縮機는 앞에서 說明한 바와 같이 單段으로도 壓縮比가 크고, 吐出가스의 溫度가 高速多氣筒壓縮機처럼 높지 않으며 또한 壓縮比에 依한 體積效率의 變化가 적어서 往復式壓縮機에서는 2段壓縮의 運轉範圍를 1段壓縮으로도 運轉이 可能하다.

勿論 運轉效率를 높이기 爲하여는 -30°C 以下の 蒸發溫度일때 스크류壓縮機를 2臺로 2段壓縮을 하든가 또는 高速多氣筒壓縮機에서 콤파운드型 (Compound type) 같이 一臺의 壓縮機에 2段壓縮裝置를 한것을 使用할 수도 있다.

스웨덴의 STAL-LAVAL Co. 에서는 그림 6 과같이 1段壓縮機에 이코노마이저 (Economizer)를 利用한 2段壓縮을 可能케하여 低溫蒸發溫度에서 冷凍能力을 增加시키며 動力을 節約하는 方法을 擇하여 STALOMIZER System

이라고 하였다. 이것은 往復式壓縮機 冷凍裝置 에서의 2段壓縮사이클과 同一한 사이클이 아니



[그림 6] 이코노마이저 裝置에 의한 2段壓縮

므로 準 2段壓縮이라고 할 수 있다.

스크류壓縮機는 吸入에서 壓縮, 吐出行程을 連續적으로 行한다는 것을 說明하였다. 가스의 흐름은 한方向임으로 壓縮行程의 途中인 中間壓力 P_m 의 가스를 吸入하는 것을 往復式壓縮機의 多効壓縮 方式과 같다. 冷凍裝置에서 液을 過冷却시키면 그림의 $P-i$ 線圖에서의 ΔQ 만큼 冷凍能力을 增加시킬수 있다. 中間冷却器 (Intermediate Pressure Vessel)는 후렛슈 (Flash)型이며, 液을 過冷却시킨 蒸發冷媒가스는 STALOMIZER Port로 吸入시키는 裝置를 하였다. 壓縮가스量은 途中에서 增加하므로 軸動力은 增加하지만 冷凍機로서 運轉에는 變化가 없는것이 實驗에서 알수 있었다.

5. 結 論 5. 結 論

스크류壓縮機의 冷凍裝置는 壓縮機 및 附帶施設만이 往復式과 相異하며 蒸發器, 凝縮器, 受液器, 膨脹발브 및 配管等은 같다. 그러나 아직도 우리나라에는 往復式 또는 遠心式 壓縮機 冷凍裝置같이 많이 普及되지 않아서 機器를 選擇할때는 專問家 또는 製作會社와 具體的으로 技術的問題를 相議하는것이 스크류壓縮機의 長點을 活用할수 있고, 經濟的인 施設備 및 運轉費로 運營의 合理化에 適合하게 될 것이

다. 外國의 經驗에 依하면 壓縮機에는 磨耗되는 部分品이 없어서 히트 펌프로 5年間使用한 것을 分解點檢한 結果 거이 新品과 같은 狀態였고, 또한 産業用으로 使用한것의 定期點檢 結果도 磨耗된 部分을 發見하지 못하였다고 한다. 지금도 各國의 製作會社들은 스크류壓縮機에 對하여 여러가지로 改善에 努力하고 있음으로 앞으로 더좋은 改良된 製品이 生産될것으로 믿는다. 우리도 歷史가 얇은機械에 對하여는 不斷한 研究로 正當하게 機器를 設置하고, 製作者와 設計者의 意圖에 맞게 運轉과 保守를 하여 失敗하는 일이 없도록 하여야될 것이다.

이 原稿를 쓰는데 資料를 提供하여주신 STAL-LAVAL Co. 및 SULLAIR CORPORATION의 韓國代理店에 誌上을 通하여 感謝드립니다.

參 考 文 獻

1. 空氣調和, 冷凍工學會誌. 1972年 11月. Vol. 1. No 2.
2. 冷凍. 1967年 3月. Vol. 42. No 473
3. 冷凍. 1973年 12月 Vol. 48. No 554
4. ASHRAE. Hand Book, 1975 Equipment Part. IC. 12, 13, Part VI. 18, 13.