● 特輯 ● —히트펌프—②

히트펌프의 效率的인 利用

The Efficient Use of Heat Pumps

金 潤 東

韓國電力公社 技術研究院 責任研究員

1. 序

히트펌프의 利用分野는 대단히 넓고 또한 그 種類도 用途에 따라 매우 多樣하다. 이를 크게 나누면 冷媒의 驅動Cycle에 따라 (一般 冷凍機의 경우와 같이) 吸收式과 圧縮式으로 用途別로는 産業用과 空調用 (冷暖房機)으로 分類된다. 여기서는 電力消費와 관계가 깊은 圧縮式히트펌프에 대하여만 擧論키로 한다.

히트펌프의 效率은 機器의 製作에서 부터 이것을 利用하는 시스템의 設計와 構成, 그리고 運轉 方法에까지 直接 關係되고 있다. 즉 히트펌프를 效率的으로 利用하기 爲하여는 제작기술(Hardware)과 應用技術(Software)이 잘 調和되어야 하며 따라서 응용 Case마다 상당한 엔지니어링이 필요하게 된다. 이러한 기술이 定着되지 않음으로써 히트펌프에 대한 關心이 높아지고는 있으나 실제 利用實績이 극히 不振한 것이 우리의 現實情이다.

그러면 最近의 國內外에서의 利用事例를 통해 히트펌프의 效率的 利用을 위한 基礎的인 事項을 더듬어 보기로 한다.

2. 하드웨어 側面

압축식 히트펌프는 압축기와 膨脹弁, 凝縮器, 蒸發器 그리고 이들을 制御하는 시스템으로 구성되어 있다. 이들 個個의 性能이 히트펌프 효율과 直結되며 꾸준한 技術開發에 따라 高性能, 小型, 低Cost化되고 있어 機種選擇에 있어서 最近의 기술동향을 파악하지 않으면 안된다.

가. 圧縮機

종래부터 일반적으로 使用되어온 것은 中小型으로 往復動式(Reciprocating Type), 大型에서는 遠心力(Centritugal) 압축기가 주종을 이루고 있다.

왕복동압축기는 그 構造上 Cylinder Clearance에 의한 效率低下등의 결함이 있으나 多氣筒化, 高速化 밀폐化 등으로 최근 10餘年 사이에 COP가 20%向上되고 크기는 10%정 도 減少되었다. 그러나 他回轉式압축기에 비하여 진동, 소음이 크고 성능, 信

賴性의 改善이 限界에 이른감이 있다.

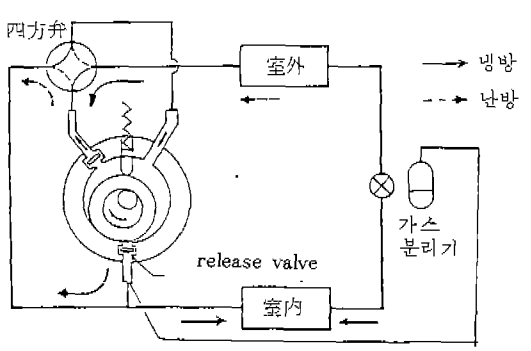
遠心力압축기는 냉매의 循環量이 커서 大型機에 적합하고 Cycle 효율이 좋은 R_{11} 냉매를 사용할 수 있어 COP가 向上된다. 그러나 單段으로는 圧縮比에 한계가 있어 空氣熱源히트펌프로 使用되는 例는 적으며 주로 Double bundl Condenser를 가진 熱回收用으로서 大型建物 空調用으로 利用된다. 高温(工業用) 또는 低温(Ice Link등)用으로 多段型 압축기가 개발되어 있다.

回轉式 압축기에는 로타리, 스크류, 스크롤型이 있다. 이들의 共通點은 Clearance Volume이 작아 体積効率이 좋고 왕복질량이 작아서 진동 및 소음이 적으며 行程의 一方向性으로 압축과정에서의 液 Gas注入 및 Unloading 器具設置가 쉬워 容量可変이 용이하고, 部品數가 적어 신뢰성이 높다. 그러나 材質의 선정 및 精密加工에 高度의 기술을 필요로 한다.

Rotary 압축기는 주로 소형기기에 쓰이며 高압축비를 얻기 어려워 寒冷地의 공기열원 히트펌프로는 적합하지 않다.

그림 1은 Rolling Piston형 로타리압축기를 쓴 에어콘의 Unloading 및 Gas 주입系統圖이다. 난방시에는 운전조건이 苛酷해지므로 Release Valve는 토출측(高圧)에 연결되어 닫힌 狀態이며 냉방시에는 吸入(低圧)측에 연결되어 가스 一部가 흡입구에 返送되어 용량을 감소시킨다(Unloading Cycle)

液化된 냉매를 팽창밸브를 통해 팽창시키면 20% 이상 가스化하는데 이것은 吸熱作用을 못하므로 증



〈그림－1〉 冷房 Unloading 및 Gas 注入 系統

발기에 들어가기 전에 分離하여 증발기入口 엔탈피를 내림으로써 COP를 向上시킬 수 있다. 가려낸 가스를 흡입행정이 끝난 시린더에 주입하면 吐出量은 그만큼 증가하게 된다. Room Aircon Size 에서는 이 주입량이 15% 정도이며 그림 1과 같이 Unload Port와 共用할 수 있다(가스 주입Cycle). 液注入Cycle은 같은 容器에 밀폐되어 있는 모터가 過熱되기 쉬우므로 응축기出口의 액을 別途의 Capillary tube를 통해 압축행정의 최종단계에서 Cylinder 內에 注入하여 冷却시키는 것으로 이때 압축기의 발생열이 냉매에 의하여 응축기에 회수되므로 暖房能力이 增加하게 된다. 以上의 冷媒注入Cycle은 Screw형이나 Scroll형 압축기에 서로 類似한 方法으로 行하여질 수 있다.

Screw압축기는 고압축비의 운전에서도 COP 低下가 작고 信賴度, 低温特性, 振動, 容量 制御특성 등에서 우수성이 認定되고 있다. 最近 密閉型이 개발되어 價格이 싸짐으로써 小型(20KW정도)에도적용가능하게 되었다. 즉 開放型 System의 油分離－冷却－注入기구와 Shaft Seal을 생략할 수 있어 大幅 간소화되었기 때문이다. 용량의 可変은 Rotor Seal上部의 Sliding Valve에 의하여 연속 変調가 可能하다.

스크롤형압축기는 나선형홈(溝)으로된 실린더(固定 Scroll) 內에서 偏心軸에 의하여 円運動을 하는 旋回Scroll에 의하여 압축을 행하는 原理이며 나선 外側에서 吸入하여 中心部로 行程이 進行된다. 이 압축기는 5HP以下의 小形으로서 Screw型이 가진 장점을 거의 가지고 있어 有望한 기종이라 할 수 있다.

나. 熱交換器

히트펌프용 열교환기는 空氣열교환기와 水열교환기로 大別된다. 공기열교환기는 주로 핀튜브형이使用되며 Hytin의 경우 전열면적은 10~20倍 확대되며, fin 面을 깨어 작은 突出部를 階段狀으로 만든 Super Slit fin은 종래의 波形 fin에 비해 20~30% 傳熱係數를 높이고 있다. 또한 管內流를 乱流化하기위하여 관내에 0.3mm 높이의 Rip(⊔⊔⊔)을 Dies

로 成形하기도 한다.

水열교환기는 셀－튜브형이 일반적으로 사용되며 管內에 물, 管外에 냉매를 흐르게 한다. 응축기는 관外의 液膜을 엷게 하기 위하여 표면에 끝이 날카로운 미세한 핀을 成形시킨, 서모액셀 관을 사용하며 이것은 Low fin tube에 비하여 3～5배 열전달율이 높다. 증발기에 있어서는 核沸騰을 促進하기 위하여 氣泡발생이 쉽도록 管表面을 거칠게 압착가공하거나 金屬粒子를 燒結하여 多空面化하는 方法이 使用된다. 그러나 대부분의 냉난방용 空氣열원 히트펌프에서는 응축기와 증발기를 겸하게 되므로 증발 및 응축의 相異한 전열특성을 살리기 어렵다. 이와같은 겸용 열교환기는 銅管을 Corrugate 加工(≈≈≈)하고 表面을 거칠게 처리한 Corrugator tube가 使用되며 이것은 Low fin tube에 비하여 응축 10% 증발 25% 정도 능력이 향상된다.

다. 膨脹밸브

팽창밸브는 히트펌프 사이클에서 단순한 圧力의 降下뿐 아니라 負荷에 따라 냉매의 흐름을 조절하는 기능을 갖고 있다.

캐피러리 튜브는 가장 단순한 팽창밸브의 하나로서 어느 정도 열원온도 변화에 追從가능하나 광범위하게 대처하기는 어려워서 온도변화가 심한 공기열원 히트펌프에는 不適合하다. 팽창밸브의 동작이 히트펌프 운전효율을 左右하므로 증발기出口의 過熱, 過冷여부를 정확히 검출하여 제어하는 고성능의 팽창밸브를 채용하는 것이 重要하다. 冷媒를 利用한 온도팽창밸브가 많이 소용되며 서미스터로 온도를 검출하여 電氣的으로 밸브를 제어하는 電動方式은 정확성이 높아 季節운전성능을 크게 향상시킬 수 있다.

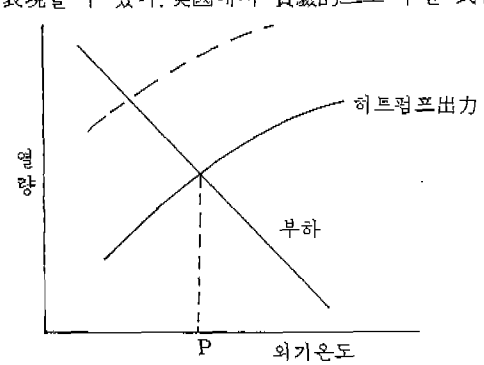
라. 除霜制御

증발기 Coil에 서리가 끼이는 것은 공기열원히트펌프에서 피할 수 없는 현실이며, 이 서리는 증발기의 열흡수를 防害하므로 週期的으로 除去하지 않으면 안된다. 除霜方法에는 여러가지가 있으나 냉난방겸용 히트펌프에서는 냉매의 순환을 反轉시키는 방법이 가장 효과적이며 一般化되어 있다. 제상제어方法으로는 一定온도 以下에서는 무조건 제상운전을 주기적으로 행하게하는 時間온도法이 많이 사용되고 있으나 우리나라와 같이 엷동기에 습도가 낮은 기후에서는 不必要한 動作이 많게되어 적당한 方法이라 할 수 없다. 최근에는 제상운전시 공기열교환기 표면얼음 有無에 따라 응축압력이 크게 변화하는 것을 검출 제상完了信號로 이용하는 방법이 사용되기도 한다. 그밖에 서리에 의하여 증가하는 공기저항검출방법, 증발기 표면과 외기온도차를 검출하는 열저항검출방법등을 併用함으로써 불필요한 제상동작을 막을 수 있다. 제상 Cycle은 순수한 에너지손실이 되므로 불필요한 동작은 계절운전 COP를 떨어뜨린다.

3. 소프트웨어 측면

가. 空調用 히트펌프

공조용 히트펌프의 대부분을 차지하는 공기 열원 히트펌프는 그림 2과 같이 酷寒期 負荷要求가 클 때 成績係數가 떨어져 出力이 최소가 되는 모순을 갖고 있다. 부하와 出力이 밸런스가 되는 P점의 左측에서는 補助熱源이 필요하며 右측에서는 斷續運轉으로 負荷 追從하게 된다. 단속 운전시 기기의 過渡特性, 豫熱등에 의하여 損失이 발생하며 단속회수는 기기의 稼動率(부하/HP出力)에 反比例하므로 단속운전에 따른 손실에너지를 가동율의 函數로 表現할 수 있다. 美國에서 實驗的으로 구한 式은 다



〈그림－2〉

음과 같다.

$$L_c = \left(\frac{\gamma}{0.4671 \times \gamma^{0.161}} - \gamma \right) P_i$$

L^c : 단속운전에 따른 손실량(kWh)
P^i : 히트펌프入力(kWh)　γ : 稼動率(%)

國內市販되고 있는 패케지형 히트펌프(용량 10RT)에 대하여 시험결과 1회 斷續時 2～2.4分間 운전에 해당하는 에너지의 損失이 발생하였다. 즉 60分 가동후 1회 단속이 있었다면 2.4/60 즉 4%의 단속운전손실이 발생된다. 히트펌프의 용량을 최대부하 부근에 맞추면 가동율이 크게 떨어지고 단속손실이 증가하며 초기 투자비와 함께 전력의 基本料金이 上昇하여 不利하다. 따라서 최적의 P점 즉 히트펌프의 適正한 사이즈를 정하는 것은 경제성을 높이는데 매우 중요하다. 그것은 설치지역의 氣温頻度曲線과 건물부하특성, 보조열원의 종류, 전기요금, 히트펌프의 價格 및 性能曲線에 관계되므로 간단히 구하기는 어렵다. 냉난방 겸용일 경우 일단 냉방부하에 맞추어 전체 容量을 정하고 2台以上으로 分割하여 台數制御를 행하면 단속손실을 크게 감소시킬 수 있다.

실제 30RT 1대와 15RT 2대 운전을 시뮬레이션한 결과 年間운전COP는 10%이상 向上될 것으로 보인다.

히트펌프의 부하추종운전을 理想的으로 할 수 있는 方法은 압축기 (또는 送風機도 포함)를 인버터 등으로 可變速운전하는 것으로 최근에 많이 실용되고 있다. 가변속운전을 할 경우 단속손실이 거의없고 Unload에 의한 압력손실감소, 기계효율향상 등으로 연간 에너지절약量은 20～30%에 달하는 것으로 報告되고 있다.

그러나 현재의 家庭用 및 業務用전기요금을 적용할 경우 石油 또는 가스와 경쟁이 되지 않으므로 염가의 深夜電氣料金이 적용되는 時間(23：00～07：00)에 히트펌프를 운전하여 蓄熱槽에 에너지를 저장하는 축열식 히트펌프 시스템이 권장되고 있다. 축열식 시스템은 전기요금절약 外에 축열량만큼 機器容量을 감소(약 1/2)할 수 있어 受電設備를 포함한 설비비부담 및 電力기본요금이 절약되고 部分負荷 또는 時間外 부하에 대하여 열원기기 가동없이 공급가능하므로 운전효율이 向上된다.

電氣供給者 쪽에서 보면 尖頭負荷를 심야시간帶에 이전함으로써 부하율을 높여 電力原價를 節下할 수 있게된다(우리나라에서는 部分蓄熱方式에 대하여 아직 심야요금 惠澤을 주지않고 있으나 不遠 시행될 전망임) 축열시스템을 설계부하의 50%를 축열할 수 있도록 설계할 경우 年間 심야전력 依存率은 70% 以上이 된다.

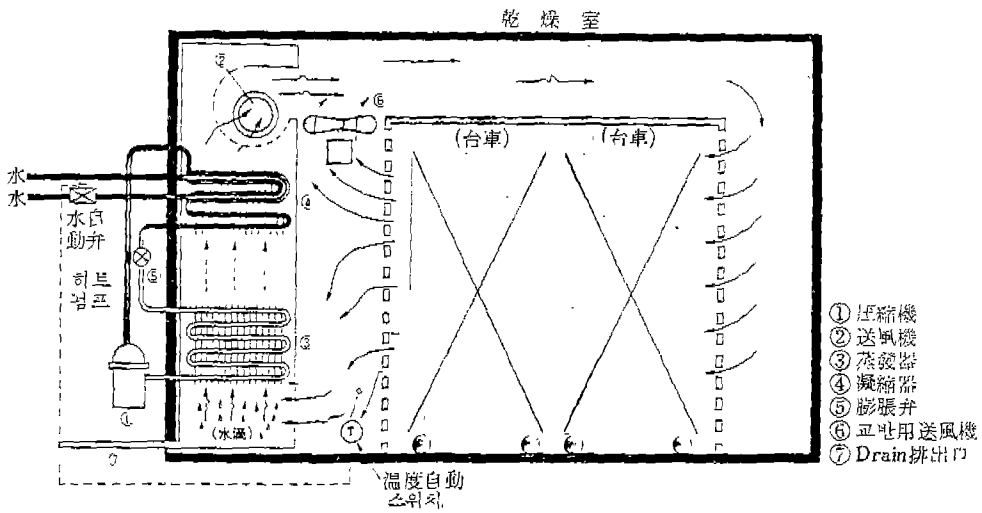
공기열원 히트펌프의 약점은 한냉한 기후에서 효율低下로 경제성이 떨어지는 것이며 기종에 따라 －10℃～－15℃이하에서 運轉不能이 되는 경우가 많다. 이에 대비하여 한냉지(우리나라 內陸 및 中部以北地方해당)에서는 補助熱源이 필요한데 축열시스템에서는 石油 또는 가스를 쓰는 溫水보일러 또는 심야전력으로 電熱器를 가동하여 보충축열을 행하도록 한다.

나. 産業用 히트펌프

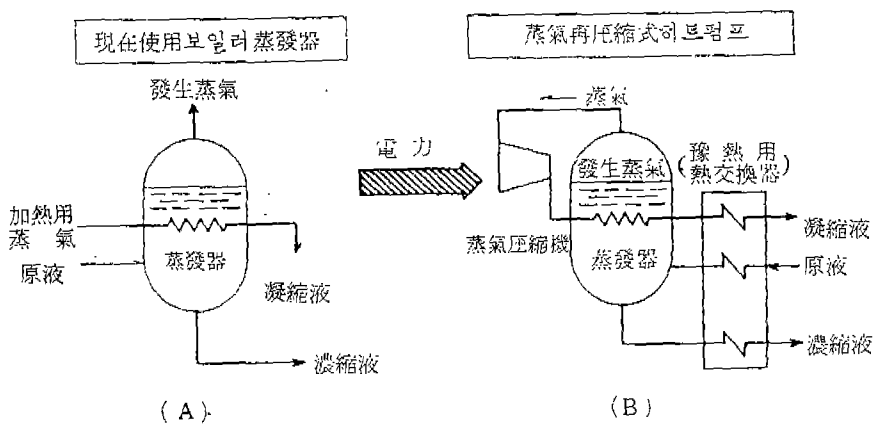
산업용으로서 히트펌프를 가장 효율적으로 應用할 수 있는 분야는 加熱과 冷却이 반복되는 工程, 폐열회수재열, 溶液의 濃縮 또는 蒸留공정 (증기재압축HP利用) 그리고 低温乾燥등 多數이다.

그림3은 農水産物을 건조하는 저온건조기의 例이며 공기－공기히트펌프를 사용한 것이다. 즉 히트펌프의 증발기는 냉각除濕器로 응축기는 再熱器로 동작하게 하여 건조한 공기를 지속적으로 送風하는 시스템으로서 종래의 열풍건조기에 비하여 에너지소모는(송풍기제외) 1/2이하이다. 또한 저온으로 건조온도가 자동제어되어 제품의 질이 좋아지고 均一하게 되는 利點도 있다.

蒸氣再圧縮式 히트펌프는 **그림4** A와 같이 보일러의 증기로 원액을 증발기에서 가열하여 농축하는 것을 B도와 같이 발생증기를 압축하여 고온고압化한 후 증발기 가열코일을 통과시켜 원액을 가열하고 고압증기는 응축하여 응축액(Drain)으로 排出된다. 즉 원액은 농축액과 응축액로 분리되어 나오며 농축액이 목적일 때는 농축공정 응축액이 목



〈그림－3〉 低温乾燥機시스템



〈그림－4〉 蒸氣再圧縮式 히트펌프原理圖

적일 때는 증류공정이 된다. 이것은 하나의 Open Loop히트펌프 시스템으로서 팽창밸브가 필요없으며 일반증기가열방식에서 처럼 多重効用시스템도 구성할 수 있고 COP는 20以上될 때가 많다. 이와 같이 이 히트펌프는 에너지절약 효과가 대단히 커서 대체로 투자회수기간은 1年以內로 된다.

이상 히트펌프의 効率的인 利用이란 제목으로 히트펌프의 要素技術 및 응용측면에서 概觀하였다.

*