

冷凍機의 自動制御(II)

Automatic Controls for Refrigerating System (II)

이 성 주

S. J. Lee

(주)경원세기 기술영업부

• 1950 년생

• 냉동기술의 산업에의 응용분야에 관심을 가지고 있음.

3. 壓力制御

冷凍裝置는 壓縮, 凝縮, 膨脹, 蒸發을 반복하는 사이클로 이루어지며 그 상태를 조절하는 것은 바로 각 상태에 따른 압력의 제어에 따른다고 할 수 있다. 그러므로 壓力制御裝置를 분류해 보면 다음과 같이 나눌 수 있다.

3.1 高壓側 壓力制御裝置

(1) 凝縮壓力 調整機

이는 주로 冷凍 프랜트가 겨울철에 운전되는 경우 외기가 차가운 關係로 凝縮壓力이 저하되는 것을 방지하고 정상운전이 가능하도록 하기 위해 설치하는 것으로서 凝縮器의 送風機 速度制御 또는 에바콘의 送風機 臺數制御, 水冷式의 경우에는 냉각탑의 送風機의 制御 등이 있지만 여기서는 주로 調節밸브를 이용하는 것에 한하여 소개토록 한다. 또한 空冷式 凝縮器를 기준으로 한다. 凝縮壓力 調整밸브에 걸리는 壓力調整의 원리는 凝縮器의 표면적이 일정할 때에 그 冷却能力은 다음과 같이 표시할 수 있다.

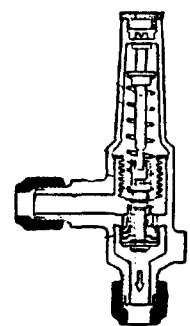
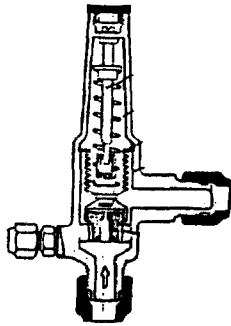
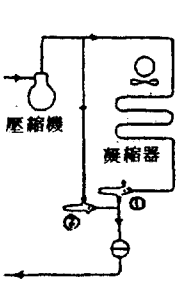
$$Q = K \times E \times (\Delta t)$$

열통과율 K 는 Δt 의 변화에 따른 영향이 작다고 보고 겨울철 Δt 가 커지게 되면 Q 는 커지게 되어 冷凍裝置의 요구능력보다 커지게 되기 때문에 高壓이 저하한다. 이를 制御하기 위해 凝縮器 出口에 自動流量 調整밸브를 설치하여 Δt 가 커지는 겨울철에 밸브가 닫히는 방향으로 되면 凝縮器 內에 액이 채워지게 되므로 유효 전달면적이 줄어들어 凝縮壓力을 상승시키는 효과를 내도록 하는 것이다. 그림 51에 凝縮壓力 調整밸브의 원리를 나타냈다.

그림 52에는 3 방향 凝縮壓力 調整밸브를 나타낸 것으로 그림 51에 나타낸 핫가스 바이패스밸브의 역할을 합한 것과 같은 원리를 이용한 것이다.

(2) 差壓 調整밸브

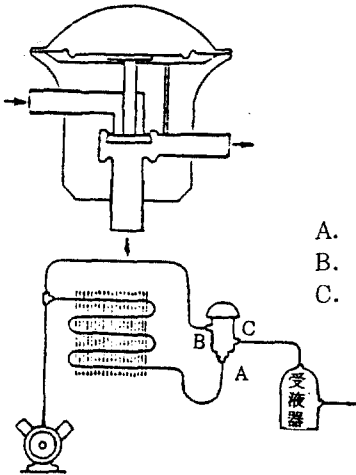
핫가스 除霜裝置를 이용하는 冷凍 프랜트에서 蒸發器의 역할이 凝縮器로 바뀌는 과정에서 생기는 凝縮된 液冷媒를 원활하게 회수하기 위해서는 凝縮器의 液冷媒의 壓力과의 차이가 없는 경우 원활하게 蒸發器側에서 액화된 冷媒의 회수가 어려워진다. 이를 보완하는 장치로 활용되는 것이 差壓調整밸브이다. 그림 53에 나타낸 것이 高壓側 差壓밸브의 사용례로서 除霜시 파이로트 電磁밸브가 닫히고 差



① 凝縮壓力 調整밸브(CPR)

② 핫가스 바이패스 調整밸브 (CPC)

그림 51. 凝縮壓力 調整밸브



- A. 凝縮器로부터
- B. 壓縮機로부터
- C. 水液器로부터

그림 52. 3方밸브형 凝縮壓力 調整밸브

壓밸브의 파이로트밸브가 미리 $11\text{kg/cm}^2\text{G}$ 로 설정되어 있어, 差壓밸브 出口에서는 $1\text{kg/cm}^2\text{G}$ 의 압력강하가 있어서 $10\text{kg/cm}^2\text{G}$ 로 되므로 壓縮機 吐出側은 $11\text{kg/cm}^2\text{G}$ 로 되어 있으므로 除霜을 행한후의 凝縮된 액은 膨脹밸브와 병렬로 연결된 역지밸브를 지나서 凝縮器側의 압력은 差壓調整밸브로 $10\text{kg/cm}^2\text{G}$ 로 감압시켰기 때문에 액을 원위치시킬 수 있게되는 것이다. 그림 53에 高壓用 差壓調整밸브를 그림 54에 高壓側 差壓調整밸브의 應用例를 나타냈다.

3. 2 低壓側 壓力制御裝置

(1) 蒸發壓力 調整밸브

蒸發壓力을 일정하게 유지하기 위해서 사용되는 것으로서 被冷却 流體의 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 또 한대의 壓縮機로 여러대의 蒸發器를 운전할 때에 각각의 蒸發壓力이 달라지므로 이때도 각 蒸發器의 압력이 그

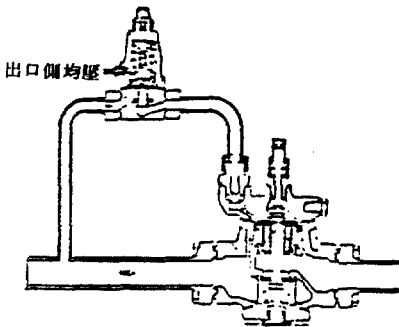
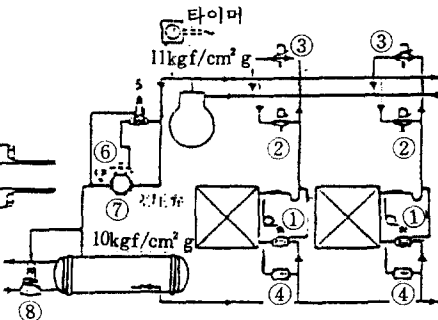


그림 53. 高壓用 差壓 調整밸브



- ① 溫度式 自動 膨脹밸브
- ② 핫가스 電磁밸브
- ③ 吸入 電磁밸브
- ④ 역지밸브
- ⑤ 差壓 파이로트밸브
- ⑥ 電磁 파이로트밸브
- ⑦ 差壓밸브
- ⑧ 冷却水 調節밸브

그림 54. 高壓側 差壓밸브의 應用例

이하로 떨어지지 않도록 하기 위하여 취부하는 것으로서 그림 55에 나타냈다. 이 경우 압축기 1의 吸入壓力는 低溫側 蒸發器는 -10°C 로 설정하였고 高溫側은 0°C 로서 蒸發壓力調整밸브를 설치하여 동시운전을 행하고 있다. 이關係를 P-i 선도에 나타냈다. 또한, 低溫側 吸入壓力에는 역지밸브 H를 설치하여 장치의 정지시에 吸入가스가 低溫側으로 유입되어 凝縮되는 것을 막기 위한 것이다.

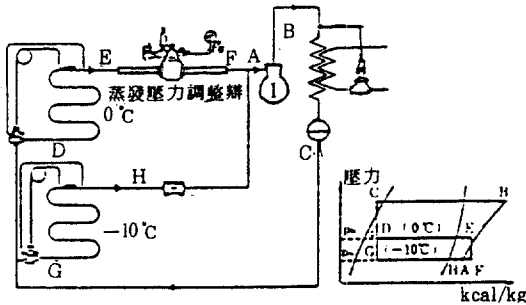


그림 55. 蒸發壓力調整밸브의 사용例

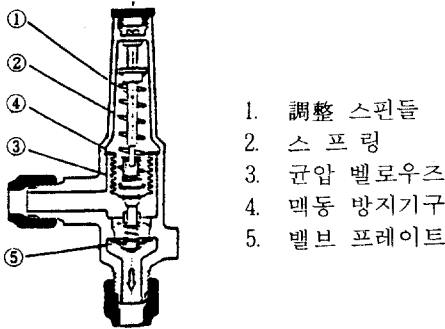


그림 56. 直動形 吸入壓力調整밸브

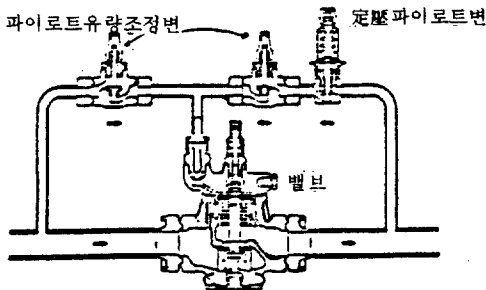


그림 57. 파이로트式 吸入壓力調整밸브

(2) 吸入壓力調整밸브

이 밸브는 특히 負荷제한의 성격을 띠고 있다. 즉, 吸入壓力의 소요동력 이상으로 되면 전동기는 過負荷가 되므로 소손될 위험이 따르게 된다. 특히 低溫用 및 핫가스 除霜후 또는 장기간 정지후 재기동할 경우 등에 이런 위험이 크다. 이런 경우 吸入壓力調整밸브를 설치하므로써 過負荷로 인한 해를 방지시킬 수 있다. 일반적으로 이것을 SPR (suction pressure regulator)이라고 부른다. 종류로는 直動形과 파이로프形이 있으며 그림 56과 57에 각각 그 구조를 나타냈다. 또한, 이 밸브는 出口壓力에 의해서 작동하는 것이기 때문에 入口側(蒸發器側)의 영향을 받지 않는다.

(3) 定壓밸브

定壓밸브는 冷媒의 압력을 일정하게 유지하는 調整밸브로서 기능은 蒸發壓力調整밸브와 똑같지만 목적에 따라서 압력을 빼내는 릴리프 밸브의 역할도 하고 핫가스 除霜시 蒸發器內의 압력을 일정압력, 예를 들면 5kg/cm^2 로 유지하고 조기에 除霜토록 한다든가 액펌프방식의 펌프 壓力를 일정하게 유지하기 위해서 펌프 吐出側에 바이패스로서 설치하기도 한다. 定壓밸브의 선정은 원칙적으로 蒸發壓力調整밸브와 똑같이 하지만 液冷媒의 경우는 容量表에 나와있지 않기 때문에 流量係數 Kv 값에서 산출한다. 유량은 다음식에서 구한다.

$$Vv = Kv \times (\Delta P / \rho v)^{1/2}$$

여기서

Vv : 液의 流量 [m^3/hr]

Kv : 流量係數 밸브 전후의 差壓, 1kg/cm^2 에서의 水의 流量 [m^3/hr]

ρv : 液冷媒의 比重량 [kg/m^3]

3.3 壓力스위치

冷凍 프랜트의 기기를 보호하기 위한 安全裝置로 주로 사용되는 것이 壓力스위치류이다. 압력을 감지하는 부분은 주로 벨로우즈를 사용하고 링크기구에 의해서 電氣接點을 開閉시킨다.

(1) 高壓스위치

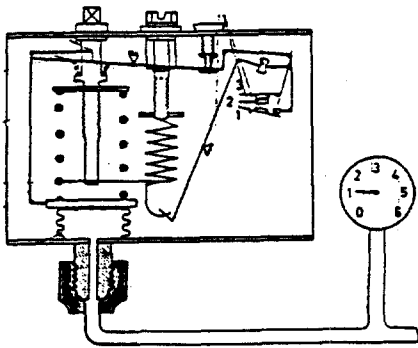


그림 58. 高壓스위치의 構造

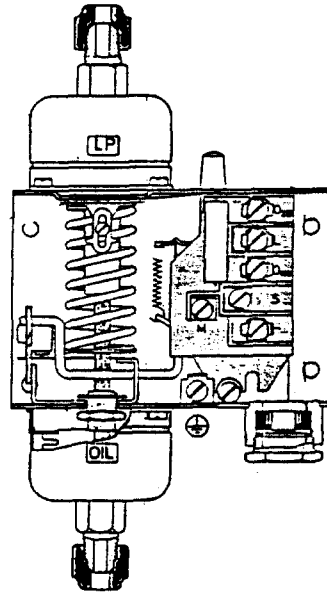


그림 61. 油壓스위치의 原理

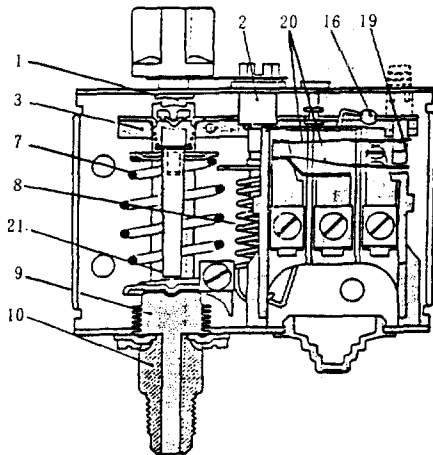


그림 59. 低壓스위치의 構造

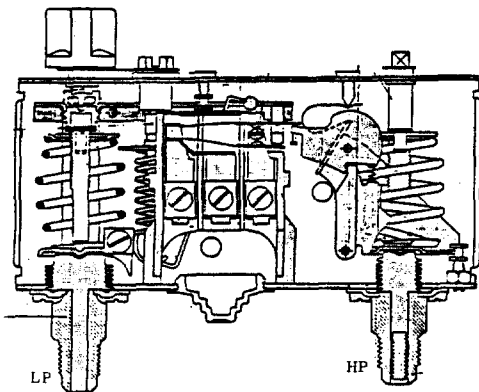


그림 60. 低壓스위치의 構造

高壓壓力이 이상고압이 되었을 때 회로를 차단하여 壓縮機를 정지시킨다.

(2) 低壓스위치

低壓壓力을 제어한다. (30 cmHg ~ 7kg/cm²)

(3) 高低壓스위치

高壓 및 低壓스위치의 기능을 한군데 모아 놓은 것이다.

(4) 油壓스위치

이 스위치는 壓縮機의 윤활유계통을 보호 감시하는 장치로 크랭크케이스내의 壓力(吸入 壓力)과 油壓의 差壓(일반적으로 1.5~2.5kg/cm²)을 感知하는 두개의 벨로우즈와 바이메탈에 의한 時間遲延 裝置(약 60초~120초)를 내장하고 있다.

4. 溫·濕度の 制御

4.1 溫度的 制御裝置

冷凍裝置는 주로 低溫시스템에서 온도조절을 그 목적으로 하기 때문에 주로 低溫시스템을 위주로 기술한다.

(1) 써모스탯트류

1) 바이메탈식

이것은 두개의 이종금속을 결합시켜 온도에 따른 膨脹係數가 각각 다른 점을 이용하여 이종금속의 휨의 변위를 이용하여 수은 스위치나 마이크로 스위치를 動作시키는 溫度調節裝置이다.

2) 벨로우즈식

이 방식은 感溫筒, 캐필러리 튜브, 벨로우즈로 구성된 것에 冷媒가스나 액 등을 채우고 감온통에서 받는 온도변화에 따라서 충전된 매체의 가스 또는 액이 膨脹, 수축함에 따라 電氣接點을 開閉하는 방식으로서 冷凍裝置에 가장 많이 사용되는 것이다. 가스 또는 액의 충전방식에 따라서 高溫, 中溫, 低溫用으로 나눌 수 있다. 그 대표적인 구조를 그림 63에 나타냈다.

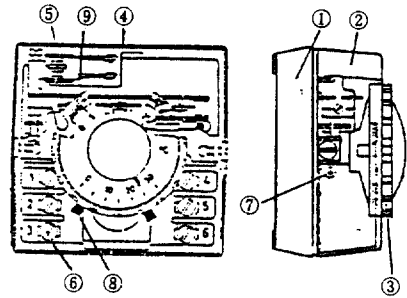
3) 電氣 抵抗式

이것은 금속 온도변화에 따른 電氣抵抗값의 변화를 휘스톤 브리지 회로와 연결 電壓變化로서 증폭시켜 릴레이를 움직이도록 하는 써모스탯트로서 電子工業의 발달에 힘입어 크게 발전한 방식이다. 이것은 또한 電子回路를 보완하므로써 2위치식(ON-OFF식) 또는 比例積分式, 比例+微分+積分式(PI, PID)으로 제작하여 정도높은 溫度制御를 할 수 있는 특징이 있다. 사용되는 溫度感知機는 백금(Pt), 혹은 니켈(Ni) 感知機가 주로 사용된다. 그림 64에 電氣抵抗式 써모스탯트에 의한 PID 制御의 예를 나타냈다.

그밖에 溫度感知裝置를 異種金屬의 接合點에서 발생하는 열기전력을 이용한 써모커플방식의 感知裝置를 이용한 電子式 制御裝置로 많이 사용된다. 이 경우 써모커플로 사용되는 것은 동-콘스탄틴(Ni 40%, Cu 60%)등을 주로 사용한다.

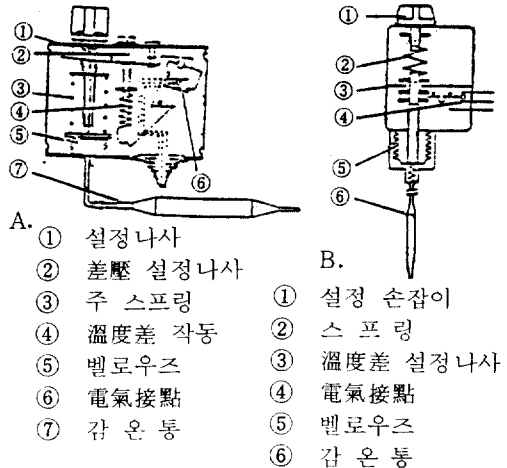
4.2 溫度의 制御

冷凍 프랜트에서의 溫度制御는 보통 0℃이하를 기준으로 하여 이론상 온도를 制御할 수 없는 영역으로 보아야 한다. 그러므로 보통 농산물의 低溫貯藏庫 시스템에서는 유니트 쿨



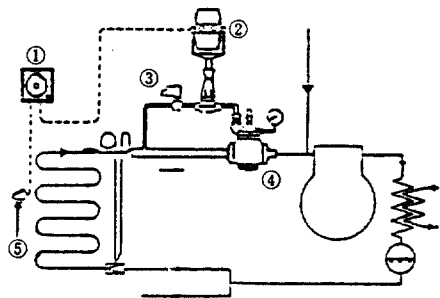
- ① 本體
- ② 커버
- ③ 설정 링크
- ④ 바이메탈
- ⑤ 電氣接點
- ⑥ 터미널
- ⑦ 接地端子
- ⑧ 스토퍼
- ⑨ 온도 눈금

그림 62. 바이메탈식 써모스탯트



- A. ① 설정나사
- ② 差壓 설정나사
- ③ 주 스프링
- ④ 溫度差 작동
- ⑤ 벨로우즈
- ⑥ 電氣接點
- ⑦ 감온통
- B. ① 설정 손잡이
- ② 스프링
- ③ 溫度差 설정나사
- ④ 電氣接點
- ⑤ 벨로우즈
- ⑥ 감온통

그림 63. 벨로우즈식 써모스탯트



- ① 電子式 溫度調節計
- ② 電動 파이로트밸브
- ③ 電磁밸브
- ④ 主 밸브
- ⑤ 電氣抵抗 溫度感知機

그림 64. 電氣 抵抗式 써모스탯트의 應用例 (PI 방식)

러의 전열면적을 조절하거나 초기 冷却負荷가 큰 경우의 蒸發溫度와 庫內溫度의 溫度差를 대략 $7^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 사이로 유지하다가 貯藏物의 溫度가 충분히 떨어진 후에는 貯藏物의 冷却負荷는 거의 없어지게 되므로 상대적으로 건물에 의한 傳達負荷만 남는 것으로 보아야 하며 이때의 유니트쿨러의 전열면적은 상당히 커진 상태로 되기 때문에 庫內溫度와 蒸發溫度의 차를 최대한으로 줄일 수 있게 된다. 만일 그 차가 0.6°C 이하로 유지될 수 있다면 庫內 相對溫度는 약 98% 이상 유지될 수 있다. 그러므로 본 冷凍의 自動制御에서는 온도의 自動制御 기기류에 대한 설명을 제외키로 하고 필요한 분은 空調 시스템의 自動制御편을 參考바란다.

5. 冷媒 機器의 制御

冷媒器機는 本章에서는 壓縮機, 凝縮器, 蒸發器의 制御에 관한 일반사항에 국한하며 壓縮機의 제어는 주로 往復式 및 스크류 壓縮機에 한하는 것으로 한다.

5.1 壓縮機의 容量制御

(1) 往復動式 壓縮機

往復動式 壓縮機는 容量制御裝置가 설치되어 있는것이 대략 30 HP 이상의 容量으로서 그 실린더의 수가 6개 이상인 것으로 구분할 수 있으며 그 이하의 容量에서는 壓縮機의 臺數制御에 의한 방식을 주로 많이 사용된다. 또한, 臺數制御시에 주의해야 할 사항은 公稱 冷媒配管으로 하였을 때 全負荷의 40% 이하의 容量의 臺數制御는 지양해야 한다. 參考로 현대의 壓縮機로 吸入가스의 유량을 조절하여 容量을 제어할 경우에는 密閉型이나 半密閉型인 경우에는 최소흡입가스의 유량이 40% 이하가 되어서는 안되며 개방형 壓縮機인 경우 15% 이하가 되어서는 안된다. 그외 30 HP 이상의 유니트는 실린더의 개수제어에 의한 容量制御方式으로 33%, 66%, 100% 및 25%, 50%, 75%, 100%의 단계 제어를 할 수 있게 된다. 이외에 핫가스 바이패스 방

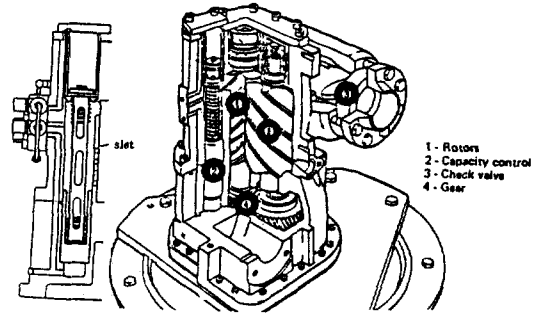


그림 65. 스크류 壓縮機의 容量制御裝置

식이 있지만 이 경우에도 과도한 양의 핫가스가 바이패스되면 壓縮機가 과열될 위험이 있으므로 최대 40% 이하 바이패스되지 않도록 주의한다.

(2) 스크류 壓縮機의 容量制御

현재 국내에 冷凍 프랜트에 사용되는 스크류 壓縮機는 주로 중형이상이며 대략 40 HP 이상의 범위를 담당하고 있다. 스크류 壓縮機의 容量制御裝置는 암로터와 슛로터 사이에 壓縮過程에 있는 가스를 바이패스시킬 수 있는 슛로를 여러개 만들어서 그 슛로를 실린더로 막거나 열어 주므로써 比例式으로 壓縮가스의 吐出容積을 제어하도록 하는 것이다(그림 65 參照). 이때 容量制御裝置는 油壓에 의해서 動作되므로 그 속도가 대단히 빠르기 때문에 電子式 容量調節裝置는 負荷에 따른 펄스信號를 낼 수 있는것이 주로 사용된다. 容量感知裝置는 抵抗센서(Pt100 ohm) 혹은 壓力電送機에 의한 低壓壓力信號를 받아 움직이도록 한다.

5.2 凝縮壓力의 制御

(1) 水冷式 凝縮器의 凝縮壓力의 制御

凝縮溫度가 내려가면 效率이 좋아지기 때문에 좋지만 겨울철에 너무 내려가면 冷凍사이클이 원활히 이루어지지 못하기 때문에 凝縮壓力을 어느정도 유지하도록 해야하며 특히 핫가스 除霜시스템을 적용 때에는 특히 凝縮壓力을 일정 수준이상 유지해야만 한다. 水冷式 凝縮器의 凝縮壓力制御는 그림 66과 같이 冷却水 入口側에 冷却水 유량을 조절하는 磁力式 밸브를 취부하여 조절하고 凝縮器의 壓力信號

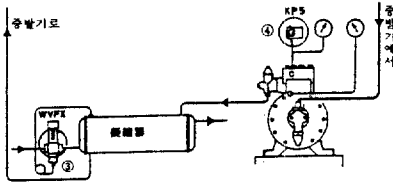


그림 66. 水冷式 凝縮器의 凝縮壓力制御

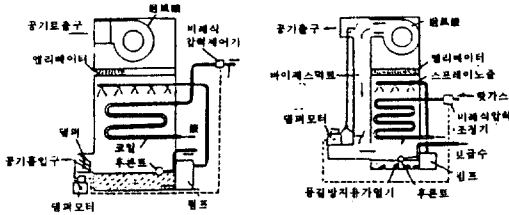


그림 67. 蒸發式 凝縮器의 制御方式의 例

를 받아 움직이도록 한다.

그 외에 冷却水 出口溫度 信號에 따라 冷却水溫을 제어하는 3 方밸브를 활용하는 방식도 있다.

(2) 空冷式 凝縮器의 凝縮 壓力制御

3.1 高壓側 壓力制御裝置編 參照要

(3) 蒸發式 凝縮器의 凝縮壓力制御

蒸發式 凝縮器의 凝縮壓力制御에 사용되는 가장 기초적인 방식은 高壓스위치의 b 접점을 이용하여 설정된 凝縮壓力 이하로 떨어지면 凝縮器의 送風機의 운전을 제어하도록 하는 방식이며 제어방법은 다음 순서에 따라 실시한다.

1. 散水 펌프의 運転을 정지한다.
2. 送風機의 압력에 따른 제어

3. 散水 量의 조절
4. 冷却 空氣의 바이패스 덕트의 設置
5. 風量調整 閥퍼를 空氣吸入口 또는 吐出 口에 설치 제어한다.

이상과 같은 방식을 쓰지만 겨울철에는 당연히 산수펌프를 사용할 수 없기 때문에 送風機를 제어하는 방법을 쓰는 것이 가장 일반화된 방식이다. 그림 67에 入口空氣量 制御方式과 바이패스 덕트방식을 나타냈다.

5.3 蒸發器의 制御

乾式 및 滿液式 蒸發器의 制御는 11. 2 항의 冷媒의 制御에 기술된 내용을 參照바람.

參 考 文 獻

1. 高田 俱之 外 空氣調和의 自動制御(제 2 卷 1980년) pp. 2~3. p. 17. p. 23.
2. Danfoss, Automation of Commercial Refrigeration Plant, pp. 28. 29. 32. 33.
3. Danfoss, Solenoid Valve for Refrigeration Plant, pp. 1~23.
4. 日本冷凍協會, 冷凍用 自動制御機器 1977, pp. 6~18. pp. 40~41. pp. 53~57. p. 63. pp. 75~85.
5. Danfoss, Electronic Expansion Valve Manual, p. 20.
6. STAL Refrigeration Manual Sheets NO
7. 日本 冷凍協會 冷凍空調便覽, pp. 463~465, pp. 469~482. pp. 487~492. pp. 495~501. pp. 510~511.