

省에너지를 爲한

運轉管理의 要點

— “電動機의 回轉數制御를 생각해 본다” —

☆☆☆

流体(氣體, 液體, 粉體)를 輸送할 경우 流量調整이 必要할 때가 많다. 이와같은 경우 一般的으로 採用되고 있는 制御方法은 變頻나 베인에 의한 開閉制御이다.

그런데 制御範圍가 넓을 경우에는 損失이 增加하며 效率은 大幅 低下한다. 여기에서는 送風機의 例를 들어 이 理由를 생각하고 이에따라 回轉數制御를 採用하면 왜 省에너지가 되는가를 工夫하고자 한다.

☆☆☆

§ 送風機에 要하는 動力 §

風量 Q [m^3/s], 風壓 H [kg/m^2], 比重 ρ [kg/m^3], 送風機의 效率 η_f , 余裕係數 K 라 하면 送風機가 要하는 動力 P_f 는 다음式으로 表示된다.

$$P_f = \frac{9.8 Q \rho H K}{\eta_f} \text{ [W]}$$

一般的으로 風量의 單位는 [m^3/min]가 使用된다. 또 風壓의 單位는 [$mmAq$]가 使用된다.

$$Q \text{ [m}^3\text{/s]} = \frac{Q \text{ [m}^3\text{/min]}}{60}$$

$$1 \text{ [kg/m}^2\text{]} = 1 \text{ [mmAq]}$$

[註] min은 英語의 minute의 略字로 “分”을 表示한다. Aq는 라틴語의 Aqua의 略字로 “水”를 表示한다.

따라서 mmAq는 1mm水柱의 壓力을 表示한다.

風量 Q [m^3/min], 風壓 H [$mmAq$]을 使用하여 動力 P_f 를 [kW]로 表示하면

$$P_f = 9.8 \times \rho H \times \frac{Q}{60} \times \frac{K}{1.000 \eta_f} = \frac{\rho H Q K}{\frac{60 \times 1000}{9.8} \eta_f}$$

$$= \frac{\rho H Q K}{6120 \eta_f} \text{ [kW]}$$

ρ : 1.2 [kg/m^3] (空氣의 경우)

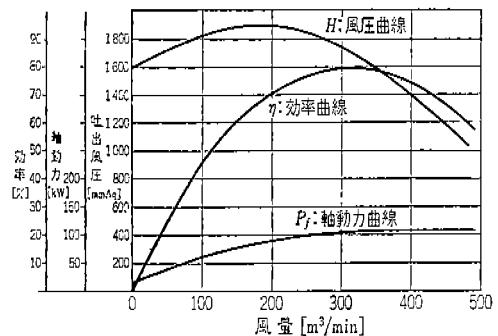
K : 1.1~1.2

η_f : 0.6~0.8

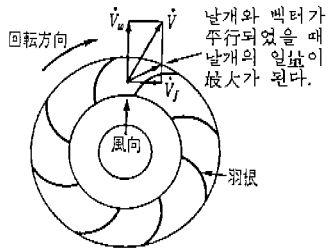
一般的으로 P_f 를 軸動力이라 한다.

§ 送風機의 特性曲線 §

送風機의 特性을 表示하는 曲線에는 다음의 3種



〈그림 - 1〉 遠心送風機의 特性曲線



〈그림-2〉送風機날개의 일

類가 있다.

(1) 風壓 - 風量特性曲線(以下, 風壓曲線이라 한다)

(2) 軸動力 - 風量特性曲線(以下, 軸動力曲線이라 한다)

(3) 效率 - 風量特性曲線(以下, 效率曲線이라 한다)

遠心送風機의 特性曲線은 그림 1과 같다.

왜 이와같은 曲線이 되는가를 생각해 보자.

風壓은 送風機날개의 일量에 따라 變化한다. 이 일量의 變化를 그림 2의 向量에 說明해 본다. 지금 回轉數와 送風機에 들어가는 風向을 一定하다 하면 送風機날개速度 \dot{V}_r 는 一定值가 된다.

또 風速 \dot{V}_w 은 \dot{V}_r 와 直角이 되며 風量에 比例하여 커진다. 따라서 送風機 全體의 向量은 \dot{V}_r 와 \dot{V}_w 의 合成值 \dot{V} 가 된다.

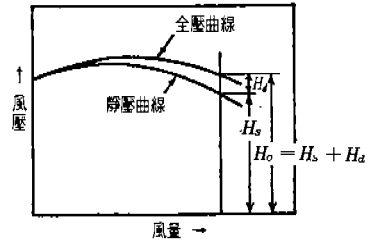
\dot{V} 가 날개와 平行이 될 때 送風機 날개의 일量은 最大가 된다.

風量이 0인 경우 \dot{V} 는 \dot{V}_r 와 一致되지만 날개의 기울기도 이 方向에 가까우므로 風壓은 比較的 높 아진다. 風量이 增加하면 \dot{V} 는 날개의 기울기에 가까워지므로 風壓도 上昇한다. 最高點에 達한 後는 날개의 일量은 低下되므로 風壓도 낮아진다.

軸動力은 前述한 式에서 보는 바와같이 風壓과 風量의 積에 比例하고 效率에 反比例한다. 風量이 0에서 軸動力이 0이 되지 않는 것은 送風機內에 損失이 있기 때문이다.

風量이 增加하면 大體的으로 風量에 比例하여 軸動力도 上昇한다. 途中에서 風壓이 내려도 風量의 增加와 效率의 低下로 軸動力은 上昇한다.

效率은 送風機의 回轉에 依해 發生하는 摩擦損失과 風量에 依해 發生하는 風力損失에 依해 決定된다. 回轉數 一定의 경우, 摩擦損失은 거의 一定하



〈그림-3〉靜壓과 動壓

며 風力損失은 流量의 2乘에 比例하여 增加한다.

따라서 低風量의 경우는 風量에 對하여 摩擦損失의 比率이 크기 때문에 效率이 나쁘다. 風量이 增加하면 摩擦損失과 風力損失의 크기가 같게 된다. 效率은 이點에서 最高가 된다. 더 風量이 增加하면 風力損失이 大幅 增加하기 때문에 效率은 低下된다. 一定風量에서 運轉되는 送風機는 效率이 最高가 되도록 設計된다.

§ 實際의 運轉特性 §

風壓에는 그림 3과 같이 靜壓과 動壓이 있다. 이것을 벨루누이의 定理에서 說明하여 보자.

지금 風壓 p , 風速 v 로 할 경우, 다음의 關係가 成立된다.

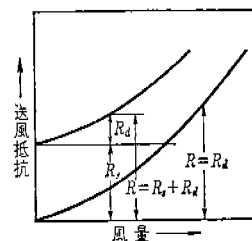
$$p + \frac{\rho v^2}{2g} = \text{一定}$$

但 p : 空氣密度

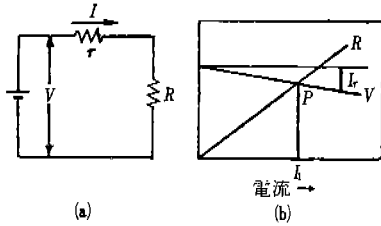
g : 重力加速度

이 경우, p 를 靜壓, $\rho v^2 / 2g$ 를 動壓이라 한다. 靜壓 H_s 와 動壓 H_d 를 合한 것이 全壓 ($H_0 = H_s + H_d$)가 된다.

一般的으로 送風機로서 送風하는 경우, 送風抵抗 R 이 있다. 이것에는 風速에 無關係인 靜的抵抗 R_s 과 風速의 2乘에 比例하여 增加하는 動的抵抗 R_d 이 있다.



〈그림-4〉送風抵抗



〈그림-5〉 電氣回路에서의 電流調整

送風管으로만 送風하는 경우, 例로서 製鐵所의 熔鑄爐에 送風하는 경우에는 $R_s = 0$ 가 되며 $R = R_a$ 가 된다.

送風抵抗과 風量의 特性曲線을 抵抗曲線이라 한다. 그림 4는 抵抗曲線이다.

그러면 送風機의 風量은 어떻게 決定되는가. 이것은 電氣回路의 電壓과 電流의 關係와 恰似하다. 지금 그림 5 (a)를 直電回路라 하자. 負荷抵抗 R , 線路抵抗 r 라 하면 負荷의 電壓 - 電流特性和 負荷抵抗 - 電流特성은 그림 5 (b)가 되며 이들의 交點 p 가 이때 흐르는 電流이다.

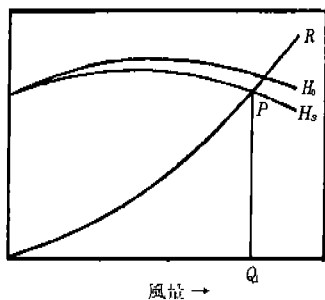
電流를 變化시키려면 負荷抵抗을 變化시키던가 電壓을 變化시킨다.

送風機의 경우, 電壓=風壓, 電流=風量, 電氣抵抗=送風抵抗이 되는데 특히 注意하여야 할 點은 風量으로 決定되는 點은 그림 6에서와 같이 靜電曲線 H_s 와 抵抗曲線 R 의 交點이다. 但 이 경우의 軸動力은 全壓에 依해 決定된다.

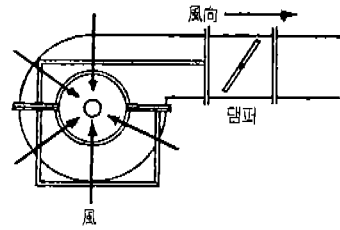
§ 風壓制御의 方法 §

風量制御는 크게 나누어 다음의 3種類가 있다.

- (1) 吐出 閘制御法
- (2) 吸込 배인制御法
- (3) 回轉數制御法



〈그림-6〉 送風機의 風量



〈그림-7〉 吐出閘制御法

吐出閘制御法은 그림 7과 같이 送風機의 吐出 側에 閘을 設置하여 이 閉閉에 依해 風量을 調整하는 것이다.

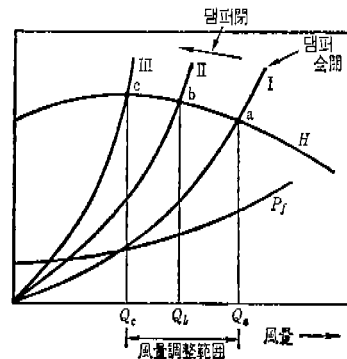
지금 그림 8에서 閘이 全閉일 때 抵抗曲線을 I 라 하면 風量은 Q_a 가 된다. 閘을 닫아가면 閘의 抵抗이 增加하여 抵抗曲線은 $I \rightarrow II$ 의 方向으로 移動한다.

이에 따라 風量은 $Q_a \rightarrow Q_b$ 로 減少된다. 더욱 閘을 닫으면 最大風壓 c 點에 到達한다. 以上 닫으면 서어징이 發生하여 安定된 運轉은 不可能하다

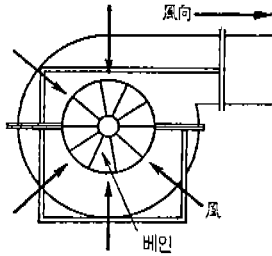
結局 吐出閘에 依한 風量調整範圍는 $Q_a \leftrightarrow Q_c$ 이며 比較的 좁은 範圍가 된다. 이 制御法에서는 風壓曲線과 軸動力曲線은 不變이며 抵抗曲線만이 變化한다.

吸込 배인制御法은 그림 9에서와 같이 送風機의 吸込口에 設置된 배인에 依하여 吸込角度와 조리개에 따라 風量調整을 하는 것으로 지금 그림 10에서 배인全開일 때 風壓曲線은 H_1 , 軸動力曲線은 P_{r1} 이라고 할 때 배인을 줄어 들도록 하면 風壓曲線은 $H_1 \rightarrow H_2$, 軸動力曲線은 $P_{r1} \rightarrow P_{r2}$ 로 내려간다.

이 때문에 吐出閘制御法보다 制御效率이 좋아지고 서어징領域도 작게 되므로 風量의 制御範圍도



〈그림-8〉 吐出閘制御法에 依한 風量制御特性



〈그림-9〉 吸込베인制御法

넓어진다.

이 제어법 抵抗曲線은 不變이며 風壓曲線과 軸動力曲線이 變化한다.

回轉數制御는 送風機의 回轉數를 變化시켜 風量을 調整하는 方法으로 理論的으로는 다음의 關係가 成立된다.

$$\text{風量} \propto \text{回轉數}$$

$$\text{風壓} \propto (\text{回轉數})^2$$

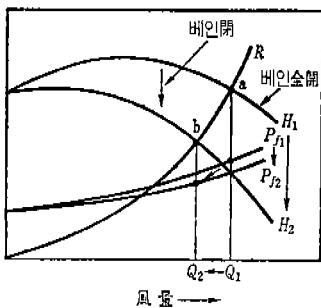
$$\text{軸動力} \propto (\text{回轉數})^3$$

이 때문에 回轉數를 $N_1 \rightarrow N_2$ 로 낮추면 그림11에서와 같이 風壓曲線은 回轉數의 2乘에 比例하여 $H_1 \rightarrow H_2$ 로 내려가며 軸動力曲線은 回轉數의 3乘에 比例하여 $P_{R1} \rightarrow P_{R2}$ 로 내려간다. 이 제어법은 抵抗曲線이 不變하며 風壓曲線과 軸動力曲線은 平行移動한다.

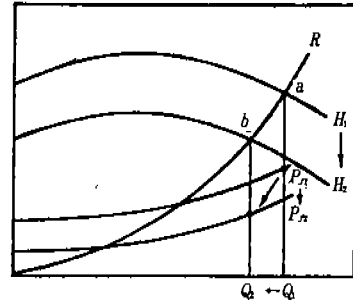
§ 風量制御와 軸動力의 關係 §

그림12(a)는 吐出댐퍼制御法에 依한 風量과 軸動力의 變化를 보인 것이다. 이 경우 風量의 低下에 比해 軸動力은 조금밖에 내려가지 않았다. 이 理由는 風量이 내려가도 댐퍼의 抵抗이 增加하여 余分인 動力이 發生하기 때문이다.

그림12(b)는 吸込베인制御法에 依한 風量과 軸動力의 關係이다. 이 경우 吐出댐퍼制御法에 比하면



〈그림-10〉 吸込베인制御法에 依한 風量制御特性



〈그림-11〉 回轉數制御法에 依한 風量制御特性

同一 風量 低下에 對하여 軸動力의 내려감이 크다. 이 理由는 베인의 吸込角度에 依한 送風機內의 損失이 적다는 것과 同一 風量에도 가스密度가 낮아져 軸動力이 적어도 좋기 때문이다.

그림12(c)는 回轉數制御法에 依한 風量과 軸動力의 關係이다. 이 경우 回轉數를 $N_1 \rightarrow N_2$ 로 낮추면 風壓曲線과 軸動力曲線이 平行移動하기 때문에 同一 風量 低下의 경우, 가장 軸動力의 低下가 크다.

이 理由는 댐퍼나 베인과 같이 余分의 損失이 없고 風量의 大小에 따라 回轉數가 變化하므로 送風機 自体의 效率 低下가 적다.

各 風量 制御法의 風量과 軸動力의 關係를 綜合하여 보면 그림13과 같고 低風量 領域에서는 回轉數 制御法이 가장 省에 너지가 되는 것을 알 수 있다.

그러나 實際로는 靜壓抵抗의 有無, 送風抵抗의 大小에 따라 軸動力의 낮아지는 정도가 變한다. 그 事例을 그림14에서 보인다.

이것을 보아 아는 바와같이 $R_s = 0$ $R_a = \text{大일}$ 때 가장 效果가 크며 $R_s = \text{大}$ $R_a = 0$ 일 때 가장 效果가 적다.

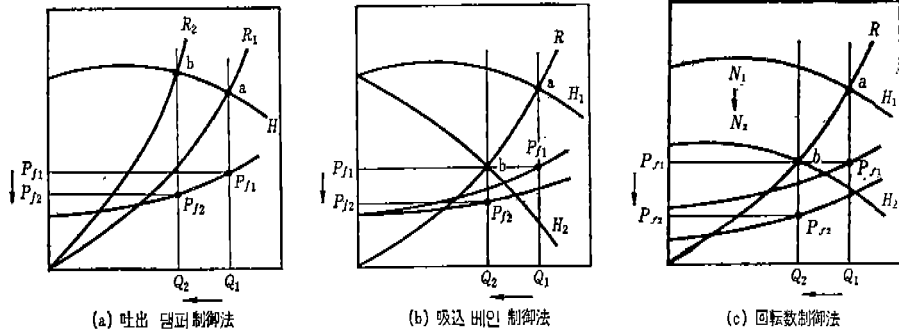
§ 回轉數制御法의 問題點 §

現在 風量調整은 거의 吐出댐퍼制御法이나 吸込베인制御法이다. 이 理由는 設備가 小形이면 코스트가 적게 들며 操作이 簡便하다는 利點 때문이다.

理論的으로는 回轉數制御法이 가장 省에 너지가 된다는 것을 오래전부터 알고 있었다. 그러나 왜 採用되지 않았는가.

社會의 背景에 依한 影響도 比較的 크지만 이 以外에 다음과 같은 問題點을 指摘할 수 있다.

(第1의 問題) 性能이 좋은 回轉數制御法이 없



〈그림-12〉 風量과 軸動力의 關係

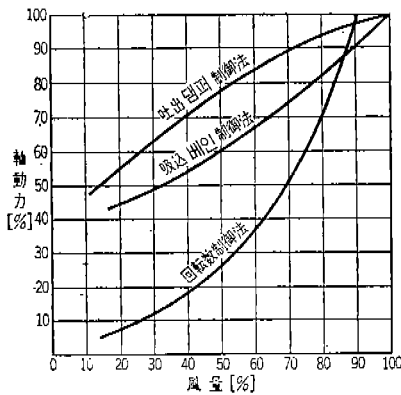
있다. 이점에 對하여는 現在 相當히 解消되어 가고 있다. 近年 다이리스터의 發達로 性能좋은 電動機速度制御法이 開發되고 있다. 例로서 靜止셀루부스모터, 다이리스터모터, VVVF(可變電壓可變周波數電源裝置) 등이 있다.

〈第2의 問題〉 制御裝置의 코스트가 높다. 現在 VVVF의 경우, kAV 當의 單價가 相當히 높다. 이 때문에 經濟的 效果가 높지 않으면 適用이 어렵다. 그러나 近年 에너지코스트가 上昇하고 있으므로 比較的 容量이 작은 設備에서도 經濟的 效果가 나올 수 있게 되었다.

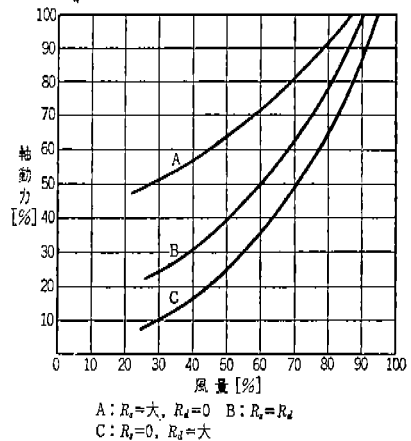
〈第3의 問題〉 制御裝置의 所要스페이스가 크다 電動機의 크기는 變化되지 않지만 制御裝置가 大形이 된다.

以上 回轉數制御에 依해 왜 省에너지가 되는가를 공부하였지만 이것만으로 可能的 것은 아니며 適用에 있어 充分히 檢討하지 않으면 안된다.

但 今後의 方向으로서 省에너지對策을 積極的으로 밀고 나가야 할 것이다.



〈그림-13〉 各制御法에 依한 軸動力의 比較



〈그림-14〉 送風抵抗에 依한 軸動力 變化

