

電動機의 에너지節減

을 위한 對策과 方法 (下)

A Method and a Counterplan of Energy Reduction in the Motor

金 漢 星

建國大學校 工科大學 教授

[4] 電動機의 效率의 利用에 의한 損失의 減少

앞에서 電動機自體의 高效率化를 위한 損失의 減少에 대하여 기술하였지만 이와같은 高效率電動機를 使用하더라도 그 使用法이 適當하지 않으면 充分한 效果를 發揮할 수가 없다. 既設電動機를 포함하여 電動機의 效率의 利用에 대하여 기술한다.

(4)- 1 效率과 力率

電動機의 效率은 다음式으로 주어진다.

$$\text{效率} = \frac{P_0}{P_1} \times 100 = \frac{P_0}{P_0 + P} \times 100 (\%)$$

P_0 : 出力 P_1 : 入力 P : 損失

損失의 構成은 固定損과 負荷損이다. 이중에 損失의 大部分은 鐵損과 銅損이고 鐵損은 回轉子와 固定子鐵心內의 磁束에 의해서 發生하는 熱損失이고 銅損은 磁界를 만들기 위해서 固定子卷線에 흐르는 線電流에 의해서 發生하는 熱損失이다.

電動機의 力率은 電壓과 電流의 늦은 각의 余弦으로 表示된다.

$$\text{力率} = \cos \theta = \frac{\text{有効電流}}{\text{線電流}} = \frac{\text{入力kW}}{\text{入力kVA}}$$

誘導機電流는 回路가 誘導性이기 때문에 線電壓에 대하여 늦는다. 늦은 電流(線電流)는 回轉子를 回轉시키는 有効分과 固定子와 回轉子の 鐵心을 勵磁하는 無効分の 2개의 要素로 나누어진다.

즉 力率이 낮으면 일을 하는 대신에 磁束을 만드는 電流의 比率이 높은 것을 意味하고 에너지消費가 많게 된다. 그러므로 電力會社는 大電力需要産業體에 대하여 電力料金에 있어서 單일 力率이 規定水準 以下이면 追加料金を 부과하고 있다.

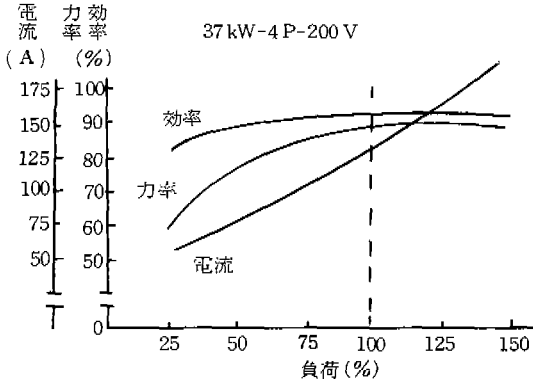
以上과 같이 電動機에 있어서 效率만이 에너지消費의 尺度가 아니고 力率도 重要한 要素임을 알 수가 있다.

(a) 負荷率에 의한 變化

그림 2 와 그림 3 은 負荷率에 대한 特性의 예를 表示한 것이다.

一般의으로 다음과 같은 傾向이 있다.

1) 效率은 75~125% 負荷程度에서는 거의 一定하고 變化는 比較的 적다. 力率은 負荷率이



〈그림-2〉 負荷率에 대한 効率和 力率의 變化

적어지면 急激히 나쁘게 된다.

2) 最大効率が 發生하는 負荷率은 固定損과 負荷損의 比에 의해서 다르고 一般的으로 100% 근처이지만 75~125%程度의 範圍에 分布된다.

또한 高効率形은 輕負荷時에도 効率의 低下가 比較的 적도록 設計上 考慮되는 경우가 많다.

3) 最大力率が 되는 點은 125~150%負荷에 있고 設計上 이것을 100% 부근으로 하기에는 어렵다.

이와같이 電動機는 實際로 使用되는 負荷率에서 効率 力率의 값이 달라지므로 이점도 考慮하여 電動機의 選定을 할 必要가 있다.

또 負荷가 要求하는 軸出力에 대한 電動機出力을 취하는 方法 소위 余裕率에 대하여 一般으로 下記와 같은 數値가 使用되고 있다.

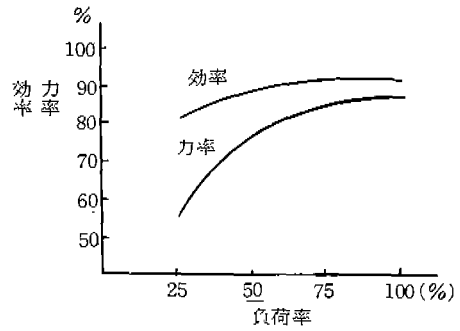
電動機定格出力	余裕率(%)
25 HP 以下	125
25 HP 以上 75 HP 以下	115
100 HP 以上	110

(b) 定格電壓과 다른 電壓으로 使用하는 경우

電動機를 定格出力에서 使用하여 實用上 支障이 없는 端子電壓의 許容變動範圍는 定格値의 $\pm 10\%$ 로 정하고 있다.

또 現在 銘板의 定格値와 다른 電壓에서 使用

150 kW, 3 kV, 60 Hz, F 種



〈그림-3〉 負荷率에 대한 効率和 力率의 變化

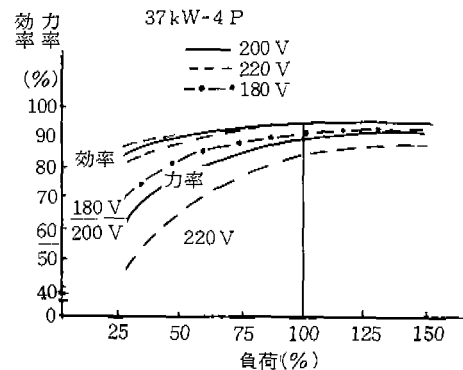
되는 경우도 많다. 이 경우의 特性의 變化를 보면 다음과 같다.

1) 그림 4에 37kW-4極 200(V)의 電動機를 220(V)로 한 경우 180(V)로 한 경우의 特性의 變化를 表示하였다.

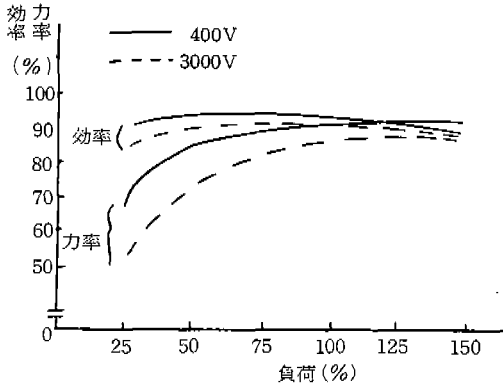
2) 10% 높은 電壓에서 使用하는 경우 勵磁 電流가 10%以上 增加하고 力率이 나쁘게 된다 또 輕負荷에서 使用하고 있는 경우는 鐵損의 增加에 因하여 効率도 나쁘게 된다. 10% 낮은 電壓에서 使用하는 경우에는 이것과 逆으로 되지만 定格負荷에서 使用할 때는 全負荷電流가 增加하고 銅損이 增加하여 溫度上昇을 招來하므로 電壓은 若干 높은 쪽이 좋다.

(c) 高壓과 低壓

1) 그림-5에 75kW-4極-400(V)와 3000V-과의 特性을 表示한다. 定格點에서 高壓機는 効率에서 2.7%, 力率에서 6% 低下하고 있다.



〈그림-4〉 定格電壓과 定格의 $\pm 10\%$ 電壓의 경우 特性 比較



〈그림-5〉 高壓機와 低壓機의 効率과 力率

2) 양쪽의 差는 高壓機에서는 成形코일을 넣기 때문에 固定子鐵心の 스톱은 開口스톱을 使用하므로 等價的으로는 갭이 넓게 되어 勵磁電流가 많이 必要하게 되고 또한 磁束의 脈動에 의해서 鐵損이 많게 되는 것에 起因된다.

단 400V級에서도 300~500kW程度 以上에서는 設計上 開口스톱을 採用하게 되므로 이런 경우에는 3000V機와 같은 特性으로 된다. 또 低壓機의 경우 變壓機의 損失, 電流가 많기 때문에 配電線 스위치 등 別途의 面에서 損失의 增加 問題點이 나온다.

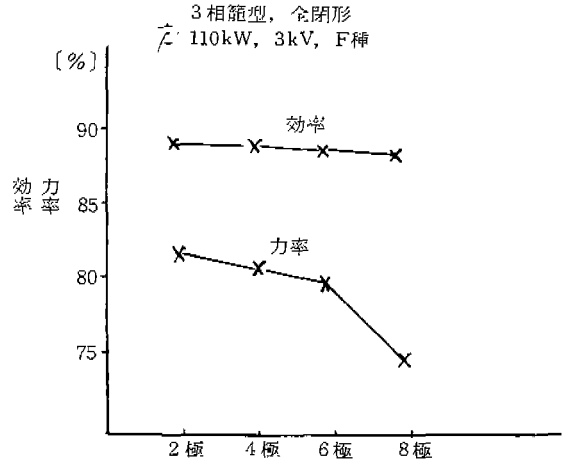
(d) 極數에 의한 相違點

電動機의 極數에 의해서도 効率과 力率이 變化한다. 高壓籠型電動機중 110kW의 全負荷時에 있어서의 効率과 力率이 極數에 따라 相違點을 그림-6에 表示하였다. 極數가 적을수록 즉 高速일수록 特性이 良好하므로 될수록 高速機를 使用한 쪽이 有利함을 알 수가 있다.

(e) 力率의 改善

電動機 1臺의 力率을 改善하는 方法은 여러 가지가 있지만 가장 直接的인 方法은 回轉子와 固定子の 鐵心材料를 增加하고 磁束密度를 減少시키는데 있다.

그러나 動力設備로서 使用되는 電動機는 臺數도 많고 出力도 여러가지이며 個個의 電動機에 대한 對應은 不經濟的이므로 進相Condenser를 使用하여 力率을 改善하는 것이 一般的으로 많이 使用되는 方法이다.



〈그림-6〉 極數에 의한 全負荷特性의 相違

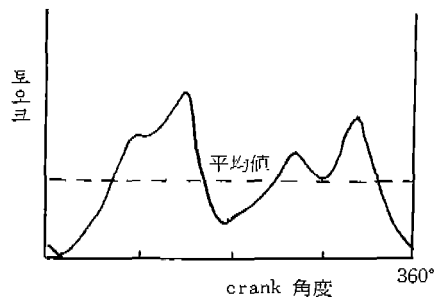
(4)-2 損失을 減少시키기 위한 形式容量의 選定

(a) 脈動負荷의 경우

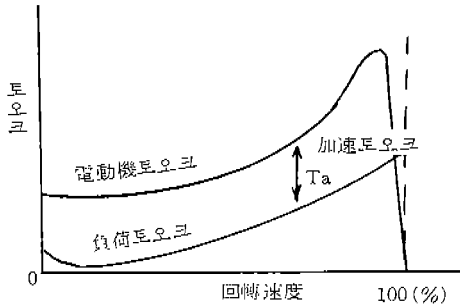
crank軸의 角度에 의해서 負荷토크가 變動하는 脈動負荷에 대하여 그림7에 表示하였다. 이 경우의 電動機定格出力은 平均토크를 基準으로 하여 決定되지만 負荷토크의 變動에 의해서 電動機電流가 變化하고 그 電流脈動에 의해서 實効電流가 增加하기 때문에 銅損이 增加하고 効率의 低下와 溫度上昇을 招來하는데 注意하여야 한다.

電流의 脈動을 抑制하려면 다음과 같은 方法을 취한다.

- 1) 電動機의 定格스립을 크게 한다.
- 2) 機械系의 慣性 moment (GD^2)를 增加시킨다. 여기에서 1)은 2次銅損이 增加하므로 效率는 나쁘게 된다. 2)의 方法을 취하면 效率이 좋은 電動機가 採用될 수 있다. 단 電動機의



〈그림-7〉 crank 角度와 토크 관계



〈그림- 8〉 토크-速度特性

크기가 크게 되어 不經濟이므로 負荷側에 fly-wheel를 附加하는 것이 가장 效率的이다.

(b) 高慣性負荷의 경우

送風機, Turbo型 壓縮機 등이 이와같은 負荷에 해당된다. 이 경우 電動機에 대해서는 起動時의 回轉子發熱이 가장 問題가 된다.

籠型電動機의 경우 2次損失이 回轉子導體나 短絡環에 發生하므로 負荷GD²의 크기에 따라서는 回轉子の 熱容量을 一般用途의 電動機보다 增加시킬 必要가 있을 때도 있다. 그림 8에 電動機와 送風機負荷의 起動時의 토크-速度特性 曲線을 表示하였다. 起動時間(t_s)는 다음式과 같이 주어지며 高慣性負荷의 경우는 起動時間이 길게 되지만 그림 8에서 아는 바와같이 電動機의 起動토크는 크게 할 必要는 없으며 오히려 過大한 起動토크의 要求는 效率이 나쁜 電動機를 구하는 것이 된다.

$$t_s = \frac{GD^2 \times n}{375 \times Ta} \quad [s]$$

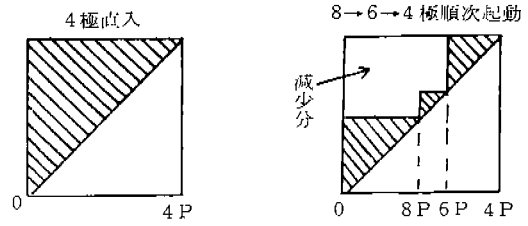
n : 定格回轉速度 (rpm)

GD² : 慣性moment (kg-m²)

Ta : 加速토크 (kg-m)

또 起動中에 發生하는 損失에 의해서 크게 영향을 받는 電動機의 경우는 極數變換 電動機의 採用도 考慮할 余地가 있다.

예를들면 그림 9에 4極의 直入起動方式과 8→6→4極의 順次起動方式에 있어서 起動中의 損失을 比較한 것을 表示하고 있다. 起動中에 2次側(回轉子)에 發生하는 損失은 거이 GD²에 比例하고 回轉速度의 제곱에 比例하므로 起動時損失은 直入起動에 比하여 順次起動쪽이



〈그림- 9〉 起動中의 損失의 比較(斜線部)

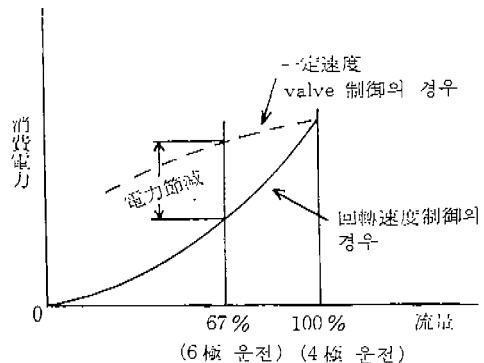
그림에 表示한 것과 같이 約61% 減少한 39%로 되어 起動時의 溫度上昇과 熱應力등에 有利하게 된다.

(c) 變動負荷가 있는 경우

pump와 같은 風水力機械는 단일속도의 籠型電動機로 運轉되고 있는 것이 大部分인데 이와같은 機械에서는 流量을 變更하고자 하는 경우가 많고 valve 制御를 하고 있는데 이때 많은 電力損失이 發生한다. 流量을 連續的으로 變化시켜 使用하는 경우는 各種의 可變速電動機를 使用하겠지만 萬一 連續的이 아니고 가령 全負荷와 輕負荷의 2段使用이면 2段速度의 極數變換電動機를 使用하여 電力節減을 할 수가 있다.

예를들면 定速運轉 valve 制御와 4/6極의 回轉速度制御의 경우 pump 驅動用電動機의 消費電力을 比較한 것이 그림 10에 表示하였다. 이 경우 極數變換電動機의 6極運轉時의 消費電力은 4極 valve 制御電動機의 約50%로 된다.

이것은 pump에 있어서 流量을 調整하는데 v-



〈그림- 10〉 Valve 制御와 回轉速度制御의 消費電力의 比較

valve로 制御하는 것은 pump의 Q-H曲線(流量-壓力特性)을 變更함이 없이 管路抵抗을 變化시켜 流量을 變化시키는 것이고 또 流量的 減少와 더불어 pump 效率가 急激히 低下하여 所要動力이 많이 減少하지 않는다.

한편 速度制御를 하여서 valve 全閉狀態에서 減速하는 경우에는 pump의 Q-H曲線이 變化하고 所要動力은 回轉速度의 3제곱에 比例하여 減少한다.

(4)-3 電動機의 效率의 利用

(a) 出力選定을 適切하게 한다.

1) 그림 2, 그림 4, 그림 5에서 輕負荷로 되면 특히 力率이 低下하고 電流의 利用率이 나쁘게 된다. 效率도 75%負荷程度까지는 큰 差異는 없지만 一般的으로는 低下하고 그 以下에서는 더욱 急激히 低下한다.

2) 一般的으로 電動機出力은 負荷의 所要出力에 10~15%余裕를 갖고 있고 負荷가 더욱 낮은 경우에는 效率 力率의 點에서 보더라도 電動機를 有效하게 利用할 수 없게 된다. 出力의 選定을 適切하게 選定하여야 한다.

(b) 空轉時間을 短縮하여야 한다.

① 電動機에는 鐵損 機械損 등 固定損이 있으므로 出力이 零에서도 損失이 發生한다. 負荷機械側에도 당연히 無負荷損失은 發生한다.

負荷系統의 調整에 의해서 全負荷運轉時間을 많게 하고 空轉時間 輕負荷時間을 적게 하여야 한다.

② 空轉時間의 削減을 위해서 電動機를 起動 停止하는 경우 그 도수에 電動機가 견디어 내느냐가 實際上面에는 問題가 된다. 回轉子가 알미늄인 경우는 별問題는 없으나 回轉子導體에 銅棒을 使用하고 있는 100~200kW程度以上の 籠

型機는 가령 1日 20回程度의 起動을 繼續하면 2~3年에서 銅棒이 疲勞하여 切損하는 등의 事故가 發生할 수 있으므로 注意하여야 한다.

(c) 電壓을 定格値에 保持한다.

① 앞에 그림 4에 表示한 바와같이 定格과 다른 電壓으로 使用하면 特性이 變化하게 된다. 특히 輕負荷의 경우에는 電壓이 높으면 效率가 大幅으로 低下하게 된다.

(2) 輕負荷에서 溫度上昇이 問題로 되지 않은 경우 가령 變壓器의 Tap을 變更하여 電壓을 10% 내려 電力節減이 되는가 生覺해 보면 照明, 電熱 등에서는 消費電力은 20% 減少하는 것이 되지만 動力設備의 경우 必要한 일의 量은 變化하지 않으므로 電動機內損失이 問題로 된다.

電動機內損失은 그림 4에서 보면 力率은 좋게 되지만 50%程度以上에서는 效率는 큰 差異가 없고 오히려 電流가 若干 增加하기 때문에 配電線損失 電動機溫度上昇의 點에서 適當하지 않고 電壓을 10%내려 電力節減을 할 수 있는 것은 勵磁電流 鐵損의 영향이 크게 되는 50%負荷程度以下の 경우인 것을 알 수 있다.

단, 電壓을 10%내리면 起動토크 最大토크 크도 約20% 적게되므로 起動 超過토크 耐量에서 問題가 없는지 檢討할 必要가 있다.

以上 大體로 電動機 自體의 損失의 低減法과 電動機의 效率의 使用에 의한 損失의 低減에 대하여 기술하였다.

에너지價格의 急上昇과 더불어 電力節減을 위해서 電動機 그 自體의 效率를 向上시키는 것뿐만 아니라 그것을 效率의 運用 및 一般的으로 電動機보다 낮은 效率를 갖고있는 負荷機械를 再檢討하고 負荷系統 등 總合的 見地에서 檢討할 必要가 있다.

