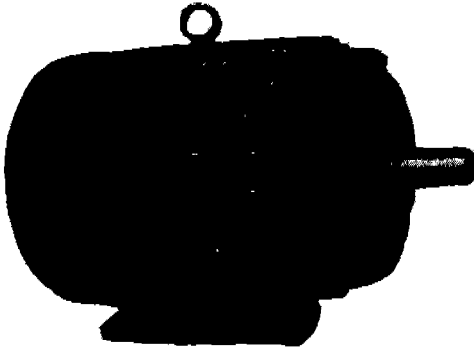


電動力設備의 에너지 節減技術



에너지 節減에 사용되는
各種 電動機

高效率電動機와 效果的인 사용방법

電動機의 에너지 節減對策은 크게는

- (1) 一定速度의 高效率 모터 채용
- (2) 負荷變動에 適合한 可變速 운전 채용

으로 나눌 수 있는데, 어느 것을 채택하느냐는 負荷의 특성, 運轉狀況에 따라 適切한 方法을 선택하여야 한다.

電動機의 에너지 節減을 위해서는 電動機 자체의 高效率化(하드)뿐만 아니라 이와 같이 選定 등 소프트웨어에서의 對應이 重要하다.

近年 모터의 效率를 종전의 모터보다 改善한 節電形高效率 모터가 歐美를 위시하여 國內에서도 많이 發表되고 있다. 이들 高效率 모터는 대부분이 産業用으로서 가장 많이 사용되고 있는 三相誘導電動機로서, 이 모터의 채택은 上述한 에너지 節減對策의 (1)에 相當한다.

可變速運轉의 채택에 의한 에너지 節減의 檢討에 대하여는 다음으로 미루고 여기서는 가장 널리 사용되고 있는 低壓三相籠形誘導電動機의 경우에 대하여 高效率 모터를 理解하기 위한 基本事項, 高效率 모터의 概要를 설명하고 또한 效果的인 節電效果를 얻기 위한 選定, 使用上的 注意에 대하여 記述하기로 한다.

1. 基本事項

가. 모터의 效率와 消費電力

잘 알려져 있는 바와 같이 모터의 效率은 다음 式으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \text{效率} &= \frac{\text{出力(W)}}{\text{入力(W)}} \times 100 \\ &= \frac{\text{出力(W)}}{\text{出力(W)} + \text{損失(W)}} \times 100\% \quad (1) \end{aligned}$$

入力は 모터와 出力과 모터 内部에서 發生하는 損失의 合計이고 이 入力이 모터가 소비하는 電力이다.

上式에서 알 수 있듯이 모터의 消費電力(入力)을 적게 하기 위하여는 될 수 있는 한 損失을 적게 하면 되고 그 結果로 效率이 좋아진다.

나. 損失의 低減에 대한 效率의 改善과 消費電力에의 영향

모터의 消費電力을 적게 하고 節電效果를 얻으려면 損失을 적게 하면 되는 것을 알았다. 모터 設計者로서는 損失低減을 위한 여러 對策(後述)에 의하여 損失을 現在보다 어느 만큼 줄일

수 있는나가 基本命題이다.

그러면 지금 效率이 70%와 90%의 모터가 있다고 하자. 둘 다 損失을 현재보다도 20% 적게 하였을 때 각각 效率의 改善(效率의 向上)은 몇 %가 되는가? 結論을 먼저 말하면 現在의 效率 70%인 모터는 74.5%, 現在의 效率 90%인 모터는 91.8%가 된다. 즉, 現在의 效率이 높은 모터일수록 損失低減에 대하여 效率의 改善이 작아진다. 말로 하면 당연한 것 같으나 다음 式으로 說明된다.

$$\text{現在의 損失} = \frac{P \times 100}{E_1} - P$$

$$\text{低減後의 損失} = \frac{P \times 100}{E_1} - P - \frac{\alpha}{100} \left(\frac{P \times 100}{E_1} - P \right)$$

이로부터

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$= \frac{P \times 100}{P + P \left(\frac{100}{E_1} - 1 \right) - \frac{\alpha}{100} \cdot P \left(\frac{100}{E_1} - 1 \right)} - E_1$$

上式을 整理하면

$$\Delta E = E_1 \cdot \frac{\frac{\alpha}{100} \left(1 - \frac{E_1}{100} \right)}{1 - \frac{\alpha}{100} \left(1 - \frac{E_1}{100} \right)} \quad (2)$$

단, E_1 : 現在의 效率 [%]

E_2 : 損失低減後의 效率 [%]

ΔE : 效率의 改善 (= $E_2 - E_1$) [%]

α : 損失의 (低減後의 損失 $\times 100$) / 現在의 損失 [%]

P : 모터 出力 [W]

이 되며, 出力에는 無關係가 되는 $\alpha = 20\%$ 와 30% 에 대하여 이 式의 計算結果를 그림 1에 표시한다.

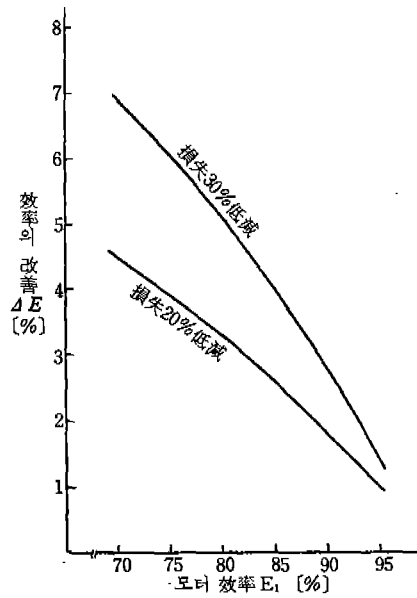
다음에 모터는 容量이 커짐에 따라 效率이 좋아지는 경향이 있다. 이는 上述한 說明에서 容量이 클수록 ΔE 는 작아지게 된다.

그러면 節電效果는 어떤가.

損失低減에 의한 節電電力 [W]

= 現在의 入力 [W] - 損失低減後의 入力 [W]

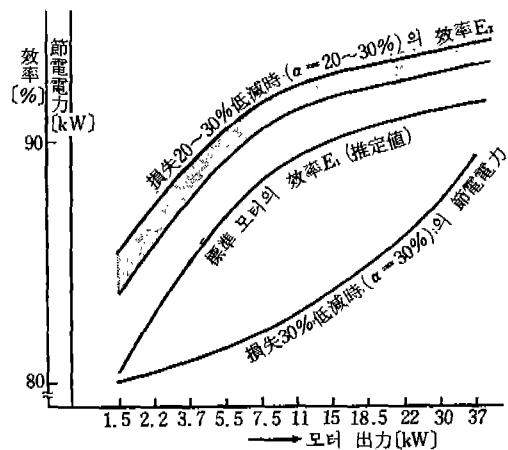
$$= \frac{P}{E_1} - \frac{P}{E_2} \quad (3)$$



(그림 1) 損失低減과 效率의 改善效果

이므로 지금 각 出力에 대한 E_1 을 誘導電動機의 경향에서 타당한 값을 假定하고 $\alpha = 30\%$ 에 대하여 그림 1을 利用, (3)式을 計算한 結果를 그림 2에 표시한다. 이로부터 容量이 클수록 效率의 改善 ΔE 는 작아지지만 單位時間當의 節電電力은 커지는 것을 알 수 있다.

高效率 모터의 검토에 있어서는 以上과 같은



(그림 2) 損失低減에 의한 節電電力

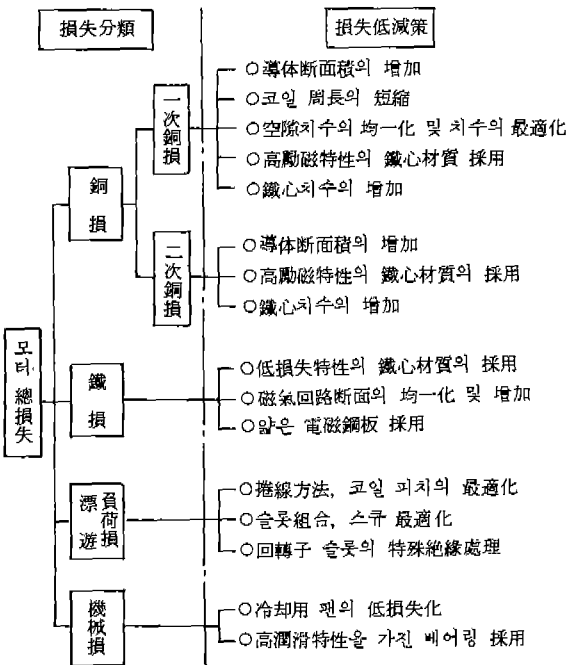
關係를 잘 理解하여 效率改善의 數値만으로 節電效果를 판단하거나 「損失을 20% 低減한 모터를 쓰면 20% 節電이 된다」라고 하는 基本的인 착오를 하지 않도록 注意할 필요가 있다.

다. 效率의 規格과 測定法

國內의 汎用標準 모터는 KS C 4202 「일반용 低壓三相 誘導電動機」에 準거하여 製作되고 있다. 이 規格에는 回轉子의 構造 記號와 電動機의 定格, 構造, 特性 및 試驗, 製品의 호칭법, 표시 등이 規定되어 있다.

特性에 대하여는 2, 4 極 (0.2~37kW), 6 極 (0.4~30kW)의 범위에서 全負荷時의 效率, 力率, 起動電流가 規定되고 參考值로서 無負荷電流, 全負荷電流, 全負荷 슬립이 있다.

國內의 汎用標準 모터의 特性은 效率을 包含하여 모두 이 規格에 대하여는 合格하고 있다. 高效率 모터는 이 標準 모터보다도 더 效率을 改善시킨 모터이다.



〈그림 3〉 모터에 있어서의 損失의 分類와 損失低減策

2. 高效率 모터

가. 高效率化를 위한 損失低減策

이미 記速한 바와 같이 모터의 消費電力을 적게 하여 節電效果를 얻으려면 必수로 損失을 적게 하면 된다. 모터에는 여러가지의 損失이 발생하며, 각각에 低減法이 있다. 그림 3에 損失分類와 그 低減策을 표시한다.

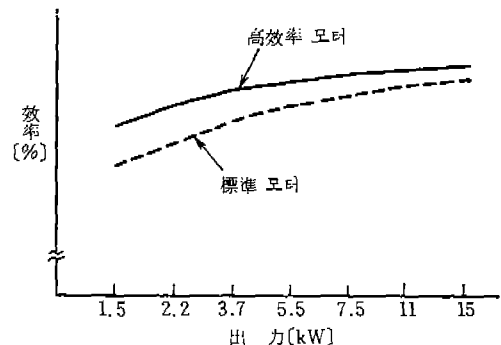
高效率 모터는 從前의 모터에 비하여 새로운 基本原理나 革新的인 技術을 채택하고 있는 것은 아니고 既存技術의 延長線上에서의 設計의 最適化, 勵磁特性이 좋고 鐵損이 적은 高級 電磁鐵板의 채택, 鐵心量, 銅量의 增加 등을 하고 있다. 이 때문에 중전기의 모터에 比하여 이니시얼 코스트는 비싸지나 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

나. 高效率 모터의 特徵

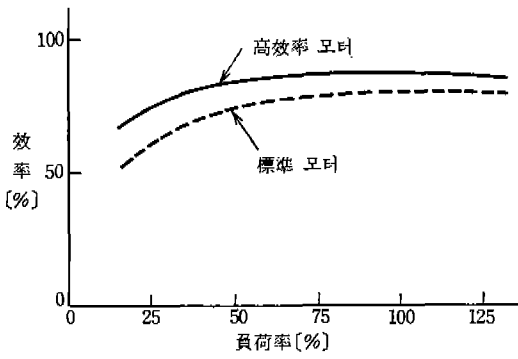
(1) 效率이 좋고 消費電力이 적다

그림 4에 高效率 모터와 標準 모터의 效率比較를 표시한다. 損失이 20~30% 低減되어 있어 그만큼 效率이 向上되고 있다.

그림 5에 高效率 모터의 負荷率과 效率의 關係를 표시한다. 高效率 모터에서는 鐵損을 위시한 無負荷損失도 低減되고 있으므로 標準 모터에 비하여 輕負荷時의 效率改善이 약간 큰 傾向을 표시한다.



〈그림 4〉 定格負荷時의 效率比較



〈그림 5〉 負荷率에 대한 效率

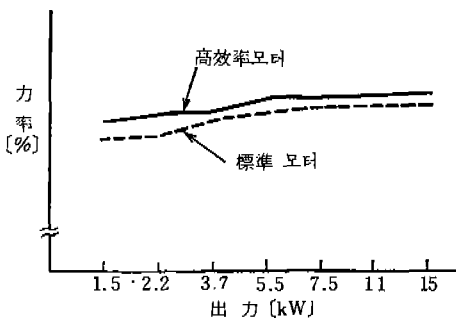
또 高效率 모터는 鐵心量의 增加에 의해 磁束密度를 低減하고 있기 때문에 力率도 改善된다. 力率이 나쁘면 配電系統에서 본 線路損失이 커짐과 동시에 電壓降下의 原因도 되어 後述하는 바와 같이 모터의 損失增加와 결부된다. 그림 6에 力率의 比較를 표시한다.

(2) 信賴性이 높고 壽命이 길다

高效率 모터는 損失을 줄였기 때문에 溫度上: 昇이 낮아지며, 絶緣, 軸반이 등의 信賴性이 높아짐과 동시에 수명이 길어진다.

(3) 騒音이 낮다

모터의 騒音은 주로 冷却을 위한 通風音과 電磁音에 의한 것이다. 高效率 모터는 損失이 低減되고 있기 때문에 冷却에 필요한 風量이 적어지므로 팬의 지름을 작게할 수 있으므로 通風音을



〈그림 6〉 定格負荷時의 力率比較

작게 할 수 있다. 또 前述한 바와 같이 磁束密度를 낮추었기 때문에 必然的으로 電磁音도 작아지고 低騒音이 된다.

(4) 설치치수가 標準 모터와 同一

高效率 모터는 前述한 바와 같이 鐵心量, 銅量이 增加되고 있으나 설치치수는 標準 모터와 同一하여 쉽게 交替할 수 있도록 互換性을 갖게 하였다.

다. 高效率 모터에 대한 節電效果

高效率 모터를 使用하였을 때의 運轉時間과 所要經費의 관계는 그림 7과 같이 된다. 購入에 있어서는 初期價格差의 回收 및 購入費用의 償却期間에 의하여 經濟性을 충분히 검토할 필요가 있다.

以下, 節電效果의 計算에 대하여 日本의 例를 소개하기로 한다.

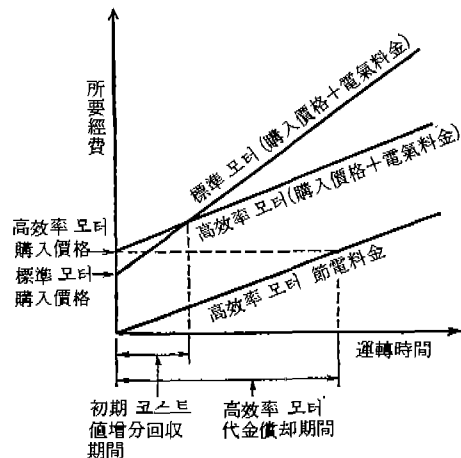
(1) 年間節電料金

高效率 모터를 使用하였을 때의 年間節電料金은 다음 式으로 計算된다.

$$Y = P \times W \times T \times \left(\frac{100}{E_1} - \frac{100}{E_2} \right) \quad (4)$$

여기서 Y : 年間節電料金 [엔/年]

P : 所要出力 [kW]



〈그림 7〉 節電效果

W : 電力量料金 [엔/kWh]
 T : 年間運轉時間 [h/年]
 E_1 : 標準 모터의 效率 [%]
 E_2 : 高效率 모터의 效率 [%]

上式에 의한 計算例를 以下에 표시한다.

여기서, $P=5.5\text{kW}$, 100% 負荷 50Hz, $W=20\text{엔/kWh}$, $T=4000\text{h/年}$, $E_1=87\%$, $E_2=90.5\%$ 라고 하면 年間節電料金は

$$Y = 5.5 \times 20 \times 4000 \times \left(\frac{100}{87} - \frac{100}{90.5} \right) = 20,000 \text{ [엔/年]}$$

이 되어 年間 2萬엔이 節減된다.

(2) 初期 코스트의 價格差 回收期間

上記한 바와 같이 年間節電料金を 利用하여 다음 式으로 求하여진다.

$$\frac{\text{高效率 모터 購入價格 증가분의 回收期間 [年]} \left[\begin{array}{l} \text{高效率모터} \\ \text{購入價格 [엔]} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{標準모터} \\ \text{購入價格 [엔]} \end{array} \right]}{\text{年間節電料金 [엔/年]}} \quad (5)$$

(3) 購入費用의 償却期間

$$\frac{\text{高效率 모터 購入費用의 償却期間 [年]} \left[\begin{array}{l} \text{高效率모터 購入價格 [엔]} \end{array} \right]}{\text{年間節電料金 [엔/年]}} \quad (6)$$

3. 高效率 모터 選定使用上の 注意

高效率 모터의 節電效果를 有效하게 活用하기 위한 選定, 使用에 있어서의 注意事項에 대하여 記述한다.

가. 用途

高效率 모터는 前述한 바와 같이 여러가지의 損失低減策에 의해 運轉時의 損失을 적게 하고 效率의 向上을 도모하고 있다. 따라서 一定速度로 連續적으로 使用되는 用途에 대하여는 모두 有效하며, 펌프, 팬, 블로워, 紡績機, 콘베이어 등 가동률이 높고 年間 運轉時間이 길수록 節電

效果는 크다. 短時間의 使用이나 年間 運轉時間이 짧은 用途에 대하여는 電力使用량이 적으므로 適用하는 데 충분한 주의가 필요하다.

또 特性은 슬립이 적고 二次抵抗이 적은 경향이 있어 프레스用, 호이스트用, 搬盤用 등으로 起動 빈도가 심하여 起動時 損失이 問題가 되는 用途에 대하여는 高效率 모터 보다도 사이클 스타트 모터와 같은 二次高抵抗形 모터를 使用하는 것이 節電이 된다. 극단적으로 起動빈도가 많을 때 高效率 모터를 適用하면 燒損할 우려가 있으므로 이러한 경우에는 모터 메이커와 相議하여야 한다.

上述한 起動빈도와 發生損失의 관계에 대하여 좀 더 상세히 설명하기로 하자.

起動時 및 制動時에 誘導電動機에 發生하는 損失은

$$Q = \frac{GD^2 \cdot N^2}{730} (s_1^2 - s_2^2) \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right) \frac{T_L}{T_M \pm T_L} \quad (7)$$

여기서, Q : 發生損失 [W·s]

GD^2 : 모터 + 負荷 [kg·m²]

r_1 : 一次 (固定子) 捲線抵抗 [Ω]

r_2 : 二次 (回轉子) 導體抵抗 [Ω]

T_M : 모터 發生 토크 (平均値) [kg·m]

T_L : 負荷 토크 [kg·m]

s_1 : 起動前 또는 制動前의 슬립

s_2 : 起動後 또는 制動後의 슬립

(分母의 ±는 +는 制動時, -는 起動時)

지금, 起動時의 損失을 Q_s 라고 하면 (이때 (7) 式에서 $s_1^2 - s_2^2 \approx 1$ 이 된다) 制動時, 逆轉時의 損失은 (7) 式에 의하여 다음과 같이 된다.

回生制動時 : Q_s , 送相制動時 : $3 Q_s$, 送轉時 : $4 Q_s$

$$(7) \text{ 式의 第 1 項 } \left(\frac{GD^2 \cdot N^2}{730} (s_1^2 - s_2^2) \cdot \frac{T_L}{T_M \pm T_L} \right)$$

은 二次導體에 發生하는 損失이고 第 2 項 (第 1 項의 上式에 r_1/r_2 를 곱한 것) 은 一次捲線에 發生하는 損失이다. 여기서 알 수 있듯이 第 1 項은 二次抵抗值에 關係가 없으나 第 2 項의 一次捲線 (固定子) 側은 二次抵抗 r_2 가 클수록 r_1/r_2

가 작아지며 發生損失이 적어진다.

以上에서 기동빈도가 심한 용도에 대해서는 二次抵抗을 높게 하고 起動時 또는 制動時의 損失을 적게 한 高抵抗形 모터를 使用하는 것이 一般的이다.

한번 起動한 후 數時間 連續運轉하는 때는 (7) 式에 표시하는 損失은 全然 問題가 안되므로 運轉時의 效率를 높인 모터를 使用하여도 支障이 없다.

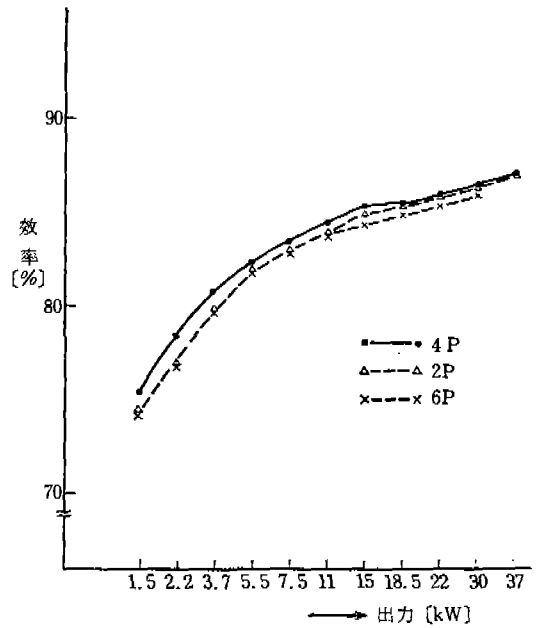
高效率 모터와 같이 運轉時의 效率를 높이면 二次抵抗이 낮아지는 傾向이 되어 起動時 損失이 커지지만 起動時 損失을 줄이기 위하여 二次抵抗을 높이면 슬립이 증가, 運轉時損失이 增加한다. 이와 같이 二次抵抗에 대하여 起動時損失과 運轉時損失은 서로 相反하는 傾向이 된다.

나. 極數의 選定

그림 8에 工業規定에 規定된 各 出力의 效率를 표시한다.

誘導電動機에서는 極數가 많을수록 磁路가 길어지고 所要 安培어턴이 늘어나므로 勵磁電流가 增加한다. 그 結果 電流의 位相이 뒤져 力率이 나빠짐과 同時에 鐵損, 無負荷銅損 등의 無負荷損이 늘어난다.

負荷電流에 의한 損失이 負荷의 크기에 따라



〈그림 8〉 極數에 의한 效率의 比較

增減하는데 대하여 無負荷損은 負荷의 크기에 상관없이 항상 發生하게 된다.

以上으로 誘導電動機에 있어서는 極數가 많아질수록 效率, 力率 공히 나빠지는 傾向이 있다. 모터의 크기도 2, 4極은 같은 경우도 있으나 6極以上은 極數가 늘어남에 따라 커진다.

實際로는 2極의 경우 勵磁電流가 가장 작지

전기사용합리화로

부족전력 보충하자

〈표 1〉 電壓周波數의 變化가 特性에 미치는 影響

特 性	始 動 電 流	同 期 速 度	슬 립	全 負 荷 電 流	始 動 電 流	全 負 荷 率	全 負 荷 率	全 負 荷 率	最 大 出 力	溫 度 上 昇
電 壓 變 化	定格電壓이 110%일 때	+21%	變化없음	-17%	-12%	+12%	+0.5~1	-3	+21%	-3~4℃
	定格電壓時의 값을 1로 하였을 때 電壓이 V배 가 되었을 때의 값	V^2	變化없음	$1/V^2$	-	V	일정치 않다	일정치 않다	V^2	-
	定格電壓 90% 時	-19%	變化없음	+23%	+11%	-11%	-2	+1	-19%	+6~7%
周 波 數 變 化	定格周波數 105%時	-10%	+5%	약간 增加	-(極少)	-5~6%	+(微量)	+(微量)	-(極少)	-(微量)
	定格周波數時의 값을 1로 하여 周波數가 f 배가 되었을 때	$1/f^2$	f	-	-	$1/f$	-	-	-	-
	定格周波數 95%時	+11%	-5%	약간 減少	+(極少)	+5~6%	-(微量)	-(微量)	+(極少)	+(微量)

만 回轉數가 많기 때문에 機械損이 크며 모터 自 體의 效率는 4極이 가장 좋고 다음에 2極, 6極의 順이 된다. 따라서 節電效果의 面만으로는 4極이 가장 有利해지지만 選定하는 데 있어서는 使用條件, 價格 등을 포함하여 總體的으로 檢 討하여야 한다.

다. 負荷率

2-나에서 記述한 바와 같이 (그림 5 參照) 高 效率 모터의 效率는 標準 모터에 比하여 各負荷 率에서는 相對的으로는 좋아졌으나 輕負荷에서 效率이 나빠지는 경향은 變하지 않고 負荷가 극 단적으로 가벼우면 高效率 모터라 하여도 效率 이 훨씬 나빠진다.

모터의 容量選定에 있어서는 아무래도 負荷에 대하여는 여유를 두는 경향이 있으나 여유를 지나치게 잡으면 高效率 모터 채택의 意味가 없어 지므로 이 點을 주의하여 負荷의 크기를 충분히 파악한 후에 適正한 容量을 選定하여야 한다.

一般的으로 誘導電動機는 負荷率 75~100%정 도에서 最大效率이 되도록 設計되어 있으므로 이 범위내에서 使用되도록 選定하여야 한다.

또한 반대로 過負荷運轉은 溫度上昇의 過多를 초래한다. 극단적인 過負荷는 燒損될 可能性이 있으나 거기까지는 이르지 않더라도 絶緣이나 軸받이 壽命에 影響을 주므로 避하여야 한다.

라. 電 源

표 1에 電壓 및 周波數의 變化가 特性에 미치는 影響을 표시한다.

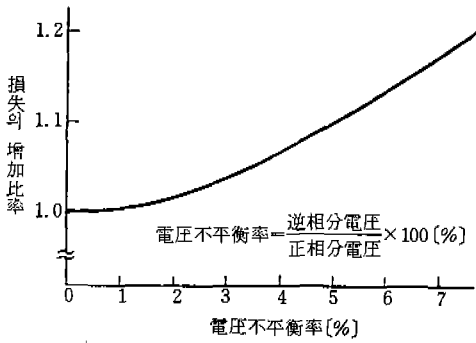
電壓變動과 周波數變動에 대하여는 實用上 支 障이 있으면 안되는 許容範圍가 KS規格에 定하 여져 있다. 즉

- ① 電壓變動은 定格周波數에서 $\pm 10\%$
- ② 周波數變動은 定格電壓에서 $\pm 5\%$
- ③ 양쪽이 變動하는 경우 각각의 變動은 上記 範圍內에서 兩變化 百分率의 絶對值의 計가 10% 以內

로 되어 있다. 實用上 支障이 없어도 모두 모터의 效率, 力率에 影響을 주므로 될 수 있는 한 定格에 가까운 條件에서 使用하는 것이 바람직하 다.

이밖에 不平衡電壓과 電源의 高調波는 모두 모터의 損失을 增大시킬 뿐만 아니라 모터의 異常過熱이나 騒音, 振動의 增加 原因도 된다. 不平衡電壓은 三相電源에서 單相電源을 引出하는 경우 高調波는 다이리스터를 應用한 裝置나 아 크爐 등이 있으면 發生原因이 되므로 이들 影響 이 모터 端子에 미치지 않도록 對策을 강구할 필요가 있다.

그림 9에 電壓不平衡에 의한 모터 損失의 增 加比率를 표시한다.



(그림 9) 電圧不平衡이 있을 때의 損失의 増加

마. 驅動方式

모터와 負荷를 連結하는 驅動方式을 大別하면 下記와 같은 種類가 있다.

- ① 벨트 驅動
- ② 체인 驅動
- ③ 기어 驅動
- ④ 直結

각각의 驅動方式 傳達效率은 直結方式의 경우 100%로 가장 좋다. 다른 方式에서는 條件이나 種類(벨트의 種類, 기어의 種類 등)에 따라서도 상이하지만 概略의으로는 기어 驅動的의 경우 97~99% (一般的인 짜기어 1段일 때)로, 벨트, 체인 驅動的의 경우는 一般的으로 기어 驅動的의 경우보다 2~4% 나쁘다. 모두 減速比가 커질수록 傳達效率이 나빠진다.

各驅動方式마다 각기의 種類가 있으며, 使用條件에 따라서는 有效한 것이 있으므로 注意할 필요가 있다. 예를 들면 기어 驅動에서는 最近 比較的 高減速比로 傳達效率이 좋고 스페이스가 적어지는 遊星기어式의 것이 注目받고 있다.

直結의 경우, 傳達效率은 좋으나 回轉數가 늦어지면 모터의 極數를 증가시키게 된다. 때문에 앞서 記述한 바와 같이 모터의 效率이 나빠지고 치수도 커진다.

또 기어 驅動的의 경우 예를 들면 4極의 모터에 1/60의 기어를 조합하는 경우와 8극의 모터에 1/30의 기어를 조합하는 경우는 最終回轉數는 같

으나 어느 것이 節電에 有利한가를 檢討하여야 하는 케이스가 생긴다.

以上과 같은 예를 포함하여 節電對策의 面에서 最適驅動方式을 생각하는 경우 傳達效率뿐 아니고 모터의 效率을 포함한 綜合效率로 평가하여야 한다. 또 여기서 驅動方式의 選定에 있어서는 당연히 모터 極數의 選定과도 관계가 있어 同時에 檢討하여야 한다.

(綜合效率 = 모터 效率 × 傳達效率)

實際의 場面에서는 위에 記述한 綜合效率에 추가해서 下記事項을 고려하여 選定할 필요가 있다.

- ① 各驅動方式의 特徵에 따라 시방, 스페이스, 容量 등을 감안, 負荷에 맞는 것일 것.
- ② 價 格
- ③ 保 守

마. 保守點檢

誘導電動機는 一般的으로 保守點檢이 적어도 되고 高效率 모터 保守點檢의 實施方法은 標準 모터와 다르지 않으나 節電效果를 보다 크게 하기 위해서는 定期點檢을 實施하여 항상 最良의 狀態로 사용하는 것이 바람직하다.

設置場所의 環境(먼지, 通風 등), 傳達裝置, 驅動機械의 調整, 潤滑 등에 起因하는 冷却條件의 惡化나 마찰의 増加 등으로 인한 不必要한 損失의 増加를 피하도록 注意할 필요가 있다.

☆ ☆ ☆

以上 低壓三相 籠形誘導電動機의 高效率 모터에 대하여 그 概要와 效果의인 使用方法을 主眼點으로 紹介하였다.

一般工場에서 電力使用量의 過半을 占有하는 電動力設備의 에너지 節減을 도모하기 위해서는 모터의 適切한 選定, 모터의 보다 效率的인 使用方法은 重要한 問題이다. 앞으로 더욱 더 重要視될 에너지의 效果의利用에 대해서 本稿가 多少나마 參考가 된다면 多幸이겠다.

(다음 호에 계속)