

運轉改善으로 達成할 수 있는 에너지節約

⑨

2·1·5 에너지節約方法

2·1·1에서 기술한 바와 같은損失을 극력 적게 하려면 어떠한方法이 있나를 생각해 보기로 한다.

(1) 配電損失의 輕減方法

配電損失은 그 성격상 매우 輕減하기가 어렵다. 配線 케이블에 의한 銅損을 줄이려면 굵은 케이블을 사용하면 되나 工事費가 비싸지고 工事가 어렵다는 相反하는 현상이 생긴다. 리액터나 콘덴서, 配電盤等도 11의이 있어 설치된 것으로 간단히 제거할 수는 없다. 그러나 變壓器만은 비교적 간단하게 그 無負荷損失을 低減할 수가 있다.

즉, 複數의 變壓器中 극단적으로 負荷率이 낮은 變壓器는 빼어내고 다른 變壓器에서 給電하는 이른바 臺數制御라든가 또 新設일 때는 小容量의 變壓器群으로 하지 않고 大容量의 小數變壓器群으로 構成하든가 그 수요 패턴이나 負荷率에 따라서 最高의 효율에 근접시키는 方法이다.

(2) 電動機損失의 輕減方法

우선 처음에 생각하여야 할 일은 플랜트에 불필요한 電動機가 없나를 檢討하는 것이다.

즉, 化學 플랜트 등에서는 탱크 類가 많이 사용되고 있는데, 약간의 不利를 각오하면 省略할 수 있는 것도 포함되어 있을 때가 있다.

또 抄紙機 등의 라인머신에도 실질적으로는 없어도 특별한 지장이 없는 물 등이 포함된 경우가 있다.

이를 驅動電動機를 省略함으로써 에너지節約을 도모할 수가 있다.

다음에 많이 사용되고 있는 定速交流電動機의 손실을 경감하려면 負荷率을 再檢討하는 것이 효과적이다. 보통 機械를 설계할 때 最大定格으로 設計하므로 實運轉時의 負荷와의 사이에 差가 생기는 일이 많다. 또한 驅動電動機의 容量 選定時는 標準容量에 맞추기 위해 上向調整하거나, 설계 마진을 보거나 하기 때문에 이 차는 더욱 커지며, 50% 이하의 輕負荷운전으로 되어 있는 것도 적지 않다. 이 경우 당연히 效率도 나빠지므로 평소부터 負荷率 범위를 체크하여 두

면 電動機의 再配置 등으로 最適容量에 근접시킬 수가 있어 效率向上이 가능하다. 一部の 電動機를 새로 購入하여도 종합적으로는 經濟的일 경우도 많다.

이 밖에 他力通風形의 電動機를 정지할 때는 쉽게하게 冷却 팬을 정지시키거나 直流電動機 정지시에는 界磁電流를 줄이거나 또는 電源을 끊거나 하는 것도 有效하다.

(3) 커플링 損失의 輕減方法

渦電流 커플링이나 流体 커플링은 이미 設備化되었을 때는 그 損失을 輕減하는 것이 곤란한 때가 많다.

極力 高速領域에서 운전토록 하거나 容量이 커서 손실도 클 때는 메릿 計算을 한 후 다른 可變速驅動 시스템으로 交換할 수 밖에 없다.

新設을 검토할 때는 이니시얼 코스트와 런닝 코스트에서 最適 시스템을 선정하여야 한다.

(4) 機械損失의 輕減方法

일반적으로 群으로 구성된 機械는 機械效率를 간단히 증가시키기가 곤란하다.

그러나 가장 많이 사용되고 있는 펌프나 블로워는 再檢討함으로써 效率를 올릴 수가 있다.

우선 플랜트에서 使用되고 있는 機械의 運轉 實績을 파악하여 壓力, 流量이 대폭적으로 設計數值에서 벗어나지 않았나 체크한다. 만일 있다면 效率이 나쁜 使用方法이 채택되고 있는 것이 되므로

(a) 現行設備의 再配置는 안되는가

(b) 날개의 角度를 바꾸거나 一部 改造하여 效率를 向上시킬 수 없는가.

등을 檢討한다.

펌프나 블로워는 效率가 많은데다가 一般적으로 效率이 낮으므로 여기서 改善이 되면 에너지 節減效果가 커지리라 생각된다.

(5) 프로세스 損失의 輕減方法

프로세스 損失의 대표적인 것은 前述한 바와

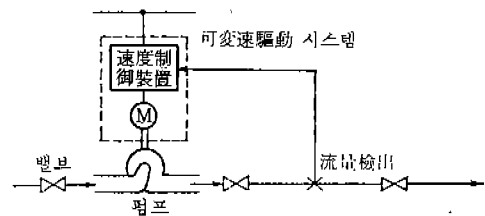
같이 配管이나 調節 밸브 등에 의한 壓力損失이다. 調節 밸브의 前後의 壓力차가 크든가 바이패스가 필요 이상 크거나 하면 당연히 損失도 커진다.

이런 경우는 밸퍼나 調節 밸브를 없애고 電動機를 可變速運轉하는 것이 가장 좋은 效率改善策이다.

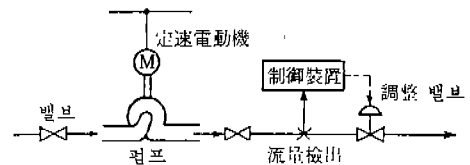
펌프나 블로워는 토크가 速度의 2 乘에 거의 比例하므로 특히 電力節減效果가 크다.

以下, 이 原理에 대하여 펌프를 예로 들어 說明한다. 그림 2·11은 總전의 調節 밸브에 의한 流量制御, 그림 2·12는 可變速驅動 시스템에 의한 流量制御이다. 그림 2·13은 從前方法과 可變速에 의한 경우의 $Q-H$ 曲線을 표시한다. 그림 2·13에서 實線 $H(n_1)$, $H(n_2)$ 는 펌프의 流量과 吐出壓의 關係를 표시하는 펌프 特性曲線으로, 破線 $R(I)$, $R(II)$ 는 管路의 抵抗과 吸出口와 吐出口의 水位差에 따라 決定되는 管路抵抗曲線이다. 펌프는 이 두 개의 曲線, 펌프 特性曲線과 管路抵抗曲線의 交點으로 운전한다.

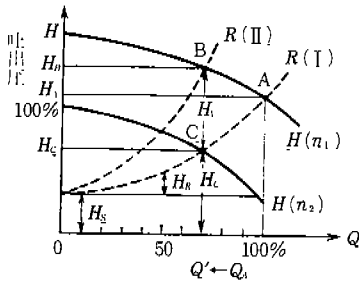
調節 밸브에 의한 流量制御時 管路抵抗曲線



〈그림 2·11〉 調整 밸브에 의한 流量制御



〈그림 2·12〉 可變速驅動 시스템에 의한 流量制御



〈그림 2·13〉 Q-H 曲線

은 吸吐出面의 높이의 差(實揚程) H_s 와 管路를 흐르는 流體의 마찰저항분 H_R 와의 합으로 구하여진다. 이 마찰저항분은 流量 Q 의 2 乘에 비례하며 그 경사는 調節 밸브의 開度에 따라 變化한다. 밸브를 絞면 管路의 抵抗分이 증가하며 管路抵抗曲線은 例를 들면 $R(I)$ 에서 $R(II)$ 로 變化하고 $H(n_1)$ 와 的 交點은 A點에서 B點으로 이동한다. 이 結果, 流量이 Q_1 에서 Q' 로 감소함과 동시에 吐出壓은 H_s 에서 H_B 로 上昇한다.

다음에 速度를 變化하여 流量을 制御할 때는 調節 밸브가 없기 때문에 管路抵抗曲線은 $R(I)$ 만이 된다. 한편, 펌프의 特性曲線은 회전速度에 따라 變化하며 速度를 n_1 에서 n_2 로 내리면 이에 따라 特性曲線도 $H(n_1)$ 에서 $H(n_2)$ 로 吐出壓이 내리는 方向으로 移動한다. 이 結果, 特性曲線과 抵抗曲線의 交點은 A點에서 C點으로 移行, 流量이 Q_1 에서 Q' 로 減少함과 동시에 吐出壓은 H_A 에서 H_C 로 下降한다.

이와 같이 어느 方法으로도 流量을 制御하는 것은 가능한데, 調節 밸브에 의할 때는 밸브에 的 壓力損失 H_c 만큼 速度制御의 경우에 比하여 電力消費가 많은 것을 알 수 있다. 이 電力差는 다음 式으로 표시된다.

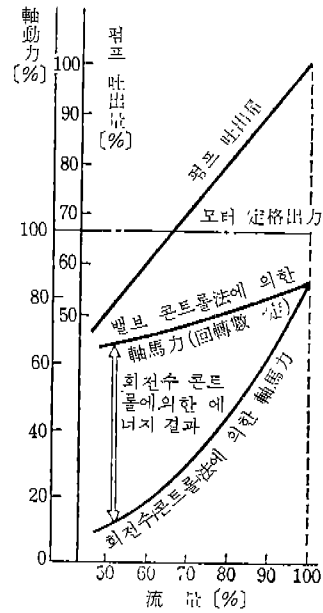
$$P_v = P_b - P_c = KQ'H_v/\eta \quad (2.1)$$

K : 定數, Q' : 流量,

H_v : 밸브에 的 壓力損失

η : 펌프 效率

다음에 消費電力을 다른 觀點에서 보면 消費電力 P 는 電壓 V , 電流 I 의 곱에 比例한다.



〈그림 2·14〉 消費電力

$$P \propto V \cdot I \quad (2.2)$$

토크(管路抵抗)가 流量에 比例하는 경우

$$V \propto n_1, I \propto n^2, n \propto Q$$

의 關係가 있으므로

$$I \propto n^3 \propto Q^2 \quad (2.3)$$

가 되어 消費電力은 回轉數 또는 流量의 3 乘에 比例하는 것을 알 수 있다. 따라서 약간만 速度를 줄여도 큰 電力節減 效果를 얻을 수 있다. 그림 2·14에는 調節 밸브 制御와 速度制御의 경우의 消費電力을 표시한 것으로, 그 差가 速度制御를 하였을 때의 電力節減이 된다.

2·2 專用電動機의 에너지 절감 운전

專用電動機라고 하면 막연하게 생각되지만 여기서는 小容量誘導電動機를 주체로 하여 에너지 節減의 目的으로 제작되고 있는 電動機 및 에너지 節減效果가 있는 可變速電動機의 運轉에 대하여 記述한다.

2·2·1 損失의 把握

에너지 節減運轉을 생각할 때는 우선 現行運

轉方式에서의 損失狀況을 파악하는 일이 重要하다.

損失要因으로서는

- (i) 電源設備
- (ii) 電動機單體
- (iii) 不必要한 運轉
- (iv) 動力傳達部

로 大別된다.

電源設備, 動力傳達部에 대하여는 다른 章에서 기술하기 때문에 여기서는 電動機單體와 不必要한 運轉에 대하여 記述키로 한다.

(1) 標準誘導電動機의 損失

우선 電動機單體의 損失을 파악하는 의미로 數 kW의 標準誘導電動機 손실분석 例를 그림 2·15에 든다.

(a) 一次銅損 (P_1)

固定子捲線(一次捲線)의 電氣抵抗에 발생하는 손실로서 다음 式에 표시하는 바와 같이 電動機에 흘러들어가는 電流의 2 乘에 비례한다. 數 kW의 誘導電動機에서는 이것이 가장 크다.

$$P_1 = m_1 I_1^2 r_1 \quad (2 \cdot 4)$$

m_1 : 一次捲線의 相數

I_1 : 一次相電流

r_1 : 一次捲線抵抗

(b) 二次銅損 (P_2)

回轉子捲線(二次捲線)의 電氣抵抗에 발생하는 손실로서 二次相電流의 2 乘에 비례하고 슬립과는 다음 式과 같은 관계가 된다.

$$P_2 = m_2 I_2^2 r_2 = m_2 \frac{S}{1-S} P_0 \quad (2 \cdot 5)$$

m_2 : 二次捲線의 相數, I_2 : 二次電流

r_2 : 二次捲線의 抵抗, S : 슬립

P_0 : 電動機軸出力

(c) 鐵損

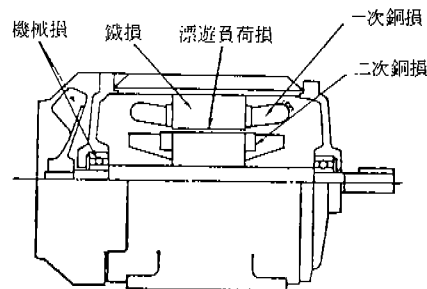
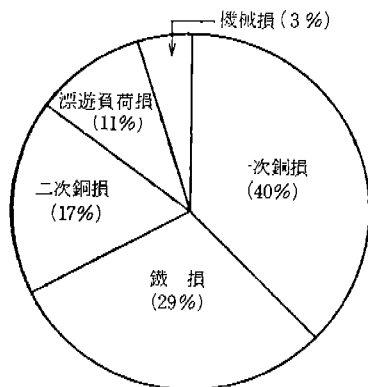
固定子 및 回轉子鐵心内の 磁束이 回轉磁界에 의해 변화함으로써 발생하는 손실로서 히스테리시스損과 渦電流損으로 구성되며 電動機端子 電壓의 2 乘에 비례한다.

(d) 漂遊負荷損

負荷時에 捲線 및 鐵心に 발생하는 손실로서 負荷電流가 흘렀을 때의 누설자속에 의하여 鐵心 기타의 금속부분에서 발생하는 渦電流損 등 계산이 안되는 餘분의 負荷損 合計이다.

(e) 機械損

베어링의 마찰손, 팬, 회전자 등의 회전에 의한 風損의 合計로서 일반적으로는 마찰손은 速度에 비례하고 風損은 速度의 3 乘에 비례한다.



〈그림 2·15〉 標準誘導電動機의 損失分析例

(2) 不必要 運轉에 의한 損失

電動機의 선정 부적당을 포함해서 不必要한 運轉에 의한 損失을 아래에 기술한다.

(a) 空運轉

工作機械의 主軸이나 크러치 모터와 같이 電動機의 熱의限度에서 始動빈도를 줄이거나 始動時間의 단축을 위해 크러치로 動力을 전달하여 부득이 空轉, 그 시간이 긴 用途에서는 이 損失을 무시할 수 없다. 空運轉時는 이른바 無負荷損이 발생하며 數kW의 誘導電動機에서는 定格의 數%에 달한다. 無負荷損의 주요 원인은 鐵損, 機械損 및 勵磁電流에 의한 一次銅損이다.

(b) 端子電壓 不適當

誘導電動機의 出力 토크는 다음 式에 표시되듯이 端子電壓의 2 乘에 비례하고 그림으로 표시하면 그림 2·16과 같이 된다.

$$T = \frac{m_s s r_2' V_1^2}{9.8 w_0 \{ (s r_1 + r_2')^2 + s^2 (x_1 + x_2')^2 \}} \quad (2.6)$$

r_2' : 一次側에 換算한 二次捲線의 抵抗

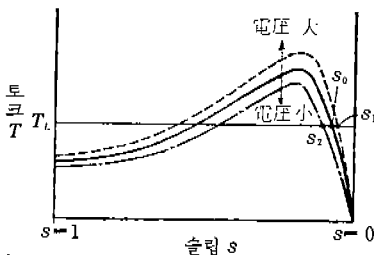
V_1 : 一次一相의 端子電壓

w_0 : 同期角速度,

x_1 : 1次捲線의 리액턴스

x_2' : 一次側으로 換算한 二次捲線 리액턴스

端子電壓이 높을 때 負荷 토크가 같다고 하면 슬립이 $s_0 \rightarrow s_1$ 으로 작아지며 二次銅損(2·5) 式은 작아진다. 그러나 鐵損이 電壓의 2 乘에



〈그림 2·16〉 誘導電動機의 出力 토크

서 增加하고 一次銅損이 勵磁電流의 2 乘에서 증가한다.

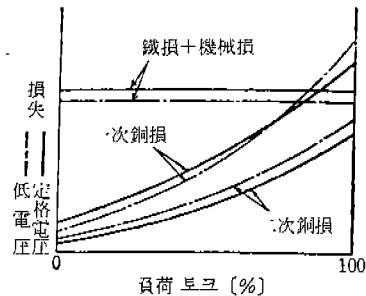
일반적으로 誘導電動機의 효율은 定格에서 最大가 되도록 제작되어 있으므로 定格電壓 以上에서는 後者の 손실증가가 前者의 손실저감보다 커지고 效率이 저하한다. 한편 端子電壓이 낮은 경우는 손실의 증감관계가 반대가 되지만 역시 손실증가 분이 커지고 效率이 저하된다. 數 kW의 誘導電動機를 定格 토크로 운전하고 있을 때 端子電壓이 定格端子電壓보다 10% 변화하였을 때 1~2% 效率이 저하한다. 단, 定格 토크로 運轉하지 않을 때는 아래에 기술하는 바와 같이 다른 생각을 할 필요가 있다.

(c) 電動機容量 不適當

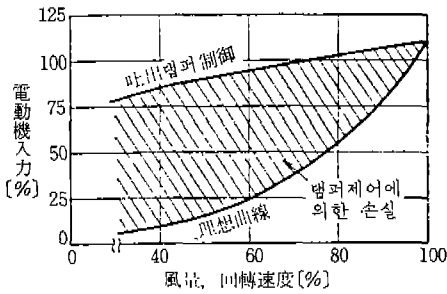
電動機容量이 不足할 때는 效率이 떨어질 뿐 아니라 電動機가 燒損되게 되므로 이는 論外로 하고, 電動機容量에 여유가 있다해서 效率이 좋다고 할 수는 없다. 負荷 토크를 변화시킨 경우의 손실의 개념도(그림 2·17)에서 알 수 있듯이 定格電壓으로 電動機를 운전하는 경우 負荷가 가볍더라도 鐵損+機械損의 값은 거의 일정하므로 定格負荷로 運轉하는 것보다 당연히 效率이 떨어진다. 즉, 여유가 있는 電動機를 운전할 때 定格대로 運轉하는 것보다 效率이 떨어지며, 50% 負荷의 경우 2~3% 떨어진다.

(d) 브로워의 댐퍼 制御

이것은 브로워를 一定速度로 운전, 風量을 擘



〈그림 2·17〉 負荷 토크 變化時損失의 概念圖



〈그림 2·18〉댐퍼의 제어의 손실

퍼로 제어하였을 때의 손실로서, 다른 章에서 설명하기 때문에 생략하지만 이에 의한 손실은 일반적으로 그림 2·18의 斜線部로 표시된다.

(e) 슬립 제어方式 可變速電動機의 低速運轉

슬립 제어方式 可變速電動機의 대표적인 것으로 渦電流 커플링 제어와 誘導電動機의 一次電壓제어를 들 수 있다. 渦電流 커플링의 경우 커플링部에서 발생하는 손실 P_c 는 다음 式에 표시되듯이 커플링部的 슬립 回轉速度 ($N_M - N$)에 비례한다.

$$P_c = \frac{N_M - N}{N_M} P_M = 1.027 (N_M - N) T \times 10^{-3} [\text{kW}] \quad (2.7)$$

N_M : 驅動電動機 回轉速度 [rpm]

N : 渦電流 커플링 回轉速度 [rpm]

P_M : 驅動電動機出力 [kW]

T : 渦電流 커플링 出力 토크 [kgm]

또 一次電壓제어의 경우, 誘導電動機 回轉子에서 發生하는 損失 P_r 도 다음 式에 표시되는 바와 같이 슬립 回轉速度 ($N_s - N$)에 比例한다.

$$P_r = \frac{s}{1-s} P_0 = \frac{N_s - N}{N} P_0 = 1.027 (N_s - N) T \times 10^{-3} [\text{kW}] \quad (2.8)$$

P_0 : 電動機軸出力 [kW]

N_s : 電動機同期回轉速度 [rpm]

N : 電動機回轉速度 [rpm]

T : 電動機出力 토크 [kg·m]

〈표 2·3〉 高效率電動機의 改善內容

電動機의 改善	要 因	低減損失
① 鐵心積厚의 增加	一次電流의 低減	一次銅損
② 電線使用量의 增加	一次卷線抵抗의 低減	一次銅損
③ 銅 또는 알루미늄의 增加	二次抵抗의 低減	二次銅損
④ 高級鐵心材料의 採用	磁束密度의 低減	鐵 損
	에어갭의 適正化	漂遊負荷損
	回轉子處理對策	
	高調波磁束對策	

2.2.2 損失의 低減

2.2.1에서의 電動機單體의 損失分析, 運轉方法에 의한 損失發生의 파악을 기본으로 電動機單體로서는 損失을 줄이는 것과 運轉方法에 적합한 特性을 갖게 함으로써 改善 가능하고 運轉方法으로서는 電動機 損失發生의 本質을 精確하게 파악함으로써 에너지 節減運轉方法을 생각할 수 있다.

(1) 電動機單體의 改善

(a) 高效率電動機

그림 2·15에 표시한 誘導電動機의 損失중 鐵損, 漂遊負荷損을 대폭 감소시킨 電動機로서, 표 2·3에 표시하는 바와 같이 使用材料의 增加와 鐵心材의 그레이드 업에 의존하고 있다.

損失은 종래의 標準誘導電動機보다 20~30% 減少하고 있다.

(b) 低減 토크 特性 極性變換電動機

브로워의 뎀퍼 제어를 可變速電動機로 바꾸어 損失을 低減하는 것은 一般적으로 되어 있다. 그러나 可變速電動機의 效率은 반드시 좋은 것만 이 아니고 高效率인 것은 價格이 비싸서 價 kW의 容量인 것은 채택하기 어려운 면도 있다.

그리하여 주간과 야간으로 크게 2段階로 風量을 바꾸어 주는 예와 같이 有段 變速으로 用途

에 맞는 경우가 많은데, 이와 같은用途에는 極數變換電動機가 有利하다. 그러나 定 토크 特性이나 定出力特性의 極數變換電動機에서는 低速時의 負荷率이 매우 低下된다. (2)에서 언급하는 바와 같이 效率이 떨어진다. 그리하여 펌프, 브로워의 負荷特性, 즉 負荷 토크 \propto (回轉速度)²에 맞는 低減 토크 特性을 갖는 極數變換電動機가 이 用途에 적합한데, 예를 들면 50% 速度로 출력 운전하였을 때 定 토크 特性의 것과 비교하여 10% 가까운 效率向上을 기대할 수 있다.

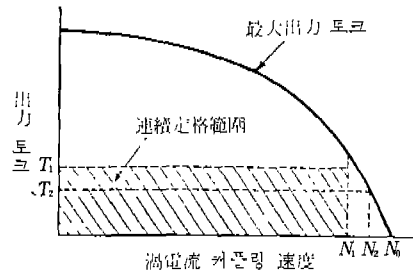
(c) 펌프·브로워用 渦電流 커플링附 電動機

汎用 渦電流 커플링付電動機의 最大 出力토크 特性은 그림 2·19와 같이 定格速度 N_1 에서 다소의 加速 토크를 남긴 定格 토크 T_1 이 設定되어 있다. 그러나 펌프, 브로워와 같이 2乘 토크 負荷의 경우 最大出力 토크 한도까지 사용하여도 定格速度에 도달하기까지의 加速 토크는 충분히 얻을 수 있다. 그리고 그림과 같이 汎用의 定格 토크 보다는 낮은 定格 토크 T_2 로 하고 그 분량만큼 定格速度를 $N_1 \rightarrow N_2$ 로 올림으로써 $T_2 N_2 \approx T_1 N_1$ 으로 하여 出力을 低下하지 않고 渦電流 커플링部의 슬립을 적게할 수 있어, 즉 高效率로 할 수가 있다. 汎用으로 定格速度時, 슬립이 10%의 것을 7%로 함으로써 渦電流 커플링 部의 損失을 30% 이상 줄일 수 있는 것이 2·7 式으로 計算된다.

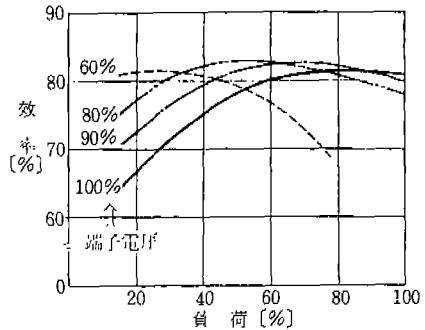
(2) 에너지 節減 運轉方法

(a) 輕負荷時 電壓을 내린다

誘導電動機의 空運轉時 손실에 대하여 그림 2·17에서 說明하였지만 그 그림의 1點鎖線은 端子電壓을 내렸을 때의 損失의 모양을 표시하고 있다. 電壓을 내리면 슬립이 커지기 때문에 二次銅損은 增加하나 鐵損은 감소하며, 어느 토크 以下에서는 勵磁電流의 감소에 따라 一次銅損도 감소, 合計로서 損失이 줄어든다. 이를 定量的으로 계산한 예를 그림 2·20에 표시하는데, 負荷率에 대하여 가장 적합한 端子電壓이 존재하



〈그림 2·19〉 渦電流 커플링附 電動機의 出力特性



〈그림 2·20〉 電壓變化時의 效率曲線

는 것을 알 수 있다. 電壓을 제어하는 方法으로서 는 다이리스터 등을 사용하여 自動적으로 最適電壓을 선택, 運轉하는 節電 어댑터가 있지만 크러치 모터와 같이 운전 패턴이 명확한 것은 크러치 OFF의 輕負荷時만 어떠한 方法으로 電壓을 내리면 된다.

(b) 電源電壓의 最適化

誘導電動機의 效率이 端子電壓에 크게 의존하고 있는 것은 그림 2·20의 說明으로 이해되었으리라고 생각되지만 또 한가지 중요한 것은 電動機의 定格 바로 그것이다. 標準誘導電動機는 200V 60Hz, 220V 60Hz의 定格으로 사용되도록 되어 있어 반대로 말하면 어느 定格에도 最適이 아니라고 할 수가 있다. 따라서 定格電壓, 定格周波數 維持가 急先務라 하겠다.

(다음 호에 계속)