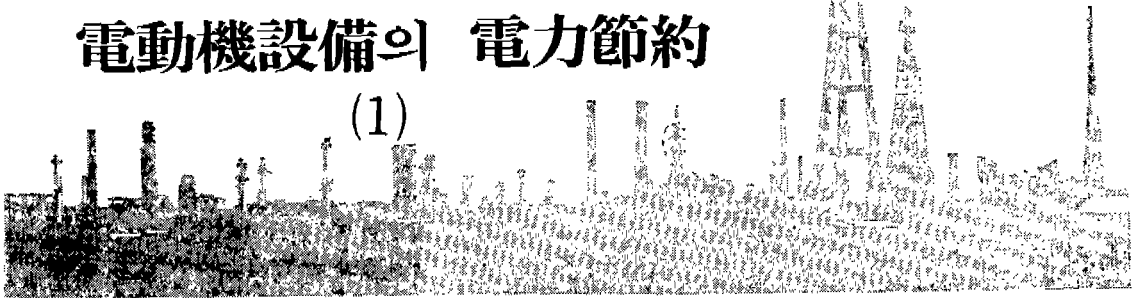


技師會員을 위한 理論과 實務

현장의 전기사용 절약방법

電動機設備의 電力節約

(1)



1. 電動機의 特性

여기서는 電力節約 觀點에서 본 電動機의 特性을 記述한다.

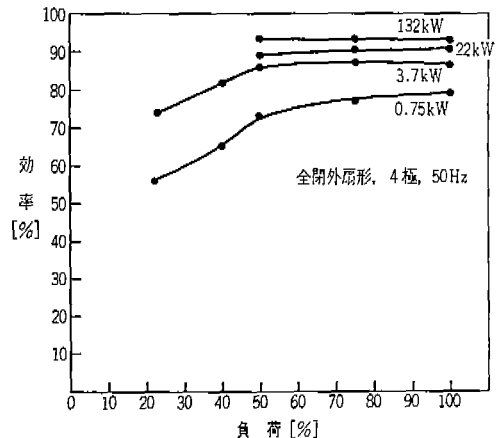
(1) 효 율

(1) 三相誘導電動機

효율은 $\eta = \text{電動機出力} / \text{電動機入力}$ 으로 표시되어진다. 損失은 電動機入力-電動機出力이지만 損失중에는 負荷損(主로 銅損), 無負荷損(主로 鐵損)이 있다는 것은 다 아는 事實이다. 電動機의 效率는 容量, 極數(回轉數), 定格電壓, 定格周波數에 따라서 달라진다. 그러나 周波數에 關하여는 電動機에서는 50/60Hz 共用이 있으며 效率의 差는 거의 없다. 또 電壓, 極數(8極 以下)에 關하여도 同

一 容量이 변 거이 差는 없다.

그림 1은 效率이 電動機의 容量, 負荷率에 따라



〈그림 1〉 低壓籠形三相誘導電動機의 效率例

달라지는 모양을 표시한 것이다. 負荷率에 따른 効率의 低下는 小容量機일수록 顯著하며 또 負荷가 50% 이하에서는 効率は 極端하게 低下한다.

(2) 直流電動機

直流電動機의 効率は 일반적으로 交流機보다 나쁘다. 이것은 계자손실(界磁損失)이나 銅損이 큰 것이 그 주된 원인이다.

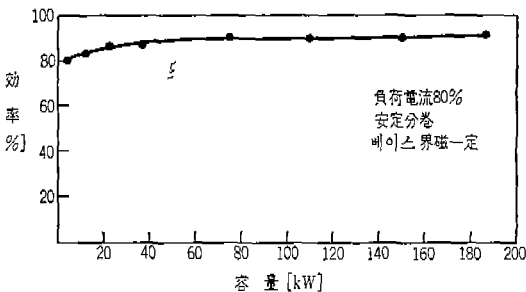
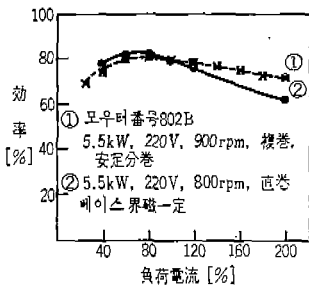
그림 2는 壓延補助機(압연보조기)의 効率的 예 를 표시한 것이다. 三相誘導 電動機와 同一容量으로 比較하면 2~3% 정도가 낮다. 最近 교류가 변속 시스템(交流可變速 System)이 주목되어지고 있는 原因의 하나도 바로 여기에 있다. 또한 直流機에서는 계자(界磁)가 있기 때문에 自冷形에서는 단시간 定格이던가 反復定格이며 연속 사용하기 위하여는 강제냉각이 필요하며 送風機用電力도 直流機가 여러 개가 있을 경우에는 無視할 수는 없다.

(2) 力 率

力率은 電動機入力[kW]/電動機 皮相入力[kVA]로 表示되어 진다. 電動機入力を P_i [kW], 선간전압을 V_i [V], 負荷電流를 I [A]로 하면 力率 $\cos \phi$ 는

$$\cos \phi = \frac{P_i}{\sqrt{3} V_i I} \times 10^{-3}$$

가 되며 皮相電力 P_i [kVA]는 $P_i = \sqrt{3} V_i I \times 10^{-3}$



〈그림 2〉 直流電動機(壓延補助機)의 効率

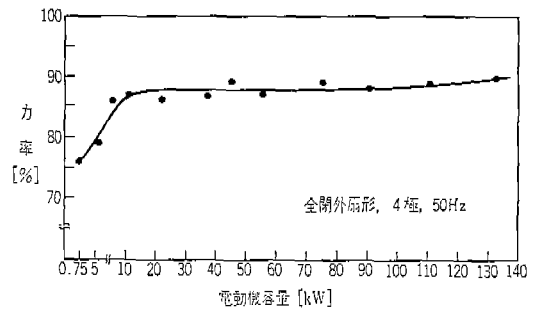
[kVA]가 된다. 力率이 나쁘다는 것은 같은 入力에 대하여 負荷電流가 크고 따라서 線路損失, 電壓降下의 증대를 가져 온다.

그림 3, 그림 4는 저압 三相誘導 電動機의 力率例를 表示한 것이다. 力率は 電動機容量이 클수록 좋으며 또 負荷率이 적어지면 급격하게 나빠진다. 極數에서는 多極數일수록 나쁘며 그림 4는 이에 이다. 이것은 여자전류(勵磁電流)가 증가하기 때문이다.

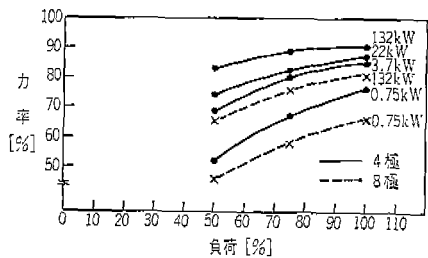
(3) 電壓變動에 따른 特性的 變化

電動機 端子電壓이 저하한 경우, 유도 전동기의 특성은 표 1과 같이 변화한다. 즉 電壓이 10% 내려가면 始動과 最大 토크(Torque)가 19%감소, 全負荷電流가 10% 증가, 全負荷効率 2% 감소, 溫度도 6~7℃ 상승한다. 그러나 75% 負荷에서는 効率は 거의 변화하지 않는다. 電壓저하로 特別問題가 되는 것은 始動토크, 最大토크의 감소, 負荷電流의 증대에 의한 線路損失의 증대, 電動機의 溫度 상승 등이다.

小容量 모우터에서는 電壓上昇이 더 問題가 되어 勵磁電流가 현저하게 증대되고 溫度上昇과 効率低下를 가져오므로 注意를 요한다.



〈그림 3〉 低壓籠形誘導電動機의 力率



〈그림 4〉 負荷率에 따른 力率의 變化

(4) 電動機 種別에 따른 特性的 差異

(1) 捲線形 誘導電動機 (권선형 유도전동기)

捲線形 誘導電動機는 回轉子 대신에 回轉子鐵心에 一相捲線을 감아서 2次 捲線으로 하고 스텝링(Slip Ring)을 各相捲線의 끝에 붙여서 브러쉬(Brush)를 통하여 2次 電流를 外部에 빼 내도록 한 것으로서 通常 外部에는 2次 抵抗을 접속한다. 捲線形 誘導電動機는 上로 始動電流의 抑制, 大GD² 負荷(GD²는 負荷의 慣性에 대한 것. 2(2) 參照 高始動頻度의 速度制御가 必要한 負荷에 使用된다. 多頻度 始動이나 反復負荷의 경우는 크레인用 電動機가 使用된다. 表 2는 捲線形과 籠形(籠形)을 比較한 것이다.

예를 들면 45kW의 電動機를 40%ED (ED: 負荷 時間率) (注 1)로 使用한 경우 表 2로 單純計算하면

捲線形의 경우

$$\text{消費電力} = \frac{1}{0.885} \times 45 \times 0.4 = 20.3 \text{ [kW/h]}$$

籠形(籠形)의 경우,

$$\text{消費電力} = \frac{1}{0.93} \times 45 \times 0.4 = 19.3 \text{ [kW/h]}$$

로 되며, 籠形이 捲線形에 比하여 1kW, 약 5%의 電力節減이 된다. 表 3은 連續定格의 捲線形과 籠形을 比較한 것이데 45kW 이하에서는 籠形쪽이 效率이 좋다.

<표 1> 電壓變動의 誘導機에의 영향

	電 壓 變 動			
	90% 電壓	比例關係	110% 電壓	
始 動 토크	-19%	V ²	+21%	
停 動 토크				
同 期 速 度	變化치않음	一 定	變化치않음	
%스립(Slip)	+23%	1/V ²	-17%	
全 負 荷 速 度	-1.5%	-	+1%	
効 率	全 負 荷	-2%	-	약간增加
	3/4 負 荷	실제상	-	실제상
	1/2 負 荷	變化치않음	-	變化치않음
		+1~2%	-	-1~2%

力 率	全 負 荷	+1%	-	-3%
	3/4 負 荷	+2~3%	-	-4%
	1/2 負 荷	+4~5%	-	-5~6%
全 負 荷 電 流		11%	-	-7%
始 動 電 流		-10~12%	V	+10~12%
全 負 荷 溫 度 上 昇		+6~7℃	-	-1~2℃
磁 氣 소 음		약간 감소	-	약간 증가

(2) 기아 모우터((Geared Motor)

産業機械에서 減速機를 使用하는 경우는 참으로 많다. 기아 모우터는 電動機와 減速機가 一 體構造로 된 것이며 容量으로 160kW, 減速比로 1/3 程度까지의 것이 市販되고 있다. 電動機는 多極數가 될 수록 效率, 力率이 나빠지는 傾向에 있다. 따라서 10極 以上の 電動機를 使用하는 것 보다는 電動機는 4, 6極으로 減速機를 붙인 편이 有利한 경우가 있다. 기아 모우터의 效率은 使用電動機의 效率× 減速機效率이 된다.

減速機의 效率은 97~99.5% 程度이다.

<표 2> 捲線形과 籠形의 比較

出力 [kW]	크레인용捲線形 (40%ED)				標準 籠形 (連續定格)			
	效率 [%]	力率 [%]	停動 토크 [%]	全負荷 電流 [A]	效率 [%]	力率 [%]	停動 토크 [%]	全負荷 電流 [A]
2.2	70	53	300	15.5	84	77	250	10
5.5	77	64	300	29	88	81	230	22
7.5	79	67	300	38	90	81	265	30
11	81.5	69.5	300	53	91	83	270	42
15	83.5	72.5	300	69	90	80	290	60
30	87	75	300	130	92	85	270	111
37	87.5	76	300	158	91	81	260	144
45	88.5	76.5	300	184	93	83	280	168

(注) AC 200 V, 50 Hz, 6 極, 全負荷時

(3) 폴체인지 모우터(Pole Change Motor)

固定子捲線의 接續을 바꾸어 轉으로서 2段, 3段, 4段의 서로 다른 速度를 얻을 수 있는 모우터이다. 速度變換을 必要로 하는 負荷設備는 많이 있으나 變換이 段階의인 경우는 폴체인지 모우터(Pole Change Motor)를 使用하는 것이 가장 效率이 좋다. 效率은 高速低速 다같이 그 때의 極數의 電動機의 效率이 된다. 그러나 負荷特性, 定 토크

特性, 定出力 特性이 있으며 低減토크 特性에서는 負荷토크는 回轉數의 2 乘에, 定토크 特性에서 負荷토크는 一定, 定出力 特性에서 負荷토크는 回轉數에 逆比例한다. 즉 이와 같은 特性에 맞는 電動機를 고를 必要가 있으며 다른 特性의 것을 使用하면 效率改善이 그렇게 期待할 수 없다. 表 4는 펌프, 送風機 負荷에 對하여 定토크 特性, 低減토크 特性의 電動機를 使用한 경우의 比較를 表示한다.

2. 負荷의 特性

最適의 電動機를 選擇하기 爲하여는 우선 負荷의 特性을 알 必要가 있다. 2 項目을 表 5에 表示한다. 아래에 主된 것을 說明한다.

(1) 토크 特性

橫軸에 速度, 縱軸에 토크를 取한 것이 速度토크 特性曲線이라고 하며 負荷에 따라 다르며 表 6과 같이 3 개로 大別되 어진다. 그림 5는 負荷의 토크 特性曲線의 예이다. 全負荷토크 T_0 는 全負荷出力을 P_0 [kW], 全負荷回轉數를 N_0 [rpm]이라고 하

(表 3) 捲線形과 籠形의 比較(모두 連續定格)

電 壓 [V]	容 量 [kW]	卷 線 形		籠 形	
		効 率 [%]	力 率 [%]	効 率 [%]	力 率 [%]
200	15	87	84	90	89
	30	89	86	90	86
	45	90	86	92	87
400	75	91	88	91	87
	110	92	88	91	87

(注) 50 Hz, 4 極, 全負荷時

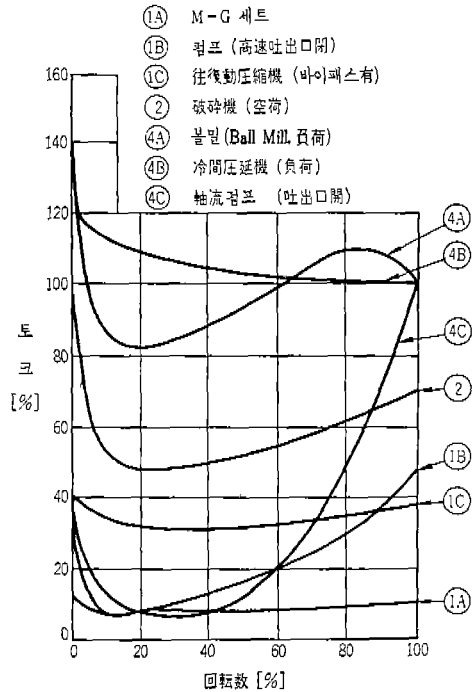
(表 4) 플체인지 모터의 特性比較

	定 토크		低 減 토크		備 考
	5.5 kW 4 極	2.75 kW 8 極	5.5 kW 4 極	1.1 kW 8 極	
無 負 荷 電 流 [A]	6.1	13.1	7.8	5.4	
全 負 荷 電 流 [A]	18.4	16.3	18.7	7.6	
8 極 實 負 荷 電 流 [A]	—	13.8	—	7.6	
8 極 實 負 荷 効 率 [%]	—	64	—	78	
8 極 實 負 荷 力 率 [%]	—	33	—	49	
始 動 電 流	109	75.6	117	26	

면

$$T_0 = 974 \frac{P_0}{N_0} \text{ [kg} \cdot \text{m]} \quad (1)$$

始動토크(速度零일 때의 토크), 最大(停動)토크는 全負荷를 100으로 하여 % 表示로 나타낸다. 電動機의 토크는 이와같은 값보다 크지 않으면 始動되지 않는다. 그러나 負荷에 비하여 큰 토크의 電動機를 使用하는 것은 禁物이며 機械의 許容 토크 > 電動機의 最大토크가 될 必要가 있으며 또 機械에 따라서는 始動時의 충격완화를 爲하여 始動 토크를 낮게 抑制할 必要가 있는 것도 있다.



(그림 5) 負荷의 標準토크速度曲線

(2) GD^2

負荷의 慣性(후라이 쉘 效果)을 말하는 것 이고 이 大小는 始動時間의 大小, 始動時의 發熱의 大小에 關係되며 電動機의 選擇上 重要한 要素이다.

負荷토크를 T_L (kg·m), 電動機토크를 T_M (kg·m) 負荷와 電動機의 후라이 쉘 效果의 合을 GD^2 (注 2) (kg·m²)라고 하면

$$T_M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dN}{dt} + T_L \quad (2)$$

따라서 始動時間은

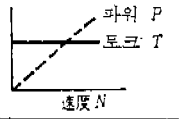
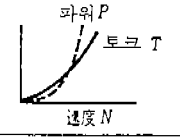
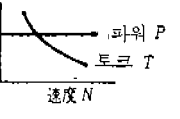
$$t = \int_0^{N_0} \frac{GD^2 \cdot dN}{375 \cdot (T_M - T_L)} \text{ [秒]} \quad (3)$$

가 되며 GD^2 에 比례한다. t 가 길면 電動機가 異常加熱되기 때문에 어떤 電動機에도 負荷의 許容

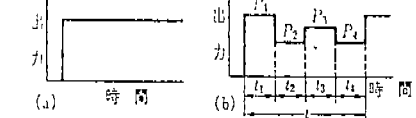
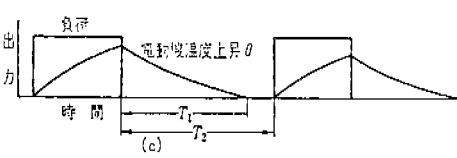
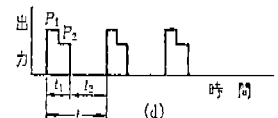
〈丑 5〉 電動機選定上의 檢討項目

負荷의 種類 토크 特性	펌프, 환(Fan), 콘베이어 等 토크特性曲線(低減토크特性, 定토크特性, 定出力特性), 始動토크, 最大(停動) 토크, 許容토크
負荷의 GD^2 運轉 特性	使用種別(連續, 短時間, 斷續, 反復), 始動頻度, 過負荷의 有無, 制動의 有無.
性 能 制 御	加速時間, 減速時間, 停止精度 定速, 位置의 決定, 可變速, 감아 올리는 것 等
使用 場所	

〈그림 6〉 負荷의 速度토크特性

定토크 特性		토크 (T)는 一定 파워 (P)는 速度에 比例 $P \propto NT \propto N$	摩擦負荷 重力負荷 (卷上機, 크레인, 壓延機, 트라콘베이어)
低 減 토크 特性		토크는 대속速度의 2 乘에 比例 파워는 速度의 3 乘에 比例 $P \propto NT \propto N \cdot N^2 \propto N^3$	流体負荷 (送風機, 펌프類)
定出力 特性		토크는 速度에 대중 反比例 파워는 一定 $P \propto NT \propto N \cdot \frac{1}{N} \propto 一定$	定張力負荷 (卷取機)

〈丑 7〉 負荷의 種別

連 續 使用	實質的으로 電動機는 連續運轉이며 始動回數는 1日 1~2회 정도이다.	
短 時 間 使用	실질적으로 一定한 부하로 電動機의 溫度上昇이 最終 一定值에 到達하지 않는 동안 運轉後 停止한다. 再始動은 電動機의 溫度上昇 θ 가 零에 된 後에 行한다.	
斷 續 使用	短時間 使用에서 再始動을 θ 가 零이 되지 않는 동안에 하여 運轉間隔이 불규칙한 것.	
反 復	負荷期間 後에 無부하運轉 기간이 계속되는 同一周波數가 熱的平衡에 도달하는 것보다는 짧은 一定의 周期를 가지고 反復하는 使用을 말한다.	

GD^2 가定하여져 있다. 逆으로 GD^2 가 큰 경우는 그것에 알맞는 電動機를 選定할 必要가 있다.

(3) 運轉特性

運轉方法에는 連續使用, 短時間使用, 反復(斷續)使用이 있다. 이것은 表7에 表示된 것과 같이 電動機의 運轉, 停止를 中心으로 分類한 것으로서 連續使用에서도 負荷가 時間的으로 變하는 것도 있고 대충 一定한 것도 있다.

(1) 變動負荷에 對한 電動機出力

電動機는 連續使用이지만 變動負荷의 경우 그 最大부하로 電動機出力을 決定하는 것은 에너지節減에 利롭지 못하다. 그 理由는 電動機의 定格出力은 發生損失에 依한 溫度上昇이 許容值 以內가 되도록 定하여지고 있어 發生損失의 大部分은 銅損이며 銅損은 負荷電流의 2乘, 즉 力率一定이라고 假定하면 出力의 2乘에 比例하기 때문에 自乘平均負荷를 求하여 電動機 出力으로 하면 된다.

表7 (b)의 경우, 自乘平均負荷 P' 는

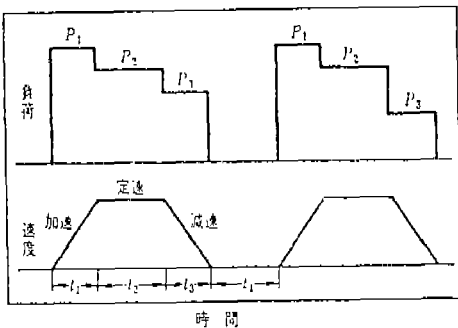
$$P' = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \text{ [kW]} \quad (4)$$

負荷變動의 周期 $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ 는 普通 1時間 以內로 한다. 단, 電動機의 最大出力은 最大負荷보다 크지 않으면 안된다. 토크는 (1)식에서 求하여 진다.

(2) 斷續(反復) 負荷에 對한 電動機出力

이 경우에는 始動이 빈번하기 때문에 始動, 停止時의 發熱도 高로하여 等價負荷를 決定할 必要가 있다.

連續定格의 電動機를 斷續, 反復負荷에 使用하는 경우의 等價出力은 다음과 같이 하여 求한다.



(그림 6) 反復負荷의 例

그림 6의 경우

$$P' = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 \alpha_1 + t_2 \alpha_2 + t_3 \alpha_3 + t_4 \alpha_4}} \quad (5)$$

로 된다. 단, α 는 冷却係數이고 表8의 값이 된다

$$T = t_1 \alpha_1 + t_2 \alpha_2 + t_3 \alpha_3 + t_4 \alpha_4$$

는 冷却係數를 高로한 等價周期이다.

(5) 式은 比較的 運轉時間이 긴 것에 適用되며 始動回數가 많은 負荷에는 不適當하고 이와 같은 負荷는 始動하고 난 뒤에는 大개 가법고, 自乘平均法으로 求한 負荷는 낮게 나타난다. 이 경우에는 負荷損失法에 依하여 等價損失 P_L' 를 求한다.

그림 6의 경우

$$P_L' = \frac{\sum \text{加減速中 損失} + \sum \text{運轉中 損失}}{t_1 \alpha_1 + t_2 \alpha_2 + t_3 \alpha_3 + t_4 \alpha_4} \times 10^{-3} \text{ [kW]} \quad (6)$$

上式에서 損失에는 表9와 같은 것이 있다. P_L' 에서 電動機의 溫度가 이 損失로 許容值를 넘어 서지 않게 電動機出力을 決定한다. 反復定格의 電動機를 使用하는 경우에는

(表 8) 冷却係數의 數值例

電動機의形式	停止中	加速中	運轉中	減速中
開放形交流電動機	0.2	0.5	1	0.5
閉鎖形交流電動機	0.3	0.6	1	0.6
全閉外形交流電動機	0.5	0.75	1	0.75
他力通風形交流電動機	1	1	1	1

(表 9) 籠形誘導電動機運轉時의 損失

加減速中의 損失	GD^2 에 依한 損失	$0 \rightarrow N_0$ 加速 $\frac{GD^2}{730} N_0^2$ [J] $N_0 \rightarrow$ 停止 (逆轉制動) $\frac{3}{730} GD^2 N_0^2$ [J] 正轉·逆轉 $\frac{4}{730} GD^2 N_0^2$ [J]
	負荷 토크에 의 損失 (加速時分)	平均出力 = $\frac{\text{平均 토크} \times N_0}{2 \times 974}$ [kW] 損失 = 平均出力 \times 加速時間 [秒] $\times \left(\frac{1}{7} - 1\right) \times 10^{-3}$ [J]
運轉中의 損失	負荷 토크에 의 損失	損失 = 電動機出力 $\times \left(\frac{1}{7} - 1\right) \times$ 運轉時間 [秒] $\times 10^{-3}$ [J]

%ED(負荷時間率)

$$= \frac{1 \text{ 周期中の 運轉時間}}{1 \text{ 周期}} \quad (7)$$

로 하고 電動機出力=運轉中の 自乘平均負荷로 하고 電動機 仕様이 決定되어 진다. 단 1 周期의 標準은 10分이다. %ED와 出力과의 關係는 크레인用 低壓三相誘導 電動機를 예로 하면 표 10이 된다. 예컨대 最大토크나 始動토크의 절대치[kg·m]는 電動機 固有의 것이며 40% ED의 경우와 다를 바 없다.

(3) 始動頻度

始動頻度가 높으면 始動中の GE^2 의 發熱量이 많아져서 (6) 式에서 同一 電動機를 使用하는 경우, 運轉中の 損失을 軽減할 必要가 있으며 出力이 低減한다. JIS C 4004에서는 反復定格의 1 周期의 標準値를 10分으로 하고 있기 때문에 표10의 出力과 모우터番號와의 關係는 始動頻度 6 回/h로 定하고 있다.

始動頻度 增加에 依한 出力低減을 그림 7에 表

〈표 10〉 모우터番號適用表(JEM 1202에 依함)

負荷時間率 出力 모우터番號	15%ED	25%ED	40%ED	60%ED	100%ED	極數
	kW	kW	kW	kW	kW	
132 M	3	2.5	2.2	1.8	1.5	6
	5	4	3.7	3	2.8	6
160 M	7.5	6.3	5.5	4.5	4	6
	10	8.5	7.5	6.3	5.5	6
160 L	15	13	11	9	7.5	6
180 L	20	17	15	13	11	6
200 L	30	25	22	18.5	15	6
225 M	40	33	30	25	22	6
250 M	50	40	37	30	25	6
	63	50	45	37	33	6
280 M	75	63	55	45	37	8
315 M	100	85	75	63	50	8
	125	100	90	75	63	8
355 L	150	125	110	90	75	10
	185	150	132	110	90	10
400 L	220	185	160	132	110	10
	280	220	220	160	132	10

註) 위 표의 出力은 40% ED에서의 出力을 標準出力으로 取하고 各 % ED에서의 出力을 나타낸 것이다.

示한다. 始動頻度가 6 回/h 以上の 경우는 이 表에서 모우터 番號를 選定할 必要가 있다.

(4) 性能

一般的으로 加減速時間은 (3)식에서, 電動機의 토크, 負荷토크, GD^2 로 定해지며 籠形誘導電動機에서는 調整不可能이다. 어떤 理由로 加減時間의 指定이 있는 경우는 권선형 誘導電動機를 使用하던가 速度制御裝置를 設置할 必要가 생겨서 高價하게 된다. 또 位置 決定制御 等の 경우 停止精度가 要求되는 경우가 많다. 이 경우에도 速度制御裝置를 設置할 必要가 있는 경우가 많다.

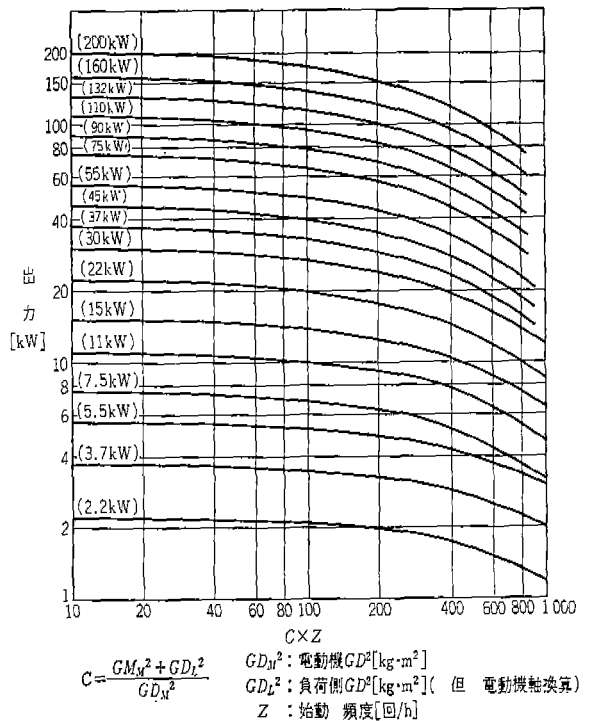
(5) 制御

電動機로서 要求되는 制御에는 速度制御, 토크 制御, 加減速制御, 定位置停止制御 等이 있다. 이와 같은 制御에 對하여 必要한 性能을 分明하게 하여 둘 必要가 있다.

3. 電力節減의 方法

註: (1) JEM 1202에 依한 資料이다.

(2) ()內는 표10의 40% ED에서의 出力



〈그림 7〉 始動頻度와 出力의 關係(40% ED의 경우)

(1) 負荷의 特性의 올바른 把握

電動機의 選定에서는 負荷의 特性을 올바르게 把握하는 것이 必要하다.

(1) 必要容量

電動機의 定格出力을 算定하는 경우에 最大負荷로 定하는 경우가 意外로 많다. 電動機의 出力은 그림 8 과 같은 動作債務(Duty Cycle)로 定하여야 한다. 예컨대 그림 5 (b)에서 $P_1=100\text{kW}$, $P_2=50\text{kW}$, $P_3=80\text{kW}$, $P_4=50\text{kW}$, $t_1=10\text{分}$, $t_2=15\text{分}$, $t_3=10\text{分}$, $t_4=20\text{分}$ 으로 한다. 最大負荷로 定한 경우의 電動機出力은 100kW 이지만 (4)式으로 定한 경우 電動機出力은

$$P' = \sqrt{\frac{100^2 \times 10 + 50^2 \times 15 + 80^2 \times 10 + 50^2 \times 20}{55}} \\ = 67.6 \approx 70\text{kW}$$

이다. 따라서 電動機로서는 75kW 의 것을 選定하면 된다. 最大負荷時는 $100/75=1.33$, 即 133% 의 過負荷(過토크)가 되지만 電動機의 最大토크는 200% 以上이 되어 全然 問題가 없다.

표 7 (d)와 같은 反復使用에서 $P_1=50\text{kW}$, $P_2=30\text{kW}$, $t_1=1.5+1.5=3\text{分}$, $t_2=7\text{分}$ 의 경우, 運轉中의 自乘平均負荷는

$$P' = \sqrt{\frac{50^2 \times 1.5 + 30^2 \times 1.5}{3}} = 39.3\text{ kW}$$

$$\text{負荷時間率}(\%ED) = \frac{3}{3+7} \times 100 = 30\%$$

따라서 電動機로서는 $40\%ED$, 45kW 의 것을 適用하면 좋다. 連續定格의 電動機를 適用하기 위하여는 (6)式에서 求할 必要가 있다. (5)式에서 求하면 표 6의 冷却係數를 使用하여

$$P' = \sqrt{\frac{50^2 \times 1.5 + 30^2 \times 1.5}{3+7 \times 0.5}} = 26.7\text{ kW}$$

가 된다. 電動機容量은 모우터番號에서 30kW 가되거나 最大負荷의 경우 $50\text{kW}/30\text{kW}=1.66$, 즉 166% 의 過토크가 되어 다소 無理이며 電動機는 37kW 로 하는 것이 바람직하다.

기타 必要容量算定上 注意하여야 할 것을 다음에 표시한다.

(a) 容量算定에 必要한 機械側의 定數 (예컨대, 마찰계수, 荷重, 速度, 風量, 風壓 등)에 너무 餘裕를 보지 말것.

(b) 선정한 電動機로서 負荷側이 要求하는 始動토크, 最大토크, 最大負荷를 滿足시킬 수 있어야 할 것.

(2) 始動頻度

始動頻度가 높으면 始動時의 發熱이나 機械의 충격이 많아져서 同一 모우터 번호의 경우 定格出力이 低減되어 大容量機의 경우는 始動빈도를 指定하여 特殊機를 製作할 必要가 있다. 지금 運轉中 負荷 37kW , 始動頻度 120回/h , 1時間當의 運轉時間 20分 , 負荷 후라이휠 効果(Fly Wheel Effect) $7.8[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$ (電動機軸換算)의 크레인 電動機를 選定하였다고 하면,

$$\%ED = \frac{20}{60} \times 100 = 33.3$$

이기 때문에 $40\%ED$ 로 한다.

37kW 의 電動機의 경우 $GD_m^2=3.9[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$, 그림 7의 $C=(3.9+7.8)/3.9=3$, $CZ=3 \times 120=360$ 이 되어 37kW 의 電動機에서는 出力 24kW 의로 되어 適用不可하다.

45kW 의 電動機의 경우 $GD_m^2=4.7[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$, $C=(4.7+7.8)/4.7=2.66$, $CZ=2.66 \times 120=320$ 로 그림 7에서 45kW 의 電動機로서는 $CZ=320$ 으로 38kW 가 되어 適用이 可能하다.

(3) 加減速 特性

電動機가 無制御의 狀態에서는 加減速時間은 (3)式으로 定해진다. 緩衝始動(완충시동, Cushion Start)을 하지 않으면 機械側이 파괴되던가 減速停止를 하지 않으면 停止精度를 얻을 수 없는 등 명확한 이유가 없는 限, 加減速 特性은 電動機의 特性에 맡겨 놓아야 한다. 그렇지 않으면 速度制御裝置나 권선形 등 特殊電動機를 使用할 必要가 있어 高價가 될 뿐 아니라 全體의 효율을 저하시킨다.

(4) 制 動

制動의 目的은 減速, 停止와 停止位置의 維持이다. 電動機의 電源을 끊어서 減速하는 경우, 無制御의 停止時間은 (3)式에서 $T_M=0$ 로 하여 求하여진다. 지금,

$$T_L = \dots \text{定이라고 하면}$$

$$t = \frac{GD^2 \cdot N_0}{375 \cdot T_L} \quad (9)$$

가 된다. 電磁 브레이크를 채용하는 경우, 電動機

運轉中은 勵磁되어지고 있어 電力을 消費한다. 따라서 브레이크와 必要性的 有無를 檢討하여야 한다. 마찰부하에서는 마찰력으로 위치가 유지되어지는 경우의 定格(制動力)은 相當히 低減되어질 것이다.

(2) 電動機의 선정

(1) 容 量

前述한 바와 같이 電動機의 效率은 70~100% 負荷時가 가장 좋다. 또 力率은 負荷率이 低下하면 惡化한다. 運轉中의 損失경감 때문에 경부하로 運轉하는 것은 피하여야 하므로 그를 위하여는「3. 電氣節約의 方法(1) 負荷의 特性의 올바른 把握」에서 記述한 것과 같이 容量을 올바르게 選定하는 것이 重要하다.

(2) 定格電壓

大工場에서는 低壓에서도 400V 配電이 主流가 되고 있다. 定格電壓의 高電壓化는 負荷電流의 減少에 의하여 線路損失이 減少하고 또 電壓降下가 減少함으로 電動機의 運轉效率이 좋아진다. 川崎製鐵·千葉製鐵所(KAWHASAKI 제철, CHIBA 제철소)의 예를 표시하면 0.75kW 미만 200V, 0.75kW 以上 150kW 미만 400V, 150kW 以上 3,000V 로 하고 있다.

(3) 極 數

極數는 4.6極數가 바람직하다. 2極機에서는 高速機이기 때문에 補修가 어려워 8極 以上の 것은 효율, 역을 다같이 低下하여 運轉特性이 나쁘다.

(4) 機 種

使用상태에 따라 籠形, 권선形, 直流機로 되지만 極力 籠形으로 하여야 할 것이다. 유의점을 아래에 記述한다.

(a) 大始動 토크를 要할 때 捲線形이나 直流機를 使用하는 傾向에 있으나 표준籠形에서도 始動 토크 200%, 最大토크 250%는 可能하다.

(b) 始動時의 電壓降下防止를 위하여 捲線形을 使用하는 경우가 있지만 籠形의 各種始動方式과 비교 검토하여야 한다.

(c) 斷續負荷, 反復負荷의 경우 권선形이나 直流機를 使用하는 傾向에 있지만 籠形에서도 反復 定格의 것을 사용하면 充分히 대처할 수 있는 것이 많다.

어떤 것이든지 捲線形이나 直流機에 부속기기가 많아 高價일 뿐 아니라, 브러쉬(Brush), 슬립링(Slip Ring)이 있기 때문에 보수가 많이 들어 效率, 力率도 籠形보다 나쁘다.

(3) 運轉管理

(1) 電壓管理

電動機는 定格電壓으로 운전하는 경우가 가장 效率이 좋다. 最近에는 케이블配線에 의하여 充電電流가 增加하고 또 最大操業을 想定하여 電壓タップ(Tap)를 5% 정도 높이고 있는 경우가 있어 配電電壓이 올라가 있는 경우가 많다. 이와 같은 경우는 電壓탭을 5% 정도 내리는 것이 좋다.

〈표 11〉 전달 효율

傳 達 方 式	効 率 (%)
벨 트 驅 動	95
체 인 驅 動	95 ~ 98
기 아 驅 動	97 ~ 99.5
直 結	100

(2) 力率改善

力率改善은 個個의 電動機로 하는 것이 아니고 電源母線에서 一括的으로 하는 것이 普通이다. 電源母線에서의 力率은 적어도 90% 이상으로 하여야 한다.

(3) 空運轉의 防止

電動機는 반드시 相對機械와 連結되어지고 있어서 空運轉으로 消費되는 電力은 電動機單體의 경우의 약 2~3배가 된다. 따라서 不要時, 無作業時는 세워서 空轉損失을 없애는 것이 必要하다. 또 이와 같은 경우 電動機 冷却팬이나 直流機의 界磁 등도 쉬게 하는 것이 바람직하다. 이때 注意하여야 할 것은 다음과 같다.

(a) 始動時의 電力량이 空轉時의 電力량을 웃돌지 않을 것.

(b) 多頻度始動에 의하여 電動機의 劣化, 出力 低下가 너무 問題가 되지 않을 것. 100kW 以上의 大容量機나 大GD²負荷(送風機) 등의 경우는 製作 會社와 相議하는 것이 바람직하다. 이와같은 電動機의 運轉, 停止는 시퀀스(Sequence)의 自動化하여야 하는 것은 말할 나위도 없다.

(89p로 계속)

(b) 1959年 2月 8日 午後 0時 8分頃 金澤市の K氏宅 附近에 航空自衛隊 小松基地의 F-104Z 戰闘機가 墜落爆發하였다. 이로 인한 불은 K氏宅 附近에서 近處의 民家 15戶에 延燒되어 집안에 있던 사람이나 通行人이 많이 死傷되었다. 同機는 다른 基地에서 小松基地로 돌아오기 위해 마하 1前後로 飛行中 高度 1000m附近에서 落雷를 맞아 操縱不能狀態가 되어 墜落한 것 같다.

(c) 1976年 7月 17日 午後 9時頃 羽田 空항에서 離陸한 直後 日本航空 앵커레이지 徑由 런던行의 보잉 747Z 檢査機가 千葉縣 佐倉上空에서 落雷를 받아 操縱室의 유리가 가루가 되고 엔진等에도 故障이 생겨 緊急着陸을 要請, 滿탱크의 燃料 約 10 ton 가량을 近處 바다에 버리고 同 10時 7分 羽田空항으로 돌아왔다. 乘客과 乘務員은 無事하였으나 機體는 많은 修理를 하여야 할 狀態였으며 大慘事는 없었던 落雷事故였다.

이날 저녁 때부터 栃木 茨城 千葉의 各縣에 雷雨注意報가 發表되었으나 때마침 雷雲 속에 들어가 있었기 때문에 落雷를 받았다.

操縱室 機表側 前面 유리에는 幅 2cm의 垂直의 흠이 생겼고 옆의 副操縱士席 前面 유리에 금이 거미줄같이 가서 거의 앞이 보이지 않은 狀態가 되었다. 다시 날개의 中央部分에 있는 着陸燈과 4發의 엔진에도 우박같은 것이 맞아 損傷을 받는 등 檢査機는 萬全狀態가 되었다.

落雷를 받은지 約 40分 機體의 損傷이 甚하였으므로 管制塔과 日航 運航管理部는 檢査機가 無事

히 돌아올까 하여 꽤나 緊迫한 狀況이 繼續되었다 돌아온 乘客들은 모두가 九死一生이라는 表情이었다.

第2章 避雷와 防雷

옛부터 人災에 대하여는 嚴格한 規制와 社會的 責任이 뒤따랐다. 예를 들면 火災等에 對하여는 2重3重의 方策이 취하여지고 極히 重要한 問題로 取扱되고 있다. 그러나 天災에는 萬不得已하다고 運이 나쁜 것으로 끝냈을 때가 많다. 이는 自然의 힘이 너무 커서 現代科學으로는 어떻게 할 도리가 없다는 것과 方策은 어느程度 알아도 다른사람은 被害를 입어도 自己만은 安全할 것이라는 見解가 있다. 前者의 例가 地震이고 後者의 例가 雷라고 할 수 있다.

實際로 被害者 立場에서 보면 同等하고 때에 따라서는 後者의 陣이 深刻할 때도 있다. 最近의 思考方式으로 被害를 가볍게 하거나 방지하는 데 그러한 施策을 취하지 않을 경우 天災가 變하여 人災로서 또 責任을 問責당하여도 當然할 때가 있다. 雷는 아무리 하여도 우리들의 몸 近處에 떨어지게 마련이다. 그리고 相當한 被害를 입고 때에 따라서는 死亡할 경우도 있다. 어떻게 하든지 雷에서 멀어질까. 或時 떨어져도 最小의 被害로 그치고 싶다면 施設을 雷에서 安全하게 지키고자 하는 所望은 共通의 問題이다.

(67p에서 계속)

(4) 定期的 補修

回轉機械에서는 點檢, 손질을 잘하지 않으면 損失이 늘어나서 故障의 原因도 된다. 日常點檢(특히, 重要機의 溫度監視, 부러쉬 狀態), 定期的 오버홀 등이(Overhaul Maintenance) 必要하다.

(4) 負荷設備의 効率化

일에 有效하게 消費되는 電力/電動機入力を 最高로 하기 위하여 機械와의 連結方法이나 相對機械의 高効率化도 必要하다. 예컨대, 連結方法和 効

率의 關係는 表 11에 表示된 바와 같다. 電氣技術者로서는 電氣設備뿐만이 아니고 相對機械에 對하여도 高効率이라는 觀點에서 注意하여야 한다.

(注 1) % ED : 反復使用에 있어서 1周期 T에 對한 負荷時間 t_1 의 比率 t_1/T 를 負荷時間率이라고 한다. 이것을 百分率로 表示한 것이 % ED이다.

(注 2) 負荷側의 GD^2 는 모두 電動機軸換算值이며, 減速化를 α 라 하면 電動機軸 軸算值=負荷의 GD^2/α^2 이다.