

# 電動力設備의 에너지 節減技術



에너지 節減에 사용되는  
各種 電動機

## 斷續運轉에서의 電動機容量

金 善 慶 譯

誘導電動機는 현재 사용되는 回轉機중에서 가장 많이 보급된 電動機로서 그 용도도 상당히 많고, 一般工場, 플랜트 電氣設備로부터 가정용의 小動力에 이르기까지 보급되어 있다. 일반적으로 工場이나 플랜트 電氣設備에서 消費되는 電力의 태반은 電動機에서 消費되는 電力이다.

에너지 節減과 設備의 효율적인 이용면으로도 負荷와 電動機의 사용목적에 합치되는 電動機의 선택이 필요하다.

여기서는 에너지 節減의 입장에서 여러가지 사용방법에 따른 電動機容量 특히 起動·停止가 빈번한 負荷  $GD^2$ 으로 결정되는 電動機容量의 선택 방법에 대하여 기술키로 한다.

### 1. 使用과 定格

電動機의 부하는 상대기계의 종류나 그 사용목적에 따라 負荷의 크기나 負荷時間率이 다르다. 예를 들면 送風機, 펌프 등은 연속운전되는 것이 많고 셔터용, 게이트 開閉 등은 短時間運轉 또는 크레인, 엘리베이터, 工作機械 등은 起動·運轉·

制動·停止의 여러가지를 조합시켜 반복하여 사용되는 것이 있다. 전술한 바와 같이 電動機의 사용은 負荷에 따라 다르나 公업규격에 다음과 같이 정의되어 있다.

가. 사용의 종류·기호 및 정의

#### (1) 連續使用(S 1)

실질적으로 일정한 負荷로 회전수가 熱的平衡에 도달하는 時間 이상으로 계속 운전되는 사용을 말한다(그림 1 참조).

#### (2) 短時間 使用(S 2)

실질적으로 일정한 負荷로 回轉機가 熱的平衡에 도달하지 않는 범위의 지정시간 계속운전한 후에 回轉機를 정지하여 다음회의 起動時까지 回轉機의 온도와 冷媒溫도의 차가  $2^{\circ}\text{C}$  이내까지 강하하여 사용하는 것을 말한다(그림 2 참조).

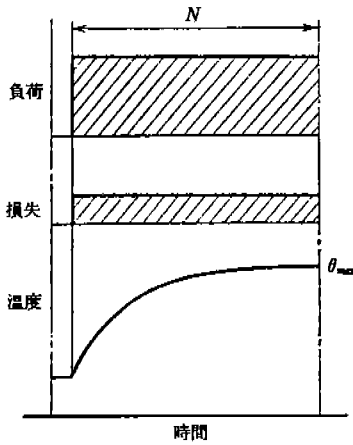
#### (3) 反復使用(S 3)

실질적으로 일정한 負荷의 운전기간 및 電壓이 印加되지 않는 정지기간을 1周期로 하여 이것이

反復되어 사용되는 것을 말한다(그림 3 참조).

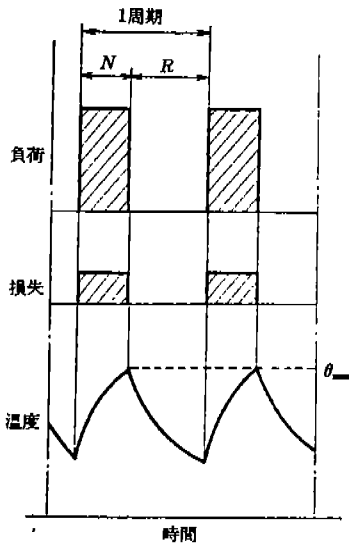
(4) 起動영향이 있는 反復使用(S 4)

溫度上昇에 끼치는 영향이 무시될 수 없는 起



$N$ : 一定負荷에서의 運轉時間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度

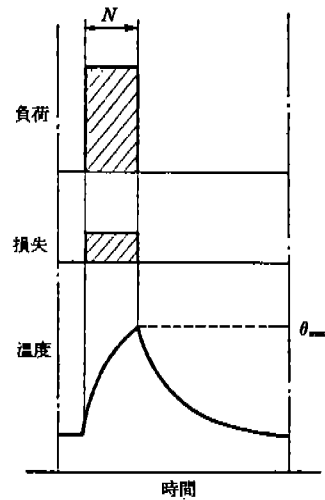
(그림 1) 連續使用 S 1



$N$ : 一定負荷에서의 運轉時間  
 $R$ : 停止하여 電壓이 印加안되는 期間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度

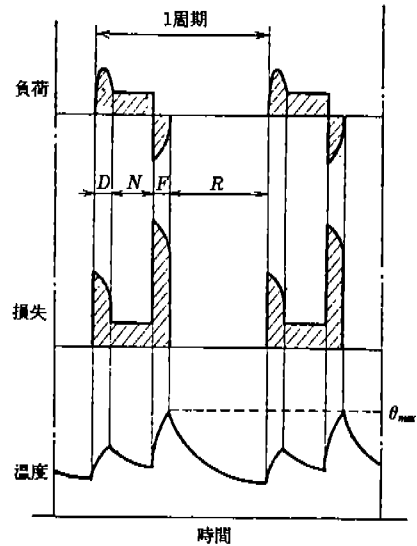
$$\text{負荷時間率} = \frac{N}{N+R} \times 100[\%]$$

(그림 3) 反復使用 S 3



$N$ : 一定負荷에서의 運轉時間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度

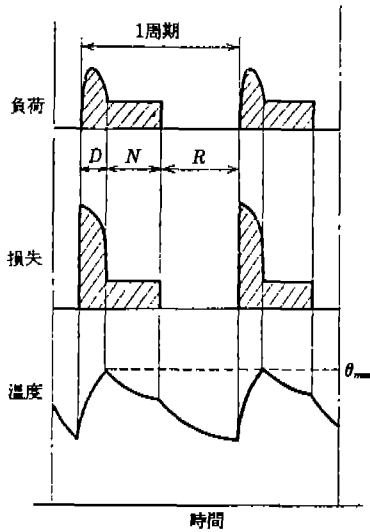
(그림 2) 短時間使用 S 2



$D$ : 起動期間  
 $N$ : 一定負荷에서의 運轉時間  
 $F$ : 電氣制動期間  
 $R$ : 停止하여 電壓이 印加안되는 期間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度

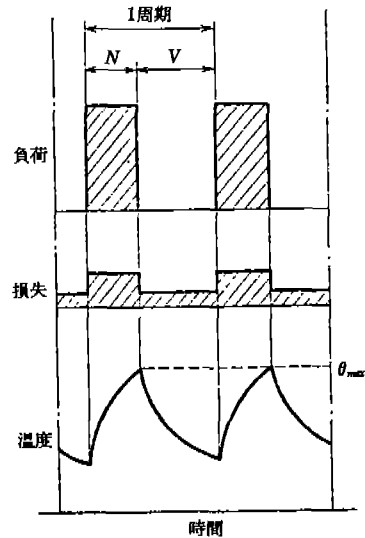
$$\text{負荷時間率} = \frac{D+C+F}{D+N+F+R} \times 100[\%]$$

(그림 4) 起動의 影響이 있는 反復 使用 S 4



D: 起動期間  
 N: 一定負荷에서의 運轉時間  
 R: 停止하여 電壓이 印加안되는 期間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度  
 負荷時間率 =  $\frac{C+N}{D+N+R} \times 100[\%]$

〈그림 5〉 電氣制動을 포함하는 反復 使用 S 5



N: 一定負荷에서의 運轉時間  
 V: 無負荷運轉期間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度  
 負荷時間率 =  $\frac{N}{N+V} \times 100[\%]$

〈그림 6〉 反復負荷連續使用 S 6

動期間, 실질적으로 일정한 負荷의 운전기간 및 電壓이 印加 안되는 停止期間을 一周期로 하여 이것이 반복 사용되는 것을 말한다(그림 4 참조).

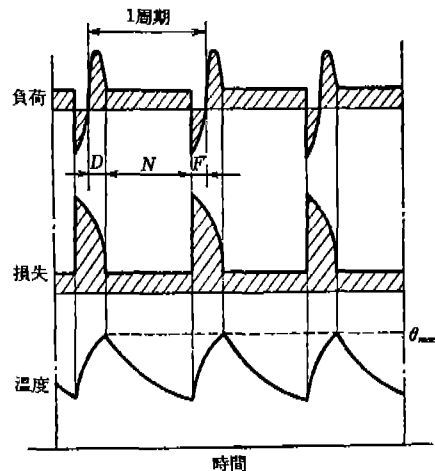
(5) 電氣制動을 포함한 反復使用(S 5)

溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 없는 起動期間, 실질적으로 일정한 負荷의 運轉期間, 溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 없는 電氣制動期間 및 電壓이 印加되지 않는 停止期間과를 1周期로 하여 이것이 反復되는 使用를 말한다(그림 5 참조).

(6) 反復負荷 連結使用(S 6)

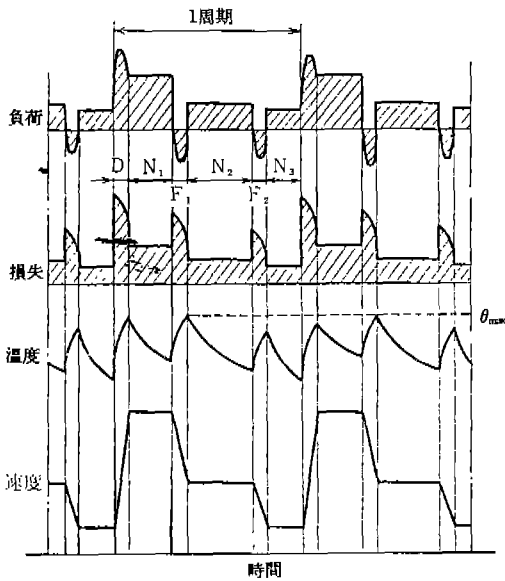
실질적으로 일정한 負荷의 送傳期間 및 無負荷 送傳期間을 1周期로 하여 이것이 反復되는 使用를 말한다(그림 6 참조).

(7) 電氣制動을 포함한 反復負荷 連續 使用 (S 7)



D: 起動期間  
 N: 一定負荷에서의 運轉時間  
 F: 電氣制動期間  
 $\theta_{max}$ : 運轉中の 最高溫度  
 負荷時間率 = 100%

〈그림 7〉 電氣制動을 포함한 反復負荷連續使用 S 7



D: 加速期間  
 N<sub>1</sub> N<sub>2</sub> N<sub>3</sub>: 各速度에 對應하는 一定負荷에 있어서의 運轉期間  
 F<sub>1</sub> F<sub>2</sub>: 各速度에 對한 電氣制動期間  
 θ<sub>max</sub>: 運轉中の 最高溫度  
 最高速度에 對한 負荷時間率

$$= \frac{D+N_1}{D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3} \times 100[\%]$$

中速度에 對한 負荷時間率

$$= \frac{F_1+N_2}{D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3} \times 100[\%]$$

最低速度에 對한 負荷時間率

$$= \frac{F_2+N_3}{D+N_1+F_1+N_2+F_2+N_3} \times 100[\%]$$

〈그림 8〉 變速度反復負荷連續使用 S 8

溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 없는 電氣制動期間과를 1周期로 하여 이것이 反復되는 使用를 말한다(그림 7 참조).

### (8) 變速度 反復負荷 連續使用(S 8)

들 이상의 다른 回轉速度에 각각 대응하는 일정한 負荷(예를들면 誘導電動機의 경우는 極數變換으로 생기는)의 運轉期間을 1周期로 하여 이것이 反復 使用되는 것을 말한다(그림 8 참조).

#### 나. 定 格

電動機에 보증된 使用限度를 定格이라 한다.

出力에 對한 使用限度를 정함과 동시에 電壓, 回電連渡, 周波數 등을 지정한다. 이것들을 각각 定格出力, 定格電壓, 定格回電數, 定格周波數 등으로 호칭하며 그 값이 명판에 표시된다. 定格도 使用도 함께 公認규격에 다음과 같이 정의되어 있다.

#### (1) 連續定格

指定條件下에서 連續使用할 때 그 회전에 관한 標準規格에 정해져 있는 溫度上昇限度를 초과하지 않고 기타 제한에서 벗어나지 않는 定格을 말한다.

#### (2) 短時間定格

冷却된 상태에서부터 시작하여 지정된 일정시간 지정조건하에서 回轉機를 短時間 使用할 때 그 回轉機에 관한 표준규격에 정해져있는 溫度上昇限度를 초과하지 않고 기타 제한에서 벗어나지 않는 定格을 말한다. 시간의 표준치는 10, 30, 60 또는 90분으로 한다.

#### (3) 反復定格

指定條件下에서 回轉機가 S3, S4, S5, S6, S7 또는 S8에 使用되었을 때 그 回轉機에 관한 標準規格에 정하여져 있는 溫度上昇限度를 초과하지 않고 기타의 제한에 벗어나지 않는 定格을 말한다. 특별하게 지정되지 않을 때는 1周期의 標準値는 10분으로 하고 負荷時間率의 標準値는 15, 25, 40 또는 60%로 한다.

#### (4) 等價定格

지정조건하에서 回轉機가 S3, S4, S5, S6, S7 또는 S8에 使用될 때 주문자와 제조자의 협의에 의하여 이러한 使用과 다른 熱的으로 等價인 連續使用 또는 短時間使用으로 바꿀 수가 있다. 이 바꾸어서 사용한 것에 대한 試驗을 하였을 때 그 回轉機에 對한 標準規格에 정하여져 있는 溫度上昇限度를 초과하지 않고 기타의 제한에 벗어나지 않는 定格을 말하며, 等價連續定格 또는 等價短時間定格이라고 한다.

## 2. 最適出力選定을 위한 基礎

가. 效 率

에너지 使用合理化對策이 사회적인 과제로 되어 있는 지금, 에너지의 效果的 利用은 현재 이상으로 더욱 더 필요하게 되고 있다. 일반 工場이나 플랜트의 電氣設備에는 많은 電動機가 사용되고 여기서는 電力量의 태반이 電動機의 電力에 의하여 점유되고 있으므로 電動機를 效率的으로 이용하는 것이 節電對策上 중요하다.

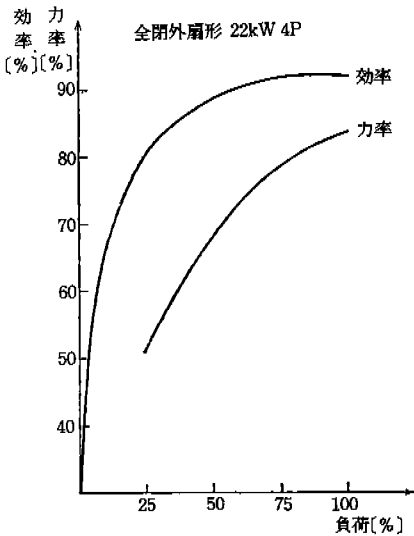
電動機의 效率는 다음 식으로 표시된다.

$$\text{效率} = \quad \times 100[\%] \quad (1)$$

電動機의 損失은 1次銅損, 2次銅損, 鐵損, 機械損으로 크게 나눌 수 있다. 그림9에 三相誘導電動機의 效率, 力率과 負荷의 關係를 표시한다. 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로는 100% 負荷 근처에서 效率, 力率이 最大가 되도록 設計되어 있다. 따라서 電動機의 구입가격, 電力費 등의 運轉總費用을 생각하면 電動機의 經負荷 運轉, 過負荷 運轉 등은 별로 경제적인 使用方法이 아닌 것을 알 수 있다.

나. 起動時間과  $GD^2$

電動機와 負荷의 起動方程式은 다음과 같이 표시된다.



〈그림 9〉 各負荷에 대한 效率, 力率의 關係

〈표 1〉 起動時間과 連續許容 起動回數

	電動機出力			電動機 溫度狀態	連續許容起動回數			
	~45kW	~150kW	~600kW		2極	4極	6極	8極
起 動 時 間 [s]	6s以下	4s以下	3s以下	C	3	4	4	4
				H	2	3	4	4
	6~10	4~8	3~6	C	3	3	4	4
				H	2	2	3	3
	10~18	8~13	6~10	C	2	2	3	3
				H	2	1	2	2
18~30	13~20	10~15	C	1	1	2	2	
			H	1	1	1	1	

備考: 「C」는 起動時 電動機各部分의 溫度가 周圍溫度 以下の 狀態 「H」는 待動時 電動機各部分의 溫度가 定格運轉中의 狀態

$$T_a = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dN}{dt} \text{ [kg} \cdot \text{m}] \quad (2)$$

따라서 速度가 0에서  $N$ 까지 加速하는 時間은 다음과 같이 표시된다.

$$T_a = \frac{GD^2}{375} \int_0^N \frac{GD^2 \cdot N}{375 \cdot T_a} \text{ [s]} \quad (3)$$

여기서  $t$ : 起動時間[S]

$GD^2$ : (電動機單體의  $GD^2$ + 電動軸換算의 負荷  $GD^2$ ) [kg · m<sup>2</sup>]

$N$ : 回轉數[rpm]

$T_a$ : 電動機의 平均 加速 토크[kg · m]

電動機 平均 加速 토크  $T_a$ 는 다음과 같이 간략식으로 구할 때가 많다.

$$T_a = \frac{T_s + T_m}{2} - T_L \quad (4)$$

여기서  $T_s$ : 電動機의 起動 토크[kg · m]

$T_m$ : 電動機의 停轉 토크[kg · m]

$T_L$ : 負荷 토크[kg · m]

(3)식에서 起動時間은  $GD^2$ 이나 回轉數가 클수록, 또 電動機의 平均加速 토크가 작을수록 길어지는 것을 알 수 있다. 重慣性負荷 등의 경우 起動時間이 너무 길면 電動機 捲線의 燒損事數가 나기도 하므로 電動機 選定에 주의하여야 한다.

直入起動의 경우 표1의 起動時間이 대체적인 기준이 된다.

또 負荷  $GD^2$ 은 圓筒型의 回轉體나 단순한 모양의 平行運動인 경우에는 비교적 간단하게 計算

으로 구할 수가 있다.

그러나 負荷의 形狀이 복잡할 때는 計算으로 구하기가 어려울 때가 있다. 이 경우에는 負荷와 直結한 電動機의 起動時間(또는 制動時間)을 實測으로 구하고 개략의  $GD^2$ 은 다음 식으로 計算할 수 있다.

$$GD^2 = \frac{375 \cdot t \cdot (T_M \pm T_L)}{N} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (5)$$

여기서  $T_M$ : 電動機 平均 加速 토크 또는 制動 토크[ $\text{kg} \cdot \text{m}$ ]

$T_L$ : 負荷 토크[ $\text{kg} \cdot \text{m}$ ]

#### 다. 起動時 및 制動時의 電動機 發生損失

起動, 制動을 빈번하게 할 때는 電動機의 出力은 運轉時보다 오히려 起動時, 制動時의 發熱로 결정되는 경우가 많다.

起動時(-) 및 制動時(+에서의 2次導體에 發生하는 損失은 다음 식으로 표시된다.

$$Q_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 \cdot GD^2 \cdot N^2 \cdot (s_1^2 - s_2^2) \times \frac{T_M}{T_M \pm T_L} \quad [\text{W} \cdot \text{s}] \quad (6)$$

또는 (5)에서 다음과 같이 표시할 수도 있다.

$$Q_2 = \frac{1}{76650} \cdot N \cdot t \cdot (s_1^2 - s_2^2) \cdot T_M \quad (7)$$

여기서  $Q_2$ : 2次導體內에 發生하는 損失  
[ $\text{W} \cdot \text{s}$ ]

$N$ : 回轉數[rpm]

$s_1$ : 表 2 참조

$s_2$ : 表 2 참조

다음에 一次導體에 發生하는 損失을 구한다. 勵磁電流를 무시하면 一次, 二次의 銅損比는 一次, 二次의 等價抵抗의 比가 되고 一次, 二次의 發生熱量  $Q_1, Q_2$ 는

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (8)$$

(표 2) 起動 및 制動時의 發生損失

	$s_1$	$s_2$	$W_1'$
起 動	1	0	$E_s \cdot GD^2$
回生制動	-1	0	$E_s \cdot GD^2$
逆相制動	2	1	$3E_s \cdot GD^2$
逆 轉	2	0	$4E_s \cdot GD^2$

여기서  $r_1$ : 一次導體抵抗[ $\Omega$ ]

$r_2$ : 二次導體抵抗[ $\Omega$ ]

따라서 起動時 및 制動時의 發生熱量  $Q$ 는

$$W_1' = Q_1 + Q_2 = \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) Q_2 = E_s \cdot GD^2 (s_1^2 - s_2^2) [\text{W} \cdot \text{s}] \quad (9)$$

가 된다.

여기서

$$E_s = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 \cdot N^2 \cdot \frac{T_M}{T_M \pm T_L} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)$$

이것으로 起動時 및 制動時의 發生熱量은 표 2와 같이 표시할 수가 있다.

Duty cycle 운전사용시의 起動時, 制動時의 發生熱量을 줄이기 위하여는 二次抵抗의 값을 크게 하면 되고, 이 때문에 起動이 빈번할 때는 二次導體에 固有抵抗이 높은 材料를 쓴 高抵抗 籠形 電動機를 사용한다.

이 때에 주의하여야 할 것은 二次抵抗을 증가 시킴으로써 起動時의 發熱은 작아지지만 運轉時의 效率은 일반적인 것보다는 떨어지므로 Duty cycle에서의 에너지 節減運轉을 위하여는 起動時의 發生損失, 運轉時의 損失 配分으로 반드시 高抵抗 籠形이 득이 되지 않을 때도 있다.

또 負荷의  $GD^2$ 가 크고 籠形으로는 熱容量面에서 電動機 치수가 커질 경우에는 捲線形으로 하는 것이 유리하다.

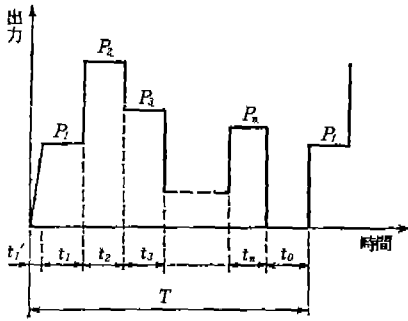
### 3. 斷續運轉의 電動機 容量

#### 가. 變動負荷

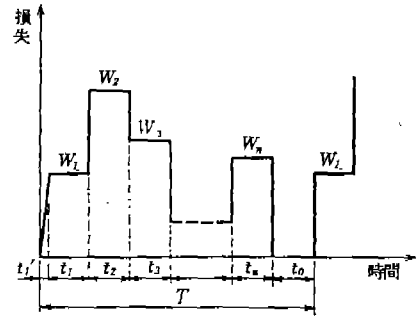
電動機의 負荷에는 항상 一定하게 걸리는 負荷가 있을 때와 時間에 따라 變動하는 變動負荷가 있다. 電動機의 수명은 거의가 絶緣物의 熱劣化로 결정되므로 電動機의 定格을 결정할 때 變動負荷의 경우에는 等價的인 連續出力을 산출하는 것이 편리하다. 그것을 구하는 방법으로 二重平均法과 損失平均法이 있다.

#### (1) 二重平均法

電動機의 溫度上昇에 직접적 起因하는 損失은 鐵損과 銅損이 있지만 보통의 負荷狀態에서는 溫度上昇은 銅損에 크게 起因한다. 여기서 電動機의 溫度上昇이 銅損만에 지배한다고 가정하면 溫



〈그림 10〉變動負荷



〈그림 11〉時間에 대한 損失의 變化

度上昇은 出力의 2乘에 비례한다고 할 수 있다.

따라서 2乘平均法에서 出力을 算出한다. 그림 10과 같은 경우에는 出力 P는 다음식과 같이 된다.

$$P = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + t_0}}$$

$$\sqrt{\frac{\sum P_n^2 t_n}{\sum t_n + t_0}} = \sqrt{\frac{\sum P_n^2 t_n}{T}} \quad (10)$$

그러나 加速, 減速, 停止中에는 냉각효과가 定格回轉數時에 비하여 낮으므로 周期 T를 補正할 필요가 있다.

補正周期  $T_c$ 는

$$T_c = \alpha t'_1 + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + \beta t_0 \quad (11)$$

여기서  $\alpha, \beta$ : 冷却補正係數

$t'_1$ : 加速時間(s)

$t_0$ : 減速·停止時間(s)

$\alpha$  및  $\beta$ 의 값은 電動機의 型式, 실제내용에 따라 다르나 일반적으로는 표 3과 같다.

## (2) 平均損失法

上述한 2乘平均法은 電動機 溫度上昇의 代價 이 銅損에 의하여 지배되는 것이었는데, 全損失에 대한 鐵損의 비율이 큰 것에 대하여는 各運轉時의 損失에서 發生損失의 평균을 구하여 연속사용의 몇 kW出力에 相当하느냐 라는 것으로 定格을 定하는 方法이다.

그림 11과 같은 경우에는 平均損失  $W_e$ 는 다음과 같이 표시된다.

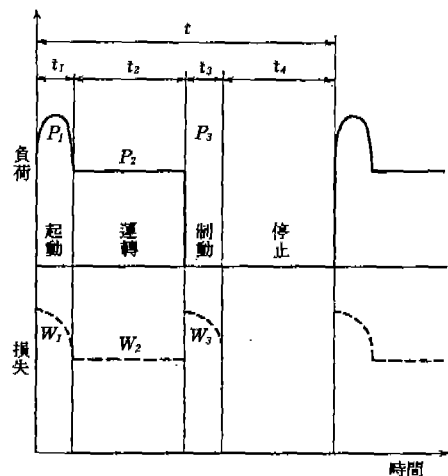
$$W_e = \frac{W_1 t_1 + W_2 t_2 + W_3 t_3 + \dots + W_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

$$\frac{\sum W_n t_n}{\sum t_n} = \frac{\sum W_n t_n}{T} \quad (12)$$

이 方法도 2乘平均法과 같이 加速, 減速, 停止中에 冷却효과가 定格回轉數에 비하여 낮으므로 周期 T를 補正할 필요가 있다. 이 平均損失  $W_e$ 는 變動負荷의 損失을 熱的으로 等價인 連續一定負荷의 損失로 換算한 것으로, 이로부터 通常의 連續一定負荷에서  $W_e$ 의 損失을 허용하는 出力을 구한다.

## 나. 電動機容量을 구하는 方法

그림 12와 같은 使用을 할 때를 생각해 본다.



〈그림 12〉負荷와 損失의 關係

〈표 3〉 冷却補正係數

冷却方式	$\alpha$	$\beta$
開放形	0.6	0.3
全開形	0.7	0.4
他力通風形	1.0	1.0

이 경우 起動 및 制動時間의 發生損失이 溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 없는 것으로 한다. 起動時 및 制動時의 發生損失은 (9)식 및 표 2에 의해

$$W_1' = E_s \cdot GD^2 = C \cdot E_s \cdot GD^2_M \quad (13)$$

制動時發生損失:

$$W_3 = (s_1^2 - s_2^2) \cdot E_s \cdot GD^2 + C \cdot K \cdot E_s \cdot GD^2 \quad (14)$$

여기서  $K = s_1^2 - s_2^2$ 은 制動方式에 따라 다른 값 (표2 참조).

또  $C$ 는 慣性係數라고 하며, 다음과 같이 표시된다.

$$C = \frac{GD^2_M + GD^2_L}{GD^2_M} = \frac{GD^2}{GD^2_M} \quad (15)$$

여기서  $GD^2_M$ : 電動機의 프라이휠 效果  
[kg · m]

$GD^2_L$ : 電動機軸 換算의 프라이휠 效果  
[kg · m]

$GD^2$ :  $GD^2_M + GD^2_L$  [kg · m<sup>2</sup>]

一周期中의 發生손실은 平均損失法에 의하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$W = \frac{C \cdot E_1 \cdot (1+K) + W_2 t_2}{\alpha(t_1 + t_2) + t_2 + \beta t_4} \quad (16)$$

一般的으로  $\alpha(t_1 + t_2) \leq \beta t_4$ 이므로

$$t_1 = 0, t_2 = 0$$

이라하면  $t \approx t_2 + t_4$

$$t_2 = t \cdot \frac{\%ED}{100} \quad (17)$$

가 된다. 여기서  $ED$ 는 負荷時間率이라 하며 1周期間의 負荷時間 비율을 말하고 百分率로 표시된다.

$$t_4 = t \left(1 - \frac{\%ED}{100}\right)$$

가 되며

$$W = \frac{C \cdot E_1 \cdot (1+K) + W_2 \cdot ED \cdot t}{t \cdot ED + \beta t (1-ED)} \quad (18)$$

여기서  $\frac{\%ED}{100}$ 이다.

또 (18)식에서 1周期の 時間  $t$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$t = \frac{C \cdot E_s \cdot (1+K) / W}{ED(1-\beta - \frac{W_2}{W}) + \beta} \quad (19)$$

1時間當의 1周期の 반복빈도  $Z$ 는 다음과 같이 된다.

$$Z = \frac{3600}{t} = \frac{3600L}{C \cdot E_s (1+K)} [ED(1-\beta - \frac{W_2}{W}) + \beta] \quad (20)$$

또 (20)식에서

$$\frac{W_2}{W} = 1 - \beta + \frac{\beta}{ED} - \frac{Z \cdot C \cdot E_s (1+K)}{3600 \cdot W \cdot ED} \quad (21)$$

가 되며, 反復使用時의 許容出力  $P'$ 는 연속使用時의 許容出力  $P$ 와의 비율로 표시하면 다음式과 같이 된다.

$$\frac{P'}{P} = \sqrt{\frac{W_2}{W}} = \sqrt{1 - \beta + \frac{\beta}{ED} - \frac{Z \cdot C \cdot E_s (1+K)}{3600W \cdot ED}} \quad (22)$$

(22)식에서 反復使用時의 허용출력  $P'$ 를 구할 수 있는데,  $C \cdot E_s \cdot (1+K)$ 는 1週期中에 數回, 起動과 制動을 반복할 때에는 그 發生손실을 더하여 주면 된다.

또 (22)식은 電氣制動을 포함한 反復作用(S5)의 경우에 相當하는데, 運轉負荷가 변화할 때는 平均損失法에 의해 平均損失로서  $W_2$ 를 구하여  $W_2$ 대신 사용할 수가 있다.

### (1) 反復使用 (S3)의 경우

起動 및 制動條件의 溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 있는 사용이므로 起動 및 制動時의 發生損失은

$$C \cdot E_2 \cdot (1+K) = 0$$

이 된다. 따라서 出力  $P'$ 는 (22)식에서

$$P' = P \sqrt{1 + \beta + \frac{\beta}{ED}} \quad (23)$$

가 된다.



(2) 起動의 영향이 있는 반복사용(S4)의 경우

制動條件이 溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 있는 경우이므로 (22)식에서  $K=0$ 으로서 다음 식으로 구한다.

$$P' = P\sqrt{1-\beta + \frac{\beta}{ED} - \frac{Z \cdot C \cdot E_s}{3600W \cdot ED}} \quad (24)$$

(3) 反復負荷連續運轉(S6)의 경우

이 경우는 起動, 制動, 停止期間은 고려하지 않아도 되므로 (22)식은

$$\frac{W_2}{W} = 1$$

이 된다. 損失은 平均損失法에 의하여 구하고 1 周期의 平均損失이  $W_2=W$ 까지 사용될 수 있다.

(4) 電氣制動을 포함한 反復負荷連續使用(S7)

연속사용이기 때문에 3%  $ED=100\%$ 이고 1 周期間에 溫度上昇에 끼치는 영향을 무시할 수 없는 起動과 制動期間을 포함하므로 (22)식에서  $\beta=1, ED=1$ 로 하면

$$P' = P\sqrt{1 - \frac{Z \cdot C \cdot E_s(1+K)}{3600W}} \quad (25)$$

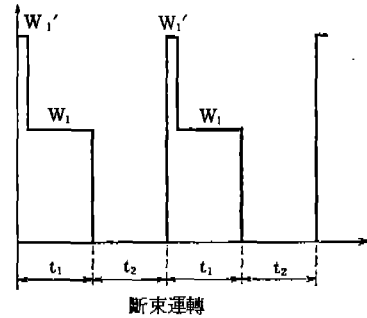
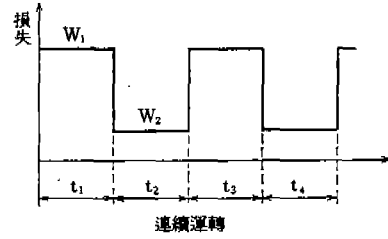
가 되어 出力  $P'$ 를 구할 수가 있다.

이상 反復使用時의 電動機容量을 구하는 방법에 대하여 기술하였는데, 高起動빈도의 용도에서는 起動時, 制動時의 發生損失을 줄이기 위하여 高低抗 容형電動機나 捲線形電動機가 사용된다.

4. 斷續運轉時的 에너지 節減方法

최근 에너지 使用 合理化對策으로 無負荷運轉을 포함한 反復負荷連續使用(S6)을 斷續運轉으로 變換하는 경우가 많은데, 여기서는 斷續運轉과 連續運轉의 에너지 節減方法에 대하여 기술하여 본다.

예를 들면 그림13에 표시하는 바와 같은 운전 패턴에 대하여 斷續運轉과 連續運轉의 어느 運轉方法이 경제적으로 유리한가를 고찰하여 보기로 한다. 그림에서  $t_1$ 時間 全負荷로 운전하고  $t_2$ 時間 負荷運轉 또는  $t_2$ 時間 停止한 것을 표시한다. 全負荷時의 電動機損失을  $W$ , 無負荷時의 電動機損失을  $W_2$ , 起動時의 損失을  $W_1$ 이라 하면 連續運



<그림 13> 運轉 패턴

轉과 斷續運轉의 1사이클의 損失은 다음식과 같이 된다.

$$\text{連續運送: } W_2 = W_1 + W_2 \quad (26)$$

$$\text{斷續運送: } W_2 = W_1' + W_2 \quad (27)$$

따라서 兩者의 出力差는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{連續運轉時電力} - \text{斷續運轉時電力} \\ = W_2 \cdot t_2 - W_1' \end{aligned} \quad (28)$$

여기서  $W_2$ 는 無負荷時의 電動機損失로서, 電動機메이커의 테스트 리포트나 기술 자료 등에서 그 값을 알 수 있으며, 또  $W_1'$ 는 앞서 기술한 (8)식으로 계산이 된다.

1사이클의 電力差를 (28)식으로 判定함으로써 斷續運轉이 좋은가, 連續運轉으로 하는 것이 좋은가를 판단할 수 있다. 그러나 斷續運轉으로 變換할 경우에는 起動·停止를 반복하기 때문에 保護斷電器나 起動器의 수명문제 등이 있어 電力料金과 함께 검토되어야 하겠다.

또 負荷의  $GD^2$ 가 클 때는 起動時 發生損失도 크고 電動機 自體의 熱容量 문제도 있으므로 電動機 메이커와 잘 상의하여 결정하는 것이 바람직하다.

(다음 호에 계속)