

電動力設備의 에너지 節減技術



에너지 節減에 사용되는
各種 電動機

콘덴서 모터와 效果的인 使用方法

金 善 慶 譯

社會的으로 널리 에너지 節減, 節電規制가 요청되는 상황아래 一般 產業用器機 및 家庭用電氣製品에 사용되고 있는 電動機에 있어서도 低入力化에 대한 效果的인 사용방법, 또는 적정한 電動機의 선정에 대해서 충분한 검토가 필요하게 되었다.

이들 用途에 사용되고 있는 電動機中에서 가장 대표적인 것은 일반가정용 電源으로도 사용할 수 있는 單相誘導電動機이다. 그중에서도 콘덴서의 대폭적인 기술향상과 特性效率의 良好性 때문에 콘덴서형 單相誘導電動機(이하 콘덴서 모터라 칭한다)가 차지하는 비율이 많아지고 있다.

여기서는 그 콘덴서 모터의 특징에 대해서 다른 單相誘導電動機(이하 단상 모터라 칭한다), 특히 分相起動 單相誘導電動機(이하 分相 모터라 칭한다)와의 기본적인 원리 및 특성에 대한 비교를 하고 그 특징을 기술코자 한다.

1. 單相 모터의 종류

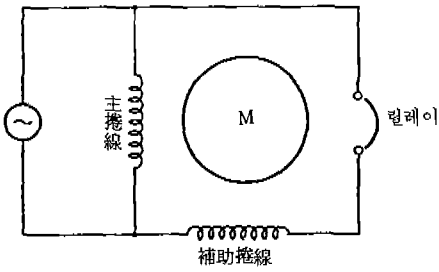
單相 모터는 多相 모터와 달리 主捲線만으로는 交番磁束은 되어도 回轉磁界는 안된다. 따라

서 스스로 회전은 시작 안된다. 그러나 어떠한 방법으로 회전이 시작되면 回轉子 바가 主磁束을 꿰음으로써 바에 誘起된 電流가 主磁束에 대하여 位相이 앞선 交差磁束을 발생, 二相運轉 상태가 됨으로써 回轉磁界가 생계 그대로 회전을 계속할 수가 있게 된다.

그 기동방법으로서 單相 모터에 일반적으로 쓰이는 것은 主捲線과 電氣角度 90° 차이진 위치에 補助捲線을 장치하는 방법 등이며, 이 기동방법에 따라 單相 모터는 다음과 같이 나눌 수 있다.

- (i) 分相 모터
- (ii) · 콘덴서 기동형 모터
 - 콘덴서런형 모터
 - 2 콘덴서형 모터
- (iii) 세이딩코일형 모터

分相 모터는 主捲線에 비해서 捲數가 적고 가는 코일을 사용한 補助捲線을 電氣角度 90° 뒤진 위치에 사용함으로써 補助捲線電流의 位相角이 主捲線電流보다 앞서 回轉磁界가 생겨 회전이 개시된다. 다시 일정한 회전수에 도달하였을 때 補助捲線을 릴레이로 개방, 主捲線만으로 회전



〈그림 1〉 분상 모터 結線圖

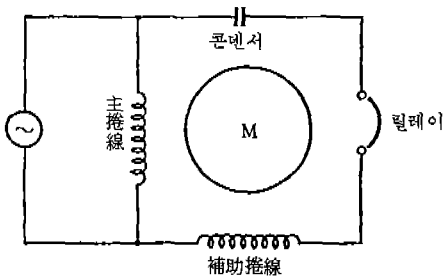
을 계속하는 것이다. 그 결선도를 그림 1에 든다.

콘덴서 모터는 운전방법에 따라 앞서 기술한 바와 같이 3종류로 구별된다.

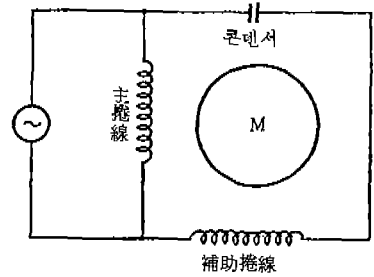
콘덴서 기동형 모터는 분상 모터와 동일하게 補助捲線을 사용하는 동시에 補助捲線과 直列로 콘덴서를 접속함으로써 補助捲線電流의 位相角이 主捲線電流에 대해서 90° 가까이 앞선다는 특징이 있다. 일정속도에 도달하였을 때 릴레이에 의해 補助回路를 개방하고 주권선만으로 운전을 계속한다는 것은 분상 모터와 같다. 그 結線圖를 그림 2에 든다.

콘덴서런형 모터는 기동시나 운전시 공히 補助捲線에 콘덴서를 접속한채로 운전하는 것으로, 개방용 릴레이는 없다. 따라서 콘덴서 容量의 선정에 있어서는 기동특성, 運轉特性 공히 相應한 밸런스가 잡힌 것이라야 한다. 그 결선도를 그림 3에 든다.

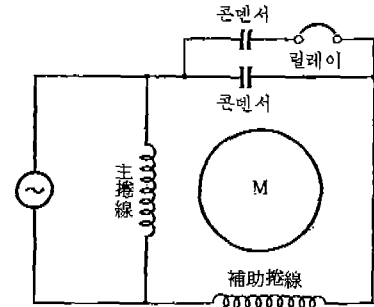
2콘덴서형 모터는 콘덴서 기동형 모터와 콘덴서런형 모터를 합친 것과 같은 것으로, 기동



〈그림 2〉 콘덴서 기동형 모터 結線圖



〈그림 3〉 콘덴서런형 모터의 결선도



〈그림 4〉 2콘덴서형 모터 結線圖

형과 運轉用의 두개의 콘덴서를 사용한다. 一定 回轉數에서 기동용 콘덴서 만을 개방하고 運轉용의 콘덴서는 補助捲線에 접속한채로 운전된다. 그 결선도를 그림 4에 든다.

세이딩코일형 모터는 補助捲線 대신에 銅 링의 세이딩코일을 사용하는 것이다. 따라서 일반적으로 低 코스트의 모터이지만 세이딩코일에서의 損失이 매우 크기 때문에 효율로서는 10~30%에 그치고 통상의 單相 모터가 數百W의 出力까지 적합한데 비하여 겨우 20~30W 이하의 出力의 것에 한정된다. 따라서 低出力 팬모터 등의 특수한 것에만 사용되는 것으로, 이하 설명을 생략한다.

2. 單相 모터의 基本的事項 검토

가. 回轉方向이 반대인 2개의 모터

單相 모터의 원리를 생각할 때 多相 모터와

달리 主捲線에 의한 主磁束만으로는 스스로 회전할 수가 없으므로 交番하는 主磁束을 두개의 서로가 逆方向으로 도는 回轉磁界로 나누어 생각한다. 單相捲線에 交流가 흘렀을 때 생기는 交番磁界를 振幅이 원래의 交番磁束의 半과 같은 左右兩回轉의 回轉磁界로 분해한다.

이 左右兩回轉의 磁界에 의하여 回轉子捲線에 電流가 誘起, 兩方向의 토크가 생기게 된다. 즉 主磁束을 두 回轉磁界로 나누어 回轉子와 직결한 2개의 二相 모터로 생각할 수가 있다. 回轉子와 같은 방향으로 도는 回轉磁界와 回轉子の 관계는 보통의 多相 모터의 正相回轉이고 回轉子와 逆方向으로 도는 回轉磁界는 回轉子에 制動을 미치는 逆相回轉이다. 이하 正相分을 P (Positive), 逆相分을 N (Negative) 부호로 표시한다.

나. 等價回路

單相 모터의 諸定數, 等價回路에 대해서는 아래와 같이 표시할 수가 있다.

一次捲線

交番主磁束에 의한 여자 리액턴스 $x_m[\Omega]$
 抵抗 $r_1[\Omega]$, 누설 리액턴스 $x'_1[\Omega]$

二次捲線

二相 모터의 一次 환산 二次 一相의 抵抗 $r'_2[\Omega]$

同一하게 누설리액턴스 $x'_2[\Omega]$

一次 端子電壓 $\dot{V}_1[V]$, 一次 流 $\dot{I}_1[A]$

正相分 모터의 여자전류 $\dot{I}_{mP}[A]$

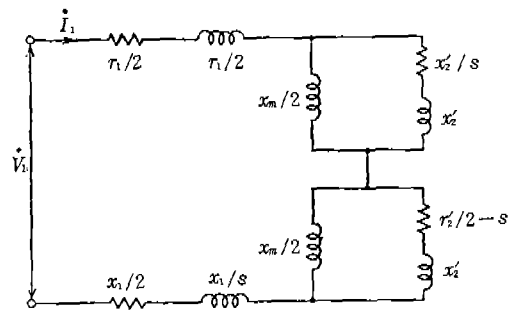
逆相分 모터의 여자전류 $\dot{I}_{mN}[A]$

二相 모터의 一次로 환산한 正相分 모터의 二次電流 $\dot{I}_{2P}[A]$, 逆相分 모터의 二次電流 $\dot{I}_{2N}[A]$

이상의 諸定數에 대하여 一次捲線 電壓의 平衡條件을 생각해 보면 다음식이 성립된다.

$$\dot{V}_1 = (r_1/2 + jx_1/2) \dot{I}_1 + jx_m/2 (\dot{I}_1 + \dot{I}'_{2P}) + (r_1/2 + jx_1/2) \dot{I}_1 + jx_m/2 (\dot{I}_1 + \dot{I}'_{2N}) \quad (1)$$

다음에 二次捲線을 생각해 본다. 一次捲線의 端子電壓 \dot{V}_1 에 相當하는 것은 없고 다음식의 平衡條件이 성립한다.



(그림 5) 等價回路

正相分의 경우(슬립 s 로 회전하고 있을 때)

$$0 = (r'_2/s + jx'_2) \dot{I}'_{2P} + jx_m/2 (\dot{I}_1 + \dot{I}'_{2P}) \quad (2)$$

逆相分의 경우(슬립은 $2-s$ 가 된다)

$$0 = (r'_2/(2-s) + jx'_2) \dot{I}'_{2N} + jx_m/2 (\dot{I}_1 + \dot{I}'_{2N}) \quad (3)$$

(2), (3)式에서 \dot{I}'_{2P} , \dot{I}'_{2N} 을 구하고, (1)式에 代入하면

$$\dot{V}_1 = \dot{I}_1 \left(\frac{r_1}{2} + \frac{jx_1}{2} + \frac{1}{\frac{1}{jx_m/2} + \frac{1}{r'_2/s + jx'_2}} + \frac{r_1}{2} + \frac{jx_1}{2} + \frac{1}{\frac{1}{jx_m/2} + \frac{1}{r'_2/2-s + jx'_2}} \right) \quad (4)$$

이 되며 이 식을 等價回路로 표시하면 그림 5와 같이 된다.

다. 單相 모터의 特性

(1) 一次電流

(4)式에서 一次電流를 다음과 같이 바꾸어 놓는다.

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_1}{(r_1 + R_P + R_N) + j(x_1 + X_P + X_N)} [A] \quad (5)$$

여기서

$$\left. \begin{aligned} R_P &= \frac{(x_m/2)^2 r'_2/s}{(r'_2/s)^2 + (x'_2 + x_m/2)^2} [\Omega] \\ X_P &= \frac{x_m/2 \{ (r'_2/s)^2 + x'_2(x'_2 + x_m/2) \}}{(r'_2/s)^2 + (x'_2 + x_m/2)^2} [\Omega] \\ R_N &= \frac{(x_m/2)^2 r'_2/2-s}{(r'_2/2-s)^2 + (x'_2 + x_m/2)^2} [\Omega] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$X_N = \frac{x_m/2 \{ (r_2'/2 - s)^2 + x_2' (x_2' + x_m/2) \}}{(r_2'/2 - s)^2 + (x_2' + x_m/2)^2} [\Omega]$$

(2) 二次電流

一次로 환산한 正相分, 逆相分 모터의 二次電流는 (2), (3)식에서

$$\dot{I}'_{2P} = \frac{-j x_m/2}{r_2'/s + j(x_2' + x_m/2)} \dot{I}_1 \quad [A] \quad (7)$$

$$\dot{I}'_{2N} = \frac{-j x_m/2}{r_2'/2 - s + j(x_2' + x_m/2)} \dot{I}_1 \quad [A] \quad (8)$$

(3) 토크

모터의 토크는 正相分 모터와 逆相分 모터의 토크差가 되므로

$$T = \dot{I}'_{2P}{}^2 \frac{r_2'}{s} - \dot{I}'_{2N}{}^2 \frac{r_2'}{2-s} \quad [\text{同期 와트}] \quad (9)$$

$$= \dot{I}_1^2 (R_P - R_N) \quad [\text{同期 와트}] \quad (10)$$

3. 起動時의 特性

單相 모터는 기동시에는 補助捲線이 필요한데, 콘덴서를 접속할 때와 補助捲線만일 때의 起動特性을 비교한다.

지금, 主捲線의 有效捲線을 W_m , 補助捲線의 有效捲數를 W_a 라 하고 그 捲線比를 $W_a/W_m = \alpha$ 라 한다. 補助捲線의 捲數를 主捲線과 同-하게 하기 위하여 補助捲線 電流를 $I'_a = \alpha I_a$, 電壓을 $V'_a = V_a/\alpha$ 라 하면 補助捲線의 전력은 변하지 않는다.

이리하면 두개의 권선은 捲數가 같고 電氣角度가 90° 의 位相角으로 배치되어 있는 것이므로 平衡 二相 모터에 不平衡電壓이 加해서 不平衡電流가 흐른 것으로 취급할 수가 있다. 主捲線電流, 補助捲線電流 I_M, I'_a 를 분해하여 다음과 같이 표시한다.

$$\dot{I}_M = \frac{\dot{I}_M - j\dot{I}'_a}{2} + \frac{\dot{I}_M + j\dot{I}'_a}{2}$$

$$\dot{I}'_a = \frac{j\dot{I}_M + \dot{I}'_a}{2} + \frac{-j\dot{I}_M + \dot{I}'_a}{2}$$

여기서

$$\frac{\dot{I}_M - j\dot{I}'_a}{2} = \dot{I}_{1P}, \quad \frac{\dot{I}_M + j\dot{I}'_a}{2} = \dot{I}_{1N}$$

이라 하면

$$\dot{I}_M = \dot{I}_{1P} + \dot{I}_{1N}$$

$$\dot{I}'_a = j\dot{I}_{1P} - j\dot{I}_{1N}$$

이 된다.

이 식의 意味는 不平衡인 \dot{I}_M 과 \dot{I}'_a 가 각각 흐르는 二相 모터를 主捲線에 \dot{I}_{1P} , 補助捲線에 그보다 90° 位相이 앞선 \dot{I}_{1N} 이 흐르는 平衡 二相 모터와 主捲線에 \dot{I}_{1N} , 補助捲線에 그보다 90° 位相이 뒤진 $-j\dot{I}_{1N}$ 이 흐르는 平衡 二相 모터와의 2개의 모터의 疊으로 생각된다.

따라서 이 경우의 토크는 (9), (10)식과 같이

$$T = 2(|I_{1P}|^2 R'_P - |I_{1N}|^2 R'_N) \quad [\text{同期 와트}]$$

가 되고, 起動時는 $s=1$ 이므로 $R'_P = R'_N = R'_2$ 라고 하면

$$T_s = 2\alpha I_M I_A R'_2 \sin \theta \quad [\text{同期 와트}] \quad (11)$$

θ ; I_M 과 I_A 의 位相角

으로 구할 수 있다.

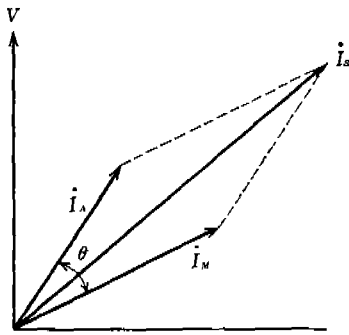
分相 모터의 경우 앞에서 기술하였지만 補助捲線電流를 主捲線電流보다 位相을 앞세우기 위하여 補助捲線 線徑을 가늘게 하여 저항을 크게 하고, 또 捲數를 적게하여 리액턴스가 작아 지도록 설계되는데, 主捲線電流와 補助捲線電流의 位相角은 겨우 $20 \sim 30^\circ$ 이고 그 벡터도는 그림 6과 같이 된다. 그런데 補助捲線에 콘덴서가 접속되면 補助捲線은 主捲線電流에 비하여 90° 가 가까이 앞서게 된다. 이것을 그림 7에 표시한다.

여기서 補助捲線에 콘덴서를 접속하였을 때와 콘덴서가 없는 分相 모터를 비교하였을 때 콘덴서를 접속한 때의 特性의 優越성은 다음과 같다.

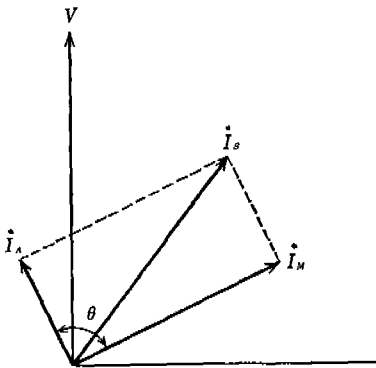
(i) $\theta \approx 90^\circ$ 에서 $\sin \theta \approx 1$ 과 같이 커진다.

(ii) 補助捲線의 리액턴스가 콘덴서에 의해 없 어지기 때문에 捲數를 많이 할 수 있고 捲數比 α 를 크게 할 수 있다(콘덴서가 없는 경우와 비교하여 약 3~5 배).

(iii) 補助捲線의 저항을 크게 할 필요가 없으므로 굵은 線徑을 사용할 수 있다. 따라서 補助捲線電流의 저감효과도 아울러 補助捲線 銅損이



〈그림 6〉



〈그림 7〉

대폭적으로 감소할 수가 있다.

(iv) 主捲線과 補助捲線電流의 位相角이 90°가
 까이 되므로 主捲線電流와 補助捲線電流의 벡터
 의 合이 작아지므로 線電流가 적어진다.

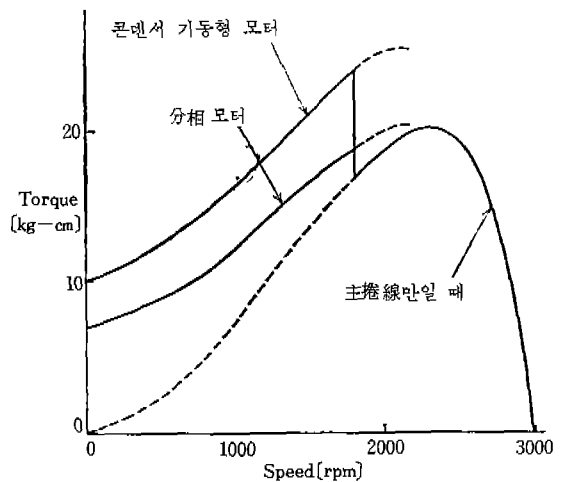
이상으로 補助捲線에 콘덴서를 접속하였을 때
 의 기동특성은 토크, 入力, 電流 등 모든 면으
 로 좋아진다. 이를 뒷받침하는 데이터로서 分相
 모터 시방에 콘덴서를 접속하였을 때의 비교결
 과를 표 1, 그림 8에 표시한다.

이 비교 데이터는 分相 모터 시방의 補助捲線
 에 콘덴서를 접속만 하고 鐵心, 捲線시방 등은
 同--하므로 콘덴서를 사용한 경우의 기동특성이
 우수한 것을 잘 알 수 있다. 특히 기동 토크는
 약 43% 향상하고 기동입력은 약 20% 저감하고
 있다. 단, 실제로 콘덴서 기동형 모터를 設計할

〈표 1〉 起動特性

定格시방	極 數	2 P
	出 力	250W
	電 壓	220V
	周波數	50Hz
	始動用 콘덴서	34 μ F

特 性	分相 모터	콘덴서 기 동형 모터
起 動 토크 [kg·cm]	7.0	10.0
線 電 流 [A]	12.9	9.9
主 捲 線 電 流 [A]	9.7	9.8
補 助 捲 線 電 流 [A]	3.6	2.1
起 動 時 入 力 [kW]	2.43	1.93



〈그림 8〉 S-T 曲線

때는 補助捲線의 線徑을 더욱 굵게하고 捲數를
 늘리는 것이 일반적이므로 그 우수성은 현저해
 진다.

따라서 콘덴서 기동형 모터는 기동 토크를 높일
 필요가 있다든가 斷續運轉이 많은 용도에 적합
 하다.

콘덴서 모터의 기동특성에 대해서는 콘덴서 기
 동형 모터, 콘덴서런형 모터, 2콘덴서형의 3
 종류에 공통적으로 말할 수 있지만 주로 그 효
 과가 큰 것은 콘덴서 기동형 모터와 2콘덴서형

모터와 같이 기동시 전용 콘덴서를 설비하는 것이다.

4. 運轉時의 特性

分相 모터, 콘덴서 기동형 모터는 모두 운전 중은 補助捲線을 떼어내고 主捲線만으로 單相運轉을 한다는 의미에서는 同一하다.

따라서 運轉時의 콘덴서 효과에 대해서는 콘덴서런형 모터, 2콘덴서형 모터에 限定된다. 또 콘덴서런형 모터와 2콘덴서형 모터는 기동시의 콘덴서 數에 差가 있으나 운전시의 조건은 같다고 볼 수 있으므로 그 基本原理를 생각하는데 있어 특별히 구별을 하지 않는다.

單相 모터의 等價回路를 그림 5에 표시했지만 그림 5는 分相 모터 및 콘덴서 기동형 모터와 같이 운전시 主捲線만이 동작하는 경우를 표시한다. 그림 5의 기호를 바꾸어 놓고 그림 9와 같이 표시한다.

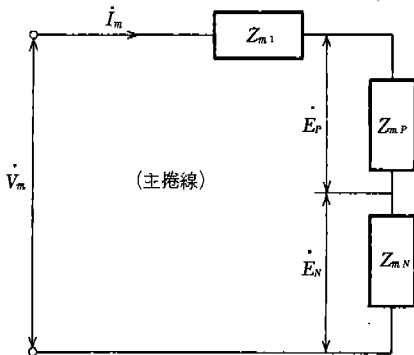
그림 9에서

$$Z_{m1} = r_1 + x_1$$

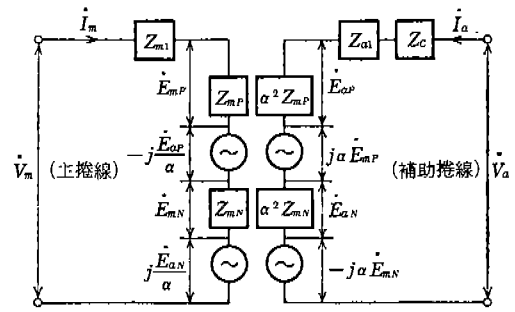
$$Z_{mP} = R_P + X_P$$

$$Z_{mN} = R_N + X_N$$

콘덴서 모터의 경우 콘덴서를 접속한 補助捲線이 작용하기 위한 等價回路는 그림 10과 같이 된다. 그림 10에서 $-jE_{\alpha P}/\alpha$, $jE_{\alpha N}/\alpha$, $j\alpha E_{mP}$, $-j\alpha E_{mN}$ 은 主捲線 補助捲線이 각각 한쪽 捲線의 正相分, 逆相分磁界에 의해 다른 捲線에 생



〈그림 9〉 等價回路



〈그림 10〉 等價回路

기는 誘起電壓이다.

따라서 平衡條件을 구하면

$$\begin{aligned} \dot{V}_m = \dot{I}_m Z_{m1} + \dot{I}_m Z_{mP} - j\dot{E}_{\alpha P}/\alpha + \dot{I}_m Z_{mN} + j\dot{E}_{\alpha N} \\ / \alpha = \dot{I}_m Z_{m1} + (\dot{I}_m - j\alpha \dot{I}_\alpha) Z_{mP} + (\dot{I}_m + j\alpha \dot{I}_\alpha) Z_{mN} \end{aligned} \quad (12)$$

이 된다. 여기서 $\dot{E}_{\alpha P} = \dot{I}_\alpha \alpha^2 Z_{mP}$

$$\dot{E}_{\alpha N} = \dot{I}_\alpha \alpha^2 Z_{mN}$$

(12)식에서 $(\dot{I}_m - j\alpha \dot{I}_\alpha) Z_{mP}$ 는 主捲線과 補助捲線의 合成正相磁界에 의해 主捲線에 誘起되는 電壓이다. 동일하게 $(\dot{I}_m + j\alpha \dot{I}_\alpha) Z_{mN}$ 은 主捲線과 補助捲線의 合成逆相磁界에 의해 主捲線에 誘起하는 電壓이다. 그러므로 主捲線과 補助捲線의 合成正相磁界는 主捲線에 等價假想電流 $(\dot{I}_m - j\alpha \dot{I}_\alpha)$ 를 흘렸을 때 생기는 磁界이고 同一하게 合成逆相磁界의 경우는 $(\dot{I}_m + j\alpha \dot{I}_\alpha)$ 를 흘렸을 때 생기는 磁界라 생각할 수 있다.

따라서 合成正相磁界에 의한 正相 토크는

$$T_P = |\dot{I}_m - j\alpha \dot{I}_\alpha|^2 R_{mP}$$

또 逆相 토크는

$$T_N = |\dot{I}_m + j\alpha \dot{I}_\alpha|^2 R_{mN}$$

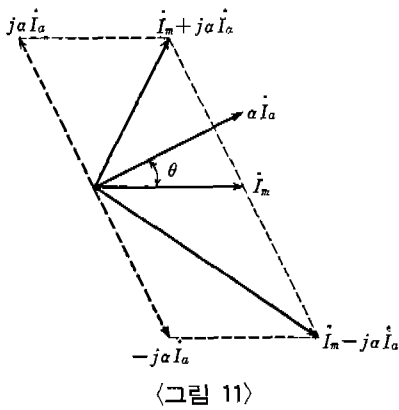
따라서 出力으로서의 토크는

$$T = T_P - T_N \text{ [同期 와트]}$$

이다.

\dot{I}_m 과 $\alpha \dot{I}_\alpha$ 의 位相角을 θ 라 하면 벡터圖는 그림 11과 같이 된다.

이와 같이 콘덴서를 접속한 補助捲線을 사용함으로써 主捲線과 補助捲線의 상호작용의 효과가 발휘된다. 즉, 單相 모터는 主捲線에 의한



主磁束과 回轉子導체에 의한 交差磁界의 합성에 의해 回轉磁界가 생기는데, 補助捲線에 콘덴서를 접속하여 운전함으로써 (용량은 적당한 값을 선정한다) 補助捲線電流가 主捲線電流에 대해서 약 90°의 位相角이 되므로 多相 모터와 같은 효과가 있고 回轉子導체에 의한 交差磁界의 일부를 補助捲線이 부담하게 된다. 따라서 동일출력을 얻고자 할 때, 回轉子電流를 감소시켜 손실을 줄이고 전반적으로 특성이 향상하게 된다. 구체적인 효과로는 아래와 같다.

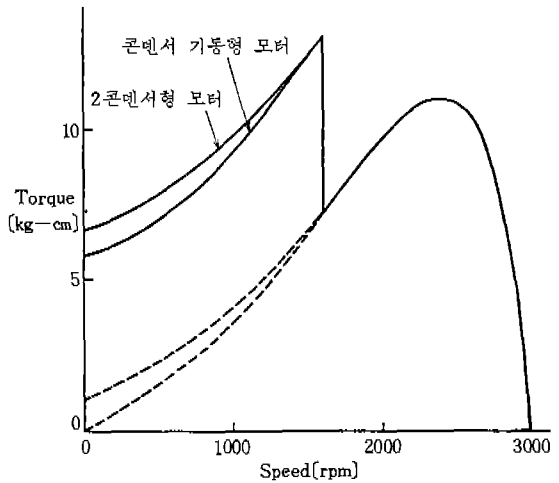
- (i) 最大 토크의 증가
- (ii) 力率, 效率의 向上
- (iii) 騒音의 저감

백데이터로서 鐵量, 銅量이 거의 같은 모터에서의 콘덴서형 모터와 콘덴서 기동형 모터의 운전특성 비교를 표 2, 그림 12에 든다. 콘덴서를 접속한 補助捲線을 사용함으로써 同一出力인 경우의 효율, 역률이 향상되는 것을 알 수 있다.

☆ ☆ ☆

이상과 같이 콘덴서 모터의 특성이 우수한 점에 대해서 기술했는데, 실제로 모터를 선정할 때 특성과 코스트의 밸런스에 대해 주의하여야 하겠다.

콘덴서 모터라고 하여도 특징이 있는 3종류로 구분되고 모터의 出力, 사용조건에 따라 릴레이 장치도 포함한 콘덴서 코스트가 문제가 된



(그림 12) S - T 曲線

(표 2) 運轉特性

定格시방 極數 2P
 出力 100W
 電壓 100V
 周波數 50Hz
 콘덴서
 始動用 60μF
 運轉用 5μF

特 性	콘덴서 起動形 모터	2콘덴서 形 모터
負荷回轉數 (rpm)	2,937	2,937
負荷토크 (kg·cm)	2.6	2.6
效 率 (%)	74	78
力 率 (%)	58	72

다. 그리고 또 사용조건, 사용시간 등에 의한 런닝 코스트 등에 따라 모터 선정에 있어서 충분한 검토가 필요하다.

그러나 社會的으로 電力規制, 소음규제를 하고 있는 차제에 앞으로 콘덴서 모터가 점유하는 비율은 높아지리라 생각된다. 콘덴서 그자체의 技術向上, 低 코스트化로 普及이 늘어날 것이다.

끝으로 單相 모터에는 여기서 기술한 외에 따로 수 종류가 있지만 특성면에서 또는 사용빈도면에서 그다지 일반적이 아니기 때문에 제외시켰다.
 (다음 호에 계속)