

# 單相誘導電動機構에서 Shaded-Pole角이 動作特性에 미치는 영향

RF  
RD  
23~2~1

## Analysis and Performance Prediction of Single Phase Induction Machine due to Changes of Shaded-Pole Angles

黃 煥 文\*  
(Young Moon Hwang)

### Abstract

An analysis is developed for the torque characteristics of single-phase induction motors having variable shaded-pole angles.

The mechanism have two sets of stator windings which one set of stator fed from single-phase sources and other shorted by inserted external impedances.

Thus, by physically rotating one set of stator windings with respect to the other, the only shaded-pole effect torque performance of a single-phase induction machine and its performance prediction to be expected of the optimum shaded-pole angle can be achieved.

### 1. 서 론

單相電動機構는 가장 많이 이용되는 형태의 전동기구이나, 單一卷線만으로는 토크가 생기지 않아, 반드시 補助卷線을 갖어야 한다. 分數馬力電動機로서는 콘덴스起動型, 永久콘덴스型, 및 Split卷線型, Tapped卷線型등이 있어, 이들은 모두 固定卷線인 主卷線과 補助卷線사이에서  $\pi/2$ 의 電氣角을 갖게한 對稱軸卷線方式에서 起動토크를 얻는다. 이러한 分相型은 起動토크特性은 좋아지나, 補助卷線을 그냥 그대로 두면, 定常토크特性이 나빠진다.

Puchstein, Loyd 및 Lyon, Kingsley등은 실제 권선할 때의 편의에 의하여 主卷線과 補助卷線사이의 電氣角度를  $120^\circ$ ,  $105^\circ$ 로 한 非對稱軸型콘덴스電動機를 제작한 결과 보다 우수한 起動토크特性을 얻었다. 여기서  $\pi/2$ 인 相差角이 아닌 分相式電動機<sup>1)</sup>와 分布卷의 Shaded-pole式 電動機<sup>2)</sup>가 활발히 개발되게 되었으며 兩卷線간의 卷線比, 適定한 非對稱軸角 및 卷線定數와의 相互關係등에 대하여 回轉磁界理論과 對稱座標法을 적용한 解析<sup>3),4)</sup>이 많은 사람에 의하여 연구되고 있다. 특히 非對稱軸卷線에서는 起動時의 高調波토크<sup>5),6)</sup>

가 효과적으로 작용하기 때문에 이에 대한 해석도 아울러 검토되고 있다. 또한 段階의速度調整을 위한 極數變調電動機<sup>7)</sup>에서는 이러한 Shaded-pole角에 따른 특성변화가 가장 심하게 일어나 문제가 되어 있으므로 設計전에 반드시 충분한 검토가 뒤따라야 한다.

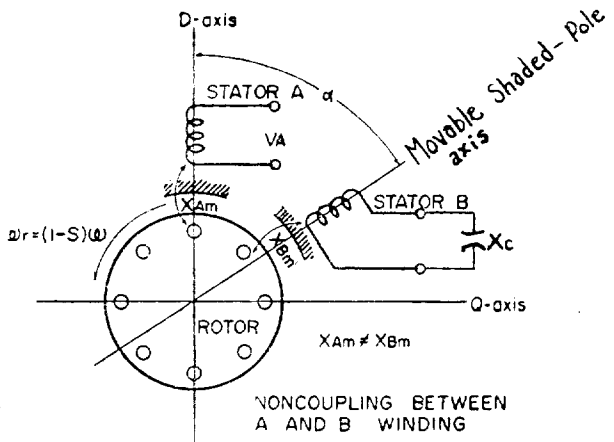


그림 1. 可變 Shaded-pole 單相誘導機의 等價圖  
Fig. 1. Schematic diagram of movable shaded-pole single-phase induction machine.

\* 정회원 : 釜山大工大 教授(工學博士)

著者は 單相誘導電動機構의 특수형태인 單相 Twin Stator誘導機의 適用性解析<sup>9)</sup>에서 밝힌바와 같이 單相機의 補助卷線의 影響을 電壓調整效果와 Shaded-pole 效果로 나누어 해석한 바 있다. 여기서 Shaded-pole 效果만을 나타나게 하는 電動機構로 바꾸어 여기에다가 Shaded-pole卷線의 卷線定數와 相差角을 조정하게 하는 방식을 채택하여, 종래의 복잡한 해석에서 오는 불명료함과 設計製作상의 제한조건에 따른 非對稱角의 不可變性을 탈피하고, 運轉중에도 動作特性상의 影響을 알 수 있게하여 Shaded-pole卷線軸角의 效果를 좀더 명백히 해석코져 한다.

여기서는 空間高調波에 의한 토오르크특성은 취급하지 않으며 이들에 대한 것은 基本波토오르크가 高調波토오르크의 振動幅의 平均値에 해당한다<sup>10)</sup>는 점을 감안하여 해석한다. 그리고 電動機構특성중 가장 기본이 되는 토오르크—速度特性을 중점적으로 취급하기로 하였다.

### 2. 動作特性方程式의 展開

回轉機構의 토오르크發生은 반드시 空腔에 電氣의 에너지가 축적된후에 이 에너지가 相對速度의 정도에 따라 Slip電力에너지로 변환하는 과정에서 回轉子에 토오르크를 갖게 한다<sup>11)</sup>. 이러한 관점에서 볼때, 單相電動機의

移動磁界型에서의 에너지 흐름은, 먼저 固定子의 主卷線에서 空腔으로 에너지가 들어가고 다시 回轉子로 들어가서, 일부는 Slip電力變換으로 機械出力이 되고, 다른부분은 되돌아 空腔으로 흡수되어, 固定子의 補助卷線으로 에너지가 들어가면, 이것이 主卷線과의 相互結合係數에 따른 에너지의 출입이 생기는 電氣的에너지의 흐름으로 된다. 이때 이 에너지의 흐름을 조정하여 주는 것은 主·補助卷線간의 相互結合係數와 補助卷線의 卷線定數에 의하여 행하여지며, 이런 가운데 回轉子의 機械의出力을 조정하게 될 것이다.

對稱軸卷線을 갖는 一般單相電動機는 비록 主卷線과 補助卷線이 같은 固定子鐵心에 놓여 있어도 相差角이 90°이므로 主·補助卷線사이의 相互結合係數  $X_{AB}$ 는 존재하지 않는다. 그러나 電源에 공동으로 병렬로 연결된 회로를 통하여 에너지교환은 존재한다. 그리고 補助卷線의 卷線定數에서의 변환도 존재한다. 非對稱軸卷線型에서는 105°~120°의 범위에서는 起動토오르크가 개선되는 결과<sup>7)</sup>를 갖는데 이는 相互結合係數  $X_{AB}$ 에 의한 에너지흐름의 영향으로 볼수 있을 것이다.

이러한 것은 물론 卷線의 相差角  $\alpha$ 에 따라 그 영향을 미치는 정도가 각자 달라진다.

지금 補助卷線에는 電源을 연결하지 않는 상태, 이를 Shaded-pole型이라고 하는데, 이 때는 結合係數  $X_{AB}$ , 卷線定數 및 相差角에 따라 토오르크발생이 달라진다. 이러한 영향을 보기 위하여 Shaded-pole角을 임의로 바꾸어야 할 필요성이 있는데, Single stator型에는 어렵다. 그리하여 Twin stator型에서 한쪽고정자는 主卷線으로 하고, 다른쪽 可變相差角고정자는 補助卷線, 즉 Shaded-pole卷線으로 하여 動作중에도 Shade-pole角을 可變할 수 있도록 하여, 그 특성을 해석하기로 한다. 즉 可變 Shaded-pole型單相電動機형태로 바꾸었다. 여기서 다만 一般 Shaded-pole型과 다른 점은 相差角이 있어도 相互結合係數  $X_{AB}$ 의 效果는 존재하지 않는다는 점이다. 이것에 관하여는 특성해석과정에서 다른 문헌<sup>1, 5, 8, 10)</sup>을 참고하여 유추해서 해석코져 한다.

單相 Twin Stator 誘導機<sup>7)</sup>에서와 마찬가지로 Kron의 Primitive machine의 원리에 의하여 공유능회전자권선을  $d-q$ 軸으로 나누고, 고정자 A, B 권선도 각각  $d-q$ 軸으로 나누어 基本等式을 유도하면<sup>5)</sup> 다음과 같다.

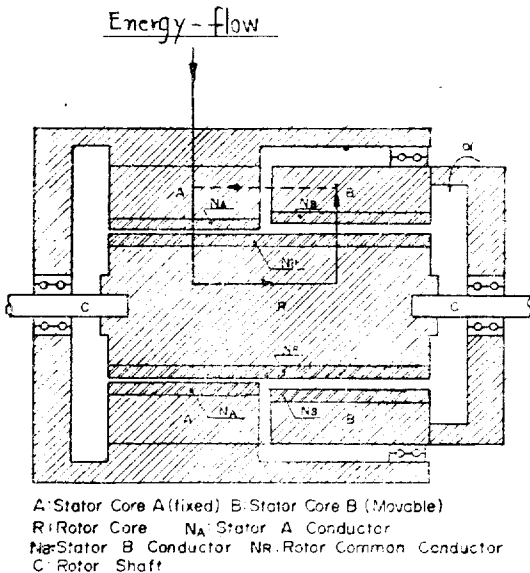


그림 2. 可變 Shaded-pole 單相誘導機의 構造圖  
 Fig. 2. Mechanism of unsymmetrical magnetizing reactance movable shaded-pole induction machine.

記 號

$V_A$ : 고정자 권선 A의 인가전압  
 $I_A, I_B$ : 고정자권선 A, B의 전류

$V_{rd}, V_{rq}$  : 회전자의 직축 및 횡축전압

$I_{rd}, I_{rq}$  : 회전자의 직축 및 횡축전류

$R_A, R_B$  : 고정자 A, B의 저항

$X_{Al}, X_{Bl}$  : 고정자 A, B의 누설리액턴스, 단,  $X_{Alid} =$

$$X_{Alq}, X_{Blid} = X_{Blq}$$

$X_{Am}, X_{Bm}$  : 고정자와 회전자간의 여자리액턴스

$$\text{단, } X_{Amd} = X_{Amq}, X_{Bmd} = X_{Bmq}$$

$R_r, R_{rb} (=R_r)$  : 공유회전자의 저항

$X_{rAl}, X_{rBl}$  : 회전자의 A, B축 누설리액턴스

$$\text{단, } X_{rAld} = X_{rAlq}, X_{rBld} = X_{rBlq}$$

$N_A, N_B, N_R$  : 고정자 A, B 및 회전자권선의 실효권선수

$a_1, a_2, a$  : 회전자와 고정자와의 권선비 및 고정자간의 권선비

$$\text{즉 } a_1 = N_A/N_R, a_2 = N_B/N_R, a = a_1/a_2$$

$\alpha$  : 고정자 A와 B권선과의相差角, 즉 Shaded-pole角

$\delta$  : A, B의 여자리액턴스의 비, 즉  $X_{Am}/X_{Bm}$

$I_{rd}, I_{rq}$  : A기권선축으로 환산한 회전자의 d-q축전류

$R_r, R_{rb} \equiv R_r$ , A기권선축으로 환산한 회전자 저항

$X_{rAl}, X_{rBl}$  : A기권선축으로 환산한 회전자의 누설리액턴스

$$X_r \equiv (X_{rAl} + X_{rBl}) + (X_{Am} + a^2 X_{Bm}) \equiv X_{r1} + (X_{Am} + a^2 X_{Bm})$$

$X_c$  : 외부삼입리액턴스

$R_c$  : 외부삼입저항

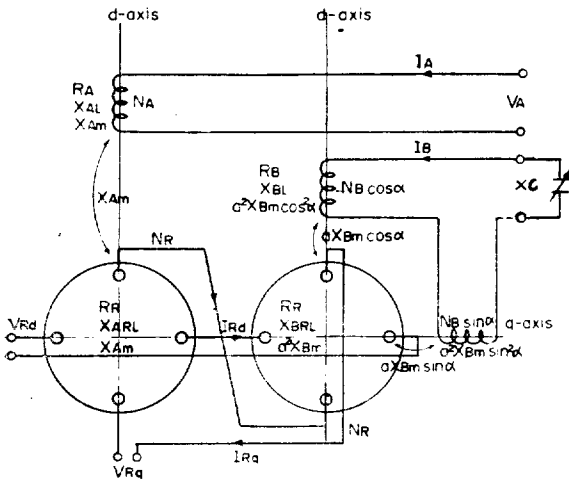


그림 3. 可變 Shaded-pole型 Twin Stator 誘導機의 d-q軸等價圖

Fig. 3. Schematic d-q axis diagram of movable shaded-pole single-phase induction machine.

$$\begin{bmatrix} VA \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RA + j(X_{AL} + X_{Am}) & 0 & jX_{Am} & 0 \\ 0 & \frac{\delta^2}{\alpha^2} [R_B + j(X_{BL} + X_{Bm}) - jX_C] & jX_{Am} \sin \alpha & \frac{\alpha}{\delta} I_B \\ jX_{Am} & jX_{Am} \cos \alpha & 2R_r + jX_r & -(1-S)X_r \\ (1-S)X_{Am} & jX_{Am} \sin \alpha & (1-S)X_r & 2R_r + jX_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IA \\ I_B \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix}$$

$$\text{단, } \delta = X_{Am}/X_{Bm}, \alpha = N_A/N_B, X_r = X_{rAl} + X_{rBl} + X_{Am} + a^2 X_{Bm}$$

$$\text{그리고 } X_{Amd} = X_{Amq} = X_{Am}, X_{Bmd} = X_{Bmq} = X_{Bm}$$

(1)

(1) 電流式

(1) 식의 matrix를 역변환하여 電流式을 구하면,

$$\left. \begin{aligned} I_A &= \frac{1}{\Delta} \left[ X_{Am}^2 Z_C + \frac{\delta^2}{\alpha^2} Z_B Z_K Z_H \right] V \\ I_B &= -\frac{1}{\Delta} \left[ -X_{Am}^2 Z_C \frac{\delta}{\alpha} e^{j\alpha} + j \frac{\delta}{\alpha} (2-s) X_{Am}^2 Z_K \sin \alpha \right] V \end{aligned} \right\} (2)$$

여기서

$$\begin{aligned} \Delta &\equiv X_{Am}^2 Z_C \left[ Z_A + \frac{\delta^2}{\alpha^2} Z_B \right] + Z_A Z_B \frac{\delta^2}{\alpha^2} Z_H Z_K \\ &\quad + X_{Am}^4 s(2-s) \sin^2 \alpha \\ Z_C &\equiv 2R_r + js(2-s)X_r \\ Z_K &\equiv 2R_r + jsX_r \\ Z_H &\equiv 2R_r + j(2-s)X_r \\ Z_A &\equiv R_A + j(X_{AL} + X_{Al} + X_{Am}) \\ Z_B &\equiv \frac{\delta^2}{\alpha^2} [R_B + j(X_{BL} + X_{Bm}) - R_c + jX_c] \end{aligned}$$

이다.

(2) Torque特性方程式

지금 (1)식을 Double-Field回轉磁界型으로 변환하여, 回轉磁界型電流式으로 역변환<sup>1)</sup>한후, 회전자의 Forward 전류와 Backward 전류를 구하면,

$$\begin{aligned} I_{rf} &= \frac{X_{Am} s}{\sqrt{2} \Delta} \left\{ (2-s) X_{Am}^2 \sin \alpha e^{-j\alpha} - j \frac{\delta^2}{\alpha^2} Z_B Z_H \right\} V_A \\ I_{rb} &= -\frac{X_{Am} (2-s)}{\sqrt{2} \Delta} \left\{ -s X_{Am}^2 \sin \alpha e^{j\alpha} - j \frac{\delta^2}{\alpha^2} Z_B Z_H \right\} V_A \end{aligned} (3)$$

이 된다. 여기서 Forward토크와 Backward 토크를 구하여, 총합적인 토크를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T &= I_{rf} \cdot I_{rf}^* \frac{2R_r}{s} - I_{rb} \cdot I_{rb}^* \frac{2R_r}{2-s} \text{ [sync.watt]} \\ &= \frac{X_{Am}^2 R_r V^2}{|\Delta|^2} \left\{ 2 \frac{\delta^4}{\alpha^4} [4R_r^2 - X_r^2 (2-s)] \right. \\ &\quad \left. (1-s) |Z_B|^2 + 2X_{Am}^2 \left[ X_{Am}^2 - 2 \frac{\delta^2}{\alpha^2} X_B X_B \right] s \right\} \end{aligned}$$

$$(2-s)(1-s)\sin^2 \alpha + 4 \frac{\delta^2}{a^2} X_{Am}^2 [R_B X_R + 2R_R X_B s(2-s)\sin \alpha \cdot \cos \alpha] \quad (4)$$

여기서

$$|\Delta|^2 \equiv \left\{ \begin{aligned} & [A_0 + A_1 R_B - A_2 X_B] \\ & + s(2-s) [X_{Am}^2 \sin^2 \alpha - B_0 - B_1 R_B + B_2 X_B] \\ & + \left\{ \begin{aligned} & [C_0 + C_1 R_B - C_2 X_B] \\ & + s(2-s) [D_0 - D_1 R_B - D_2 X_B]^2 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\}^2$$

단,

$$\begin{aligned} A_0 &\equiv 2X_{Am}^2 R_R R_A, \\ A_1 &\equiv 2 \frac{\delta^2}{a^2} R_R [X_{Am}^2 - 2(X_R X_A - R_R R_A)] \\ A_2 &\equiv 4 \frac{\delta^2}{a^2} R_R [R_R X_A + R_A X_R] \\ B_0 &\equiv X_{Am}^2 X_R X_A, \\ B_1 &\equiv \frac{\delta^2}{a^2} X_R^2 R_A \\ B_2 &\equiv \frac{\delta^2}{a^2} [X_R^2 X_A - X_R X_{Am}^2] \\ C_0 &\equiv 2X_{Am}^2 R_R X_A, \\ C_1 &\equiv 4 \frac{\delta^2}{a^2} R_R [R_R X_A + R_A X_R] \\ C_2 &\equiv \frac{\delta^2}{a^2} R_R [(X_R X_A - R_R R_A) - 2X_{Am}^2] \\ D_0 &\equiv X_{Am}^2 X_R R_A, \\ D_1 &\equiv \frac{\delta^2}{a^2} [X_R^2 X_A - X_R X_{Am}^2] \\ D_2 &\equiv \frac{\delta^2}{a^2} X_R^2 R_A \end{aligned}$$

i) (4)식의 값은 Shaded-pole角  $\alpha$ 에 대하여 그 값이 달라진다. 그러나  $f(\alpha)$ 와  $f(\alpha+180^\circ)$ 의 값은 항상 같으므로,  $\alpha = -90^\circ \sim +90^\circ$  사이의 값에 대하여만 구하면 그 값은 전부 알게 될 것이다.

ii) 첫항과 둘째항은  $f[(1-s)]$  및  $f[s(2-s)(1-s)]$ 의 함수로 定常토포크를 개선하여 주는 값이 되고 셋째항은  $f[s(2-s)]$ 의 함수로 起動토포크의 값을 개선하여 주는 값이 된다.

(3) Double-Field 回轉磁界型等價回路

지금, 單相電動機는 正方向토포크와 逆方向토포크의 값이 각각 작용하여 그 중합적인 토포크가 한 방향으로 작용한다. 그러므로 Morrill의 Double-field 磁界型等價回路로서 이를 표시하되 Shaded-pole 卷線의 定數에 의하여 변화하는 값을 定性的으로 알기 위하여, O'Kelly의 Hybrid 형동기회로<sup>7)</sup>로 표시하면 그림 4와 같다.

그림 4에서  $I_f$ 와  $I_b$ 의 電流가 중첩되는  $T_{B4}$ 측분로의 임피던스전압의 값에 따라 토포크-속도특성은 현격하게 달라진다. 특히 起動토포크의 改善은 이 분로의 임피던스전압에 의하여만이 행하여진다<sup>10)</sup>. 그런데, 지금  $T_{B4}$ 分路의 等價變壓器의 1次測에는  $Z_B = R_B + jX_{BL} + j(X_{Bm} - \frac{a^2}{\delta^2} X_{Am}) \equiv R_B + jX_L$ 인 Shaded-pole권선의

누설임피던스만이 존재하므로  $T_{B4}$ 分路임피던스電壓은 극히 적은 상태가 된다. 동일한 고정자 철심에 Shaded-pole권선을 하였을 때의 主卷線과 相互리액턴스의 존재는  $Z_B$ 의 값에  $X_{AB}$ 인 리액턴스가 첨가됨으로 非對稱角을  $105^\circ \sim 120^\circ$ 정도로 한 경우가  $90^\circ$ 로 한 경우보다 기동토포크가 개선되는 것은 이러한 임피던스전압이 보다 크기 때문이다. 그리고 커패시터 起動型에서는 여기에 다시  $X_C$ 의 값이 첨가되어 起動토포크 특성은 보다 더 좋은 상태에 있게 되는 것이다.

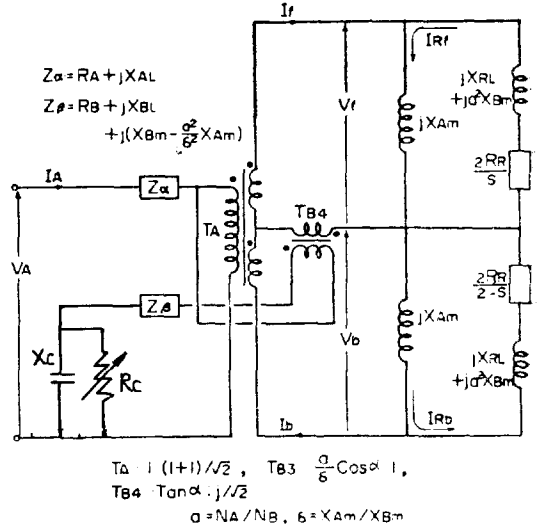


그림 4. 可變 Shaded-pole 單相誘導機의 Hybrid回轉磁界型等價回路

Fig. 4. Hybrid equivalent circuit of movable shaded-pole single-phase induction machine.

3. 動作等性解析과 測定值

지금 Shaded-pole권선의 定數를 변화시켜, 이때의 토포크특성과 Shaded-pole角  $\alpha$ 의 변화에 따른 특성변화를 보기 위하여, 다음과 같은 機械定數를 갖은 供試電動機의 定數에 의하여 먼저 數式的解析을 하고, 이를 供試電動機에 實測하여, 그 결과를 분석해 보기로 한다.

표 1. 單相 Shaded-pole형 twin-stator誘導機의 機械定數

Table 1. Machine coefficient of shade-pole type single-phase induction machine

Stator A (Main winding)			Stator B (Shaded-pole winding)			Common Rotor			
$X_{Am}$	$X_{Al}$	$R_A$	$X_{Bm}$	$X_{Bl}$	$R_B$	$X_{RAL}$	$X_{RBL}$	$R_R$	$\delta/\alpha$
24	1.35	2.0	19	1.45	2.0	1.6	1.5	2.2	1.3

문헌 (15)에 의한 정수측정법에 의한 실측치[ohm]

(1)  $Z_c = R_c + jX_c$ 를 삽입하지않는 경우

이는 단상 Twin stator 유도기만의 경우로 그림 5와 같은 특성을 갖는다. 이 경우는 起動토크가 생기지 않아 實測은 피하였다.

考察 1.

i) 예상한바와<sup>1,2)</sup> 같이 起動토크는 극히 적었으며, Slip 1~0.4의 범위에서는 토크의 값이 극히 적은 반면에 定常토크는 상대적으로 상당히 큰 값을 갖는다.

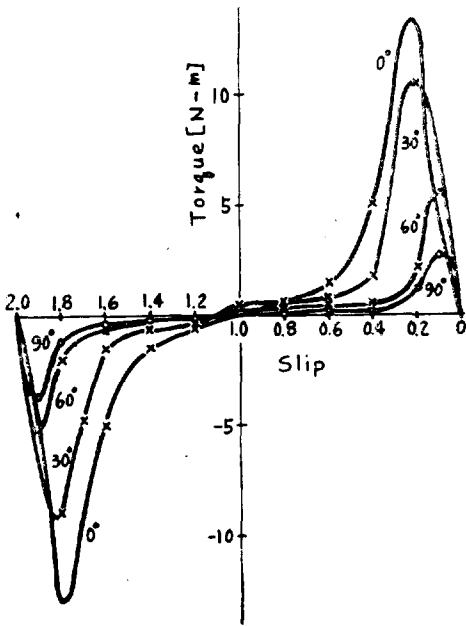


그림 5. 可變 Shaded-pole型으로 개조한 單相 Twin stator 誘導機의 Torque-Speed 특성

Fig. 5. Torque-Speed curve of unsymmetric stator shaded-pole induction machine.

$R_c=0, X_c=0$

ii) Shaded-pole 角  $\alpha$ 가  $0^\circ$ 인 경우가 가장 큰 토크의 값을 갖는다. 이는 純單相電動機의 경우에 해당하며  $\alpha=30^\circ$ 이상의 경우에는 起動의 토크가 낮은 것은 主卷線과 補助卷線과의 相互結合리액턴스  $X_{AB}$ 가 없기 때문이라고 생각한다.

iii) Slip 1인 경우  $\alpha=0^\circ$ 이외는 한쪽방향의 토크가 약간씩 생기는데, 이는 單相電動機가 補助卷線의 極性(여기서는  $\alpha$  및  $\alpha+180^\circ$ )에 따라 回轉方向이 결정됨을 나타낸다고 볼 수 있다.

(2)  $Z_c = R_c + jX_c$ 의 외부임피던스를 삽입한 경우

(4) 식에서 보는 바와 같이 토크특성은  $R_B$  및  $X_B$

에 의하여 변화하는 것은 사실이다. 지금 외부삽입 임피던스  $Z_c$ 는 (4)식에서 Shaded-pole 권선의 저항과 누설리액턴스를 포함한  $Z_B$ 의 값에 첨가시킨 임피던스로 볼 수 있으므로 (4)식  $R_B$  및  $X_B$ 의 값을 변화시킨 결과와 같다. (4)식은 單相電動機의 一般의인 特性에 의하면, 간단한 數式으로 표시하기는 힘들다. 이것이 單相電動機의 解析이 3相電動機에 비하여 획일적인 해석이 되지 않는 원인이다. 여기서도 (4)식과 같이 어느정도 정리한 特性式에서 數值計算에 의하여 이를 해석하기로 하였다.

지금 (4)식의 分母의 제3항은 起動토크에 가장 영향을 많이 주는 항이므로  $[R_B X_R + 2R_R X_B]$ 의 값을 변화시키되 우선  $R_B$ 와  $X_B$ 를 단독으로 변화시킨 결과를 계산한바 그림 6과 같다.

계산 및 측정결과중 가장 토크 특성이 좋은  $\alpha$ 는  $45^\circ \sim 60^\circ$  사이에 있으며,  $R_B$ 와  $X_B$ 의 값에 따라 그 값은 달라졌다. 여기서 다만  $R_B + R_c$ 와  $X_B + X_c$ 의 적정값이 어느정도인가를 알기위하여  $\alpha=45^\circ$ 인 경우만 표시한다. 그리고 토크특성은 定常토크를 감안하되, 주로 起動토크값을 중심으로한 해석방법을 택하였다.

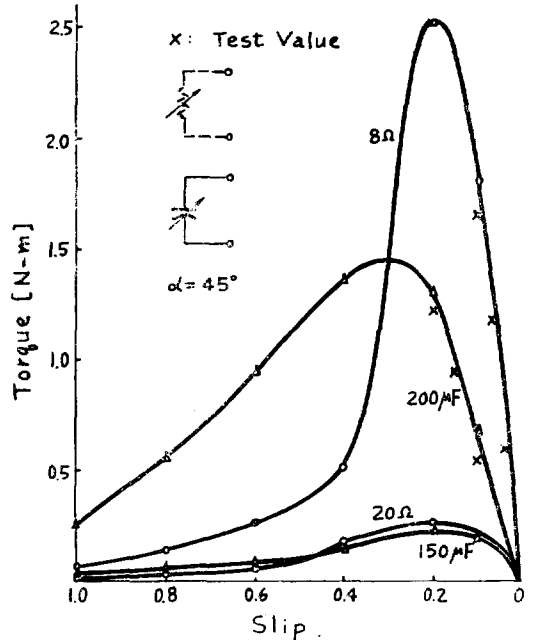


Fig. 6. Torque-Speed curve for external impedance of shaded-pole stator windings: maximum torque at  $\alpha=45^\circ \sim 60^\circ$

考察 2.

i)  $X_c$ 의 값을  $j13[\Omega]$  ( $200[\mu F]$ )한 경우가 가장 起

動토크특성이 좋다.

ii) 이때  $Z_B + Z_C = R_B + j(X_{B1} + X_{Bm}) + jX_C = 2.0 + j12[\Omega]$ 이 값으로, 외부임피던스를 삽입하지 않는 경우,  $Z_B = R_B + j(X_{B1} + X_{Bm}) = 2.0 + j25$ 로서 Shaded-pole측의 勵磁리액턴스  $X_{Bm}$ 의 값을 감소시킨 결과가 되며, 이때 空隙에서의 Slip電力의 一部回收를 의미한다고 볼 수 있다.

iii) 이와같이 勵磁리액턴스의 等價的인 調整은 起動토크의 개선은 하게 되나, 이때 定常토크값은 물론 起動토크값도 쉽게 조정할 수 있음을 알았다.

iv) 이상과 같은 결과는  $R_C$ 의 변화에 의한 특성곡선에서 명백하다. 즉  $R_C$ 를 8[ohm]로 하던가, 20[ohm]로 하여도 起動토크특성은 개선되지 않고, 定常토크만이 저항이 크면 줄어진다. 다시 말하면 이러한 저항에는 에너지의 消耗만 있을 뿐, 에너지의 흐름을 조정하여 주지 못하기 때문일 것이다.

반면에  $X_C$ 의 조정시, Twin stator형과 主卷線과 補助卷線의 相互電氣角이 90°인 경우<sup>3,6)</sup>에는 Slip電力에너지의 전원측에의 흐름은 없더라도, 토크발생을 實効電力의 變換이라고 볼때, 이것과 位相이 90°인 에너지의 蓄積 및 放出의 결과로서, 電源에로의 Slip電力에너지의 흐름과 等價的으로 보는 것이 타당할 것이다.

v)  $X_C = 17[\text{ohm}](150[\mu\text{F}])$ 인 경우는

$Z_B + Z_C = 2.0 + j8$ 로서 Shaded-pole권선의 에너지蓄積이 부족한 경우이고,  $X_C = 5[\text{ohm}](500[\mu\text{F}])$ 일때는 에너지蓄積이 과잉상태여서, 회전자軸에로의 Slip電力에너지變換이 적어졌기 때문이다. 즉 Shaded-pole卷線側의 等價勵磁리액턴스가 줄어지는 결과가 된다. 이들은 커패시터起動電動機에서의 卷線比와 커패시터의 容量간에는 어떤 適定値가 존재할 것이다<sup>3)</sup>고 보는 견해와 일치한다.

(3)  $Z_C = R_C + jX_C$ 의 適定値삽입에 의한  $\alpha$ 각의 영향

그림 7에서와 같이 Shaded-pole권선에  $X_C$ 와 병렬로 可變抵抗  $R_C$ 를 연결한 외부임피던스의 경우,  $R_C$ 를 적당히 조정하여, 가장 좋다고 보는 값( $Z_C = 1.5 +$

j13.5)에서, Shaded-pole각을 변화시켰을때의 토크특성을 살펴본 결과 定常토크값은 물론 起動토크값도 쉽게 조정할 수 있음을 알았다.

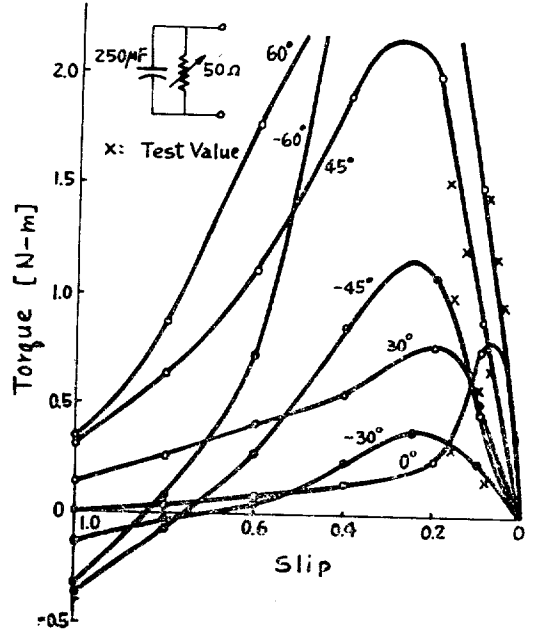


그림 7. 適定한 外部挿入임피던스때의 Shaded-pole角에 의한 Torque-Speed特性的 變化

Fig. 7. Torque-Speed characteristics of Shaded-pole angle change at available external impedance.

考 察 3.

(i) 起動토크가 負인  $\alpha = 0^\circ \sim 60^\circ$ 의 토크특성은 定常토크가 우수하였으며, 이때 있어서의 實測은 먼저  $\alpha = 45^\circ$ 인 상태에서 기동한 후 운전중  $\alpha$ 의 값을 변화시켜(單相 Twin stator 誘導機에서만 가능하며, 이電動機構의 가장 큰 장점임)행하였다.

(ii) 토크—속도특성은 Shaded-pole角과 外部抵抗 및 임피던스로서 운전중 다양하게 변화시킬 수 있었다.

(iii) 가정 適定한 Shaded-pole角은 Shaded-pole卷線定數에 의하여 변화하며, 起動토크特性을 좋게 할려면,  $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 사이가 되고, 定常토크特性을 좋게 할려면  $\alpha = -15^\circ \sim +15^\circ$ 범위가 적당하다.

(iv) 起動特性改善策으로는 (4)식의 제3항중  $[X_R(R_B + R_C) + R_R(X_C + X_B)]$ 의 값을 크게 하면 되는데, 이상의 해석에서  $(R_B + R_C)$ 의 변화는 기대할 수가 없고,  $R_R(X_C + X_B)$ 의 값만을 적정하게 크게 하면 될 것이다. 電動機一般特性에서 回轉子抵抗( $R_R$ )의 변화법은 흔히

쓰나, 이는 効率면에서 나쁜 결과를 갖어 온다는 것은 다하는 사실이다. 그러나, 이상과 같은 분석에서 보면,  $R_k$ 의 변화나 ( $X_c + X_B$ )의 변화가 거의 같은 효과를 나타내고 있으므로, 効率면으로 보면 에너지의 非消耗성이 리액턴스  $X_c$ 의 변화가 더 좋은 효과를 갖어 올 것이고, 운전중에도 임의로 변화시킬 수 있는 장점을 아울러 갖고 있다.

#### 4. 結 論

1) Shaded-pole角은 機構定數에 따라 適定値가 달라짐은 사실이나, 起動特性과 定常特性중 어느 것을 중요시하느냐에 따라서 그 適定値算定이 달라지며, 起動特性을 우수하게 할려면  $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ , 定常特性을 좋게 할려면  $\alpha = -15^\circ \sim +15^\circ$ 가 적당하다.

2) 一定한 適定 Shaded-pole角에서도 Shaded-pole 卷線의 임피던스의 조정, 즉 커패시티브·리액턴스 調整으로 起動特性 및 定常特性을 運轉중에 改善할 수 있다.

3) 起動時에 Shaded-pole角 및 Shaded-pole 卷線定數의 조정으로 正逆回轉이 가능하다.

4) 補助卷線の 역할은 다만 起動側範圍의 토오크 특성만을 개선하고, 이때는 定常特性을 나쁘게 하는 效果를 갖는다는 사실을 명백히 하였다.

끝으로 이상과 같은 特性解析은 最適設計를 위하여 定性的으로, 그리고 에너지變換過程면에서의 基礎的인 概念을 확인하는데 중점을 두었음을 밝혀 둔다.

本研究은 文教部研究助成費의 뒷받침에 의하여 이루어 졌다.

#### 參 考 文 獻

- 1) O.I. Butler, A.K. Wallace, "Generalised Theory of Induction Motors with Asymmetrical Windings and Its Application to the Analysis and Performance Prediction of Shaded-pole Motors" Proc. IEE, Vol.115, No.5, May 1968, pp. 685~695.
- 2) Venkata V.Sastry, Mayuram R.Krishnaurthy "Generalized Theory for the Starting Performance of Single-phase Induction Motor with Asymmetrical Windings" IEEE Trans. P-A-S, Vol. PAS-89.
- 3) L.W.Buchanan, T.F.Winters, "Auxiliary Phase Design for Capacitor Start Motors" IEEE Trans. on P-A-S, Vol.PAS-84, No.11, Nov. 1965, pp.993~998.
- 4) K.Y.Tang, R.L.Cosgriff "Two Axis Method

- of Analyzing Electric Machines" AIEE Trans. Vol. 74, Feb. 1955 pp.1449~1455.
- 5) L.W.Buchanan, "An Equivalent Circuit for a Single-Phase Motor having Space Harmonics in Its Magnetic Field" IEEE Trans. P-A-S, Vol. PAS-84, No.11, Nov.1965, pp.999~1007.
- 6) K.Hayashi, F.Funahashi, "The Starting Characteristics of Capacitor Motor with Nonquadrature Stator Windings" JIEEJ, Vol. 79, No.851, Aug.1959, pp. 1014~1021.
- 7) Toshio.Koike, "Torque Characteristics of Capacitor Motors with Winding not in Quadrature" Hitachi Hyorow, Vol. 50, No.6, June. 1968, pp. 512~516.
- 8) G.Sridhara. Rao, Venkata V.Sastry, P. Venkata, Rao, "Two-Speed Single-winding Shaded-pole Single-phase Induction Motors" IEEE Trans. P-A-S, Vol. PAS-89, No.6, July/Aug. 1970, pp. 1308~1321.
- 9) 黃煥文 "單相 Twin Stator 誘導機의 特性解析에 관한 研究" 대한전기학회지 Vol. 21, No.3, May 1972, pp.7~18.
- 10) P.C.Krause, "Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines" IEEE Trans. on P-A-S, Vol. PAS-84, No.11, Nov. 1965, pp.1025~1037.
- 11) W.Shepherd, J.Stanway "Slip Power Recovery in an Induction Motor by the Use of a Thyristor Inverter" IEEE Trans. I-G-A, Vol. IGA-5, No.1, Jan/Feb. 1969, pp. 74~82, No. 4, April 1970, pp.652~662.
- 12) 朴旻鎭, "非對稱卷線軸單相電動機의 等價回路에 關係서" 대한전기학회지 Vol.21, No.1, Jan. 1972, pp.7~12.
- 13) Denis O'kelly, "Equivalent Circuits for Single-phase Induction and Hysteresis Motors" IEEE Trans. P-A-S, Vol.PAS-90. No.1, Jan/Feb. 197, pp.279~288.
- 14) D.D.Hershberger, J.L.Oldenkamp "A Single-phase Induction Motor with One Distributed Winding" IEEE Trans. on P-A-S, Vol. PAS-87, No.10, Oct. 1968, pp.1862~1866.
- 15) K.Kato, K.Tsuboi, "On the Form of the Magnetic Field of a Single-phase Induction Motor vs Its Slip" JIEEJ, Vol.91, No.4, April 1971, p. 699.