

## 위상각과 전압제어에 의한 단상유도전동기의 기동특성

성경민 박수강 최연옥 조금배 오금곤 백형래\* 박해암\*\*

\* 조선대 전기공학과 \*\* 광주보건전문대

### The Starting Characteristics of Single Phase Induction Motor by Control of Phase and Voltage

K.M.Sung S.K.Park Y.O.Choi G.B.Cho K.G.Oh H.L.Baek\* H.A.Park\*\*

\* Chosun University \*\* Kwangju Health Institute of Science

#### ABSTRACT

The starting characteristics of single phase induction motor(SPIM) is described by control of phase and voltage. Auxiliary winding voltage is controlled by DC amplifier and phase is integrator.

These processes enable comparison of torque with slip in each voltage and phase angle variations.

Simulation and experimentation results of the motor's torque-slip characteristics using the controlled auxiliary winding voltage and phase angle are shown and discussed.

As a results, starting time is fast and main winding current is small when auxiliary winding voltage is low than rating voltage and starting characteristics is good in phase angle 90°.

#### 1. 서론

단상유도전동기는 1차 단상권선에 의한 교번자계이기 때문에 기동 토크가 발생하지 않아 스스로 회전하지 못하나 어떠한 방법으로 외부에서 한쪽 방향으로 회전시키면 그 방향으로 토크가 생기고 전동기는 회전하게 된다.

이러한 기동 토크를 만들기 위하여 단상권선 외에 기동권선 등 기동장치를 가지고 있으며 주권선에서 자기적으로 전기 각 90° 정도로 떨어져 위치하는 보조권선을 배치하고 주권선과 병렬로 접속한다.

본 논문에서는 단상유도전동기의 기동장치로 사용하고 있는 콘덴서나 원심력스위치 등을 제거하고 기동시키기 위한 구동방법을 연구하기 위해서 위상각과 전압제어에 의한 단상유도전동기 특성 및 기동특성을 고찰하였다.

#### 2. 등가회로

그림 1의 등가회로는 2회전자계 이론(Double Revolving Field Theory)을 이용한 보조권선을 가진 단상유도전동기의 단권선의 모델을 나타낸다. 여기에서 평균토크는 식 (1)과 같다.

$$T = [ I_m^2 + (aI_a)^2 ] (R_f - R_b) + 2aI_a I_b (R_f + R_b) \sin \varphi \quad (1)$$

식 (1)에 의해 토크는 위상각  $\varphi$ 와 전류 및 전압제어에 의해 변화될 수 있음을 알 수 있다. 여기에서 전동기 순방향, 역방

향 임피던스는 식 (2)와 같이 정의한다. 여기에서  $R_1$ 과  $X_1$ 은 고정자 권선저항과 누설리액턴스,  $R_2$  그리고  $X_2$ 는 회전자 저항과 누설리액턴스를 나타내며  $X_m$ 은 자화리액턴스를 나타낸다.

$$\begin{aligned} R_f &= \left( \frac{R_2 X_m^2}{2s} \right) \cdot \frac{1}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2} \\ R_b &= \left( \frac{R_2 X_m^2}{2(2-s)} \right) \cdot \frac{1}{[ R_2/(2-s) ]^2 + (X_2 + X_m)^2} \\ X_f &= \left( \frac{X_m}{2} \right) \cdot \left[ \frac{(R_2/s)^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2} \right] \\ X_b &= \left( \frac{X_m}{2} \right) \cdot \left[ \frac{(R_2/(2-s))^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/(2-s))^2 + (X_2 + X_m)^2} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

고정자전압은 그림 2의 등가회로에서 임피던스와 전류를 사용하여 얻게 된다.

$$V_m = I_m Z_1 + I_a Z_3 \quad (3)$$

$$V_a = I_m Z_4 + I_a Z_3$$

$$Z_1 = R_{1m} + R_f + j(X_{1m} + X_f + X_b)$$

$$Z_2 = -ja[(R_f - R_b) + j(X_f - X_b)] \quad (4)$$

$$Z_3 = \{ R_{1a} + a^2(R_f + R_b) \} + j\{ (X_{1a} + a^2(X_f + X_b)) \}$$

$$Z_4 = ja[(R_f - R_b) + j(X_f - X_b)]$$

위의 방정식을 사용하여 전류에 대한 전압방정식을 식 (5)와 같이 얻게 된다.

$$I_m = (V_m Z_3 - V_a Z_2) / Z_d \quad (5)$$

$$I_a = (V_a Z_1 - V_m Z_4) / Z_d$$

여기에서  $Z_d = Z_1 Z_3 - Z_2 Z_4$ 이다.

#### 3. 시스템 구성

본 시스템의 구성은 상시전원을 투입할 수 없으므로 보조권선의 위상각과 전압제어 중 하나가 각각 선택되어 동작이 개시되면 SSR에 ON신호를 가하여 보조권선과 동시에 전원이 투입되도록 안전성을 확보하여 전원을 인가하였다. 위상제어는 연산증폭기 적분회로를 응용하여 R과 C값에 따라 지연된 위상차각 20° ~ 90° 범위에서 10° 단위로 발생시켰고, 전압제어는 구동시스템의 입력을 8개로 한 가산기를 사용하여 연

은 하나의 출력은 MC1408의 듀얼 연산증폭기를 사용하였으며 위상차 신호를 배율적으로 조정하여 선택된 위상차 신호를 1배, 2배, 4배, 8배로 각각 증폭하고 다시 이들 배합하고 증폭함으로써 전원전압을 1~15단계로 나누어 전압제어가 가능하도록 하였다. 보조전선에 인가할 최종신호는 다림본회로를 채용하여 임피던스 변화에 의한 전력이득과 전압이득을 동시에 얻도록 구현하였으며 구동회로의 이득이 30배인 DC증폭기로 전압전류를 증폭하여 보조전선의 구동전원으로 사용하였다. 시스템제어는 IBM PC와 I/O 인터페이스로 구성되어 구현한 전체 시스템 구성 블록도는 그림 2와 같다.

#### 4. 시뮬레이션

단상유도전동기의 기동특성을 검토하기 위해서 전압가변과 위상각을 가변하면서 시뮬레이션 하였다.

그림 3은 위상각을 90°로 고정하고 전동기의 입력전압을 가변할 때의 토크-슬립 특성을 나타내며 전압이 커질수록 토오크가 크게 됨을 알 수 있다. 그림 4는 주전선과 보조전선의 위상차에 따른 토크-슬립 특성곡선을 나타내며 기동시 주전선과 보조전선의 위상차가 90°일 때 가장 큰 토오크를 발생하고 있음을 알 수 있다.

#### 5. 실험결과

단상유도전동기의 토크와 속도특성을 측정하기 위해 전기동력계를 사용하였으며 기존의 콘덴서 기동 단상유도전동기 실험과 전동기의 콘덴서를 제거한 상태에서 DC AMP로 보조전선 전압을 가변공급하고, 적분기로 두 전선의 위상차를 가변하여 실험하였다. 그리고, 시스템의 제어는 C언어로 프로그래밍된 IBM PC를 사용하였다. 주 측정장비로는 기동시와 정상운전시 주전선과 보조전선의 전압과 전류, 위상차 그리고, 기동시의 토크와 속도를 측정하기 위해서 LeCroy 9504A DSO를 사용하였고, 전동기의 입력, 역률, 임피던스, 주전선과 보조전선의 전압과 전류값을 측정하기 위해 PM3000 Power Analyzer를 사용하였으며 전류 측정은 Hall CT를 이용하였다. 본 실험에 사용한 콘덴서 제거 전동기의 부하시 기동특성 실험결과는 위상차가 90°, 80°일 때 기동시간은 보조전선 전압에 관계없이 비교적 기동시간이 짧았으며, 위상차가 90°에서 보조전선 전압이 54V, 60V, 80V, 87V일 때가 비교적 주전선 전류가 적음을 알 수 있었다. 그림 5는 주전선과 보조전선의 위상차가 90°이고, 보조전선 전압을 100V, 60V로 가할 경우 주전선 전류(CH 1)와 보조전선 전류(CH 2), 토크(CH 3)와 속도특성 곡선(CH 4)을 나타내며 보조전선 전압이 60V일 때가 비교적 기동특성이 양호하였다. 그림 6, 7은 보조전선 전압을 20V에서 100V까지 가하고, 위상차를 90°, 80°, 70°, 60°로 가변함에 따라 주전선 전류변화와 기동시간 변화를 나타낸다.

#### 6. 결론

부하시에 콘덴서를 제거한 전동기의 위상각과 전압제어에 의한 단상유도전동기의 기동특성을 실험한 결과는 다음과 같다. 위상차가 60°에서의 기동시간은 위상차가 90°, 80°, 70°의 기동시간과 차이가 있고 위상차가 90°, 80°에서의 기동시간은 보조전선 전압에 관계없이 대체적으로 기동시간이 짧았고 위상차가 90°에서 보조전선 전압이 54V, 60V, 80V, 87V일 때가 비교적 주전선 전류가 적었다. 위상차가 60°에서 보조전선전압이 34V 이하부터는 기동되지 않았고 보조전선 전류는 대체적으로 보조전선 전압에 비례하여 증가하였다. 보조전선 전압이 상용전압인 100V보다 낮아도 콘덴서를 제거한 전동기는 우수한 기동특성을 보였다.

#### 참고문헌

- (1) E. R. Collins, Jr., H. B. Puttgen, W. E. Sayle, "Single-Phase Induction Motor Adjustable Speed Drive Direct Phase Angle Control of the Auxiliary Winding Supply", IEEE, pp.246~252, 1988.
- (2) Abdollah Khoei, S. Yuvarajan, "Steady State Performance of a Single Phase Induction Motor Fed by a Direct ac-ac Converter", IAS pp. 128~132, 1989.
- (3) U. Reggiani, C. Tassoni, G. Figalli, "Analysis of an Inverter-Fed Single-Phase Induction Motor Drive", pp. 275~281, 1993.
- (4) Tian-Hu Liu, Pi-chieh Wang, "Implementation of a Single Phase Induction Motor Control on a DSP Based System", PESC pp. 514~521, 1994.

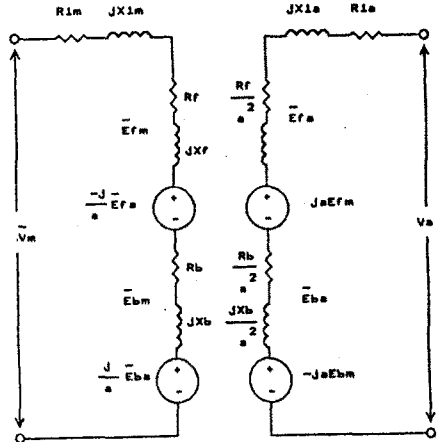


그림 1. DRFT를 이용한 동가회로

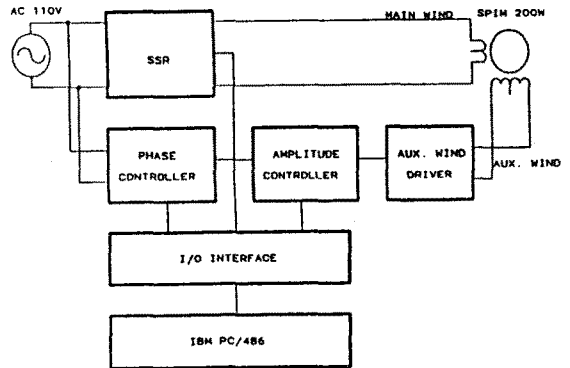


그림 2. 전체 시스템 구성블럭도

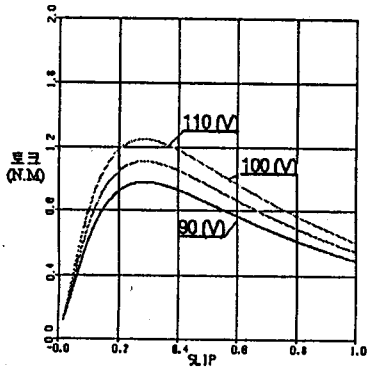
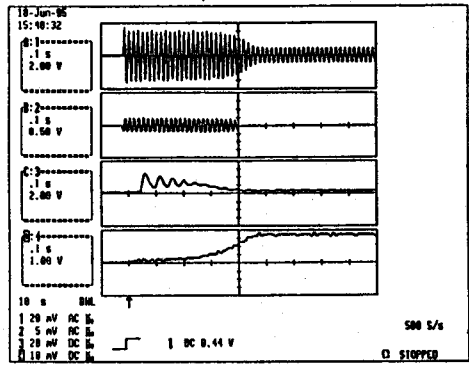


그림 3. 전압가변에 따른 토크-슬립 특성



(Time/div: 0.1s)

(b)  $V_a=60V, \phi=90^\circ$

그림 5. 기동특성실험

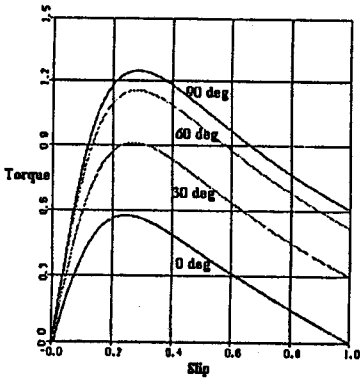


그림 4. 위상각에 따른 토크-슬립 특성

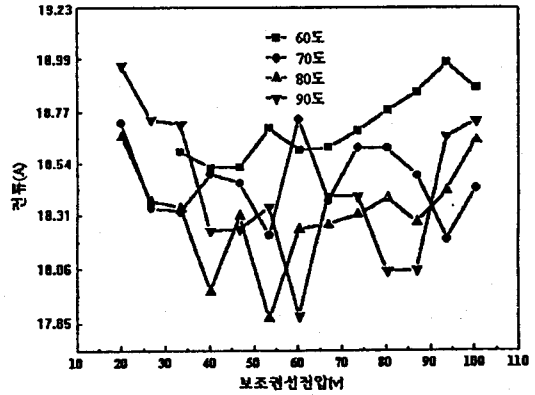
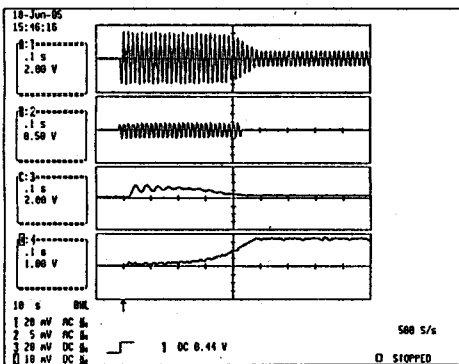


그림 6. 주전선 전류의 변화



(Time/div: 0.1s)

(a)  $V_a=100V, \phi=90^\circ$

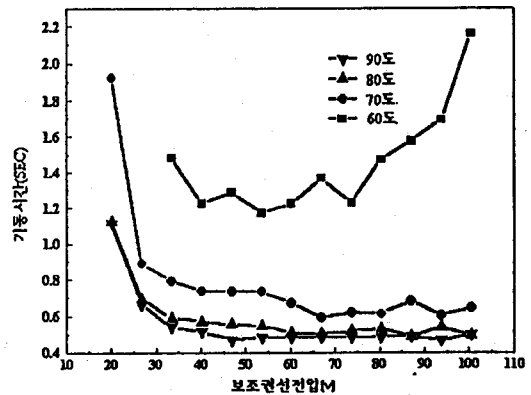


그림 7. 기동시간의 변화