

# 원칩 마이컴을 이용한 단상유도전동기의 주권선 제어에 관한 연구

論 文  
49B-1-11

## A Study on the Main Winding Control of Single Phase Induction Motor using One-Chip Micom

朴 秀 剛\* · 白 亨 來\*\*  
(Su-Kang Park · Hyung-Lae Baek)

**Abstract** - This paper describes a one-chip micom controller and phase angle control method for self-starting and energy saving of single-phase induction motor. The proposed method is based on the optimal efficiency control which is running by variable phase angle of main winding current such as to maintain the maximum efficiency characteristics of the motor, in voltage control with TRIAC. Experiments are focused on a capacitor starting single-phase induction motor. The optimal energy saving by variable phase angle control are verified by experimental results. Also, auxiliary winding was controlled by electronic starting switch.

**Key Words** : Energy saving, Maximum efficiency, Variable phase angle control, Electronic starting switch

### 1. 서 론

현대산업사회의 급속한 발달과 더불어 제반설비에 수요되는 전기에너지는 지속적으로 증가되고 있음에 따라 에너지의 절약과 공산품의 생산비를 낮추기 위해 고성능, 고효율의 전력기기 개발이 절실히 요구되고 있다. 최근 단상유도전동기 업계에서도 기존의 전동기 보다 효율이 뛰어나고 소형화로 저가의 신뢰성 있는 구동시스템의 개발을 기대하고 있다. 단상유도전동기는 구조가 간단하고 취급이 간편하므로 선풍기, 냉장고, 쿨러, 펌프, 세탁기 등 가정용 전기 기기로서 널리 사용되고 있다. 이 중 커패시터 기동형 단상유도전동기는 기동토크가 크다는 장점으로 산업용의 소 용량 동력장치 등에 널리 이용되고 있고 생산보급양도 대단히 많아 소비되는 전력은 많은 비중을 차지한다. 그러나 기동 토크를 발생시키는 외부 기동장치인 기계적인 원심력스위치의 성능저하는 과전류, 과 전압으로 인한 커패시터의 손상에 이어 기동불능으로 전동기의 코일이 손상될 뿐만 아니라 부하에 치명적인 손상을 줄 수도 있다[1]. 전동기의 운전효율은 보통 80~100[%]의 중 부하일 때에 최고의 효율을 가지도록 설계되어 있으나 전동기가 항상 정격부하로 운전되지는 않으며 경 부하일 때에는 효율 및 역률의 저하가 더욱 두드러진다[2]. 따라서 경 부하일 때에는 높은 효율로 운전되도록 부하특성에 적합한 효율개선방안이 이루어져야한다[3]. 또한 단상유도전동기는 PWM 인버터 방식과 같은 고가의 드라이브 장치에 의한 제어는 저가인 단상유도전동기를 사용할 경우 경제적이지 못하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 범용, 저가이고 제

어장치를 간편하게 특수 용도화를 이룰 수 있는 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC16C71을 이용하여 다양한 위상각 제어를 단상유도전동기에 적용한다. 전동기가 정격부하 이하에서 운전될 때 과도한 입력전력의 투입으로 인한 저 효율 특성을 개선하고자 부하변동에 추종한 가변 위상각 제어를 적용하였고 효율향상과 에너지 절감효과를 실험을 통해 입증한다. 또한 전동기의 기동특성까지 고려한 소형의 전자적인 기동스위치를 보조권선의 개폐에 적용하여 기동이 빈번한 상태에서 발생하는 과도현상으로 인한 전력손실을 줄이고 기기의 수송을 예방하고자 한다.

### 2. 단상유도전동기의 기동원리 및 수학적 모델

단상유도전동기는 기동장치 없이 그 자체만으로는 회전자계가 발생되지 않아 기동할 수 없다. 그러므로 정지된 단상유도전동기를 기동하기 위해서는 어떠한 방법으로 외부에서 한쪽 방향으로 회전시키면 그 방향으로 토크가 발생되어 전동기가 회전하게 되는데 이러한 기동 토크를 만들기 위해 단상권선 외에 기동권선을 가지고 있으며 기동이 완료된 후 전속도의 약 75[%]에 도달하면 원심력스위치의 개로에 의해 기동권선은 회로로부터 분리되고 전동기는 운전권선만으로 동작하게 된다.

그림 1은 커패시터 기동 단상유도전동기의 회로도이며 주권선의 전류를  $i_{qs}^s$ , 보조권선의 전류를  $i_{ds}^s$ 라 하면 T형 등가 회로도도 그림 2의 (a), (b)와 같이 나타낼 수 있다[4, 5].

주권선 전압은 다음 식(1)과 같이 나타내며,

$$V_{qs}^s = V_s \quad (1)$$

보조권선 전압은 다음 식(2)와 같이 나타낸다.

$$V_{ds}^s = V_s - \frac{1}{C} \int i_{ds}^s dt \quad (2)$$

\* 正 會 員 : 朝鮮大 大學院 電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 9月 9日

最終完了 : 1999年 11月 30日

### 3. 단상유도전동기의 특성해석

단상유도전동기의 T형 등가회로에서 제안한 d-q 모델을 이용하여 전동기의 구동특성을 시뮬레이션 하였다. d-q 모델을 이용한 동적상태 시뮬레이션은 전동기의 구동특성을 상대적으로 나타낼 수 있어 전동기의 주권선 전류, 보조권선 전류 및 토오크와 속도특성을 알 수 있었다.

시뮬레이션에 사용된 전동기는 4극 단상유도전동기 1/4[HP], 220[V], 60[Hz]의 전동기로 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 전동기 파라미터

Table 1 Parameters of motor

$R_1$	3.48[Ω]
$X_1$	5.316[Ω]
$Z_m$	5.387[Ω]
$X_m$	41.993[Ω]
$R_2$	5.873[Ω]
$X_2$	9.215[Ω]
$Z_a$	10.928[Ω]

본 논문에서는 단상유도전동기의 운전특성 개선에 적합한 기동상태를 고찰하기 위해 3가지 방식의 기동특성을 시뮬레이션 하였다. 먼저 기존의 단상유도전동기의 구동방식인 주권선 전압과 보조권선 전압의 위상차를 최대의 토오크가 발생하는 90° 에 두고 기동하여 주권선과 보조권선 전류를 제어 없이 그대로 전동기에 투입하는 방식이다. 이와 같은 기존의 방식은 정격부하 이하에서 전동기가 기동했을 때는 과도분의 에너지가 포함된다. 또한 일반적으로 소프트 기동방식에 주로 사용되는 주권선 제어는 적은 입력전류로 기동하여 서서히 전류를 증가시키는 방식이다. 이 방식은 전동기가 운전되는 시점부터 점차적으로 위상각을 변화시켜야 되며 단상유도전동기의 특성상 입력전류가 유입되는 주권선 전류와 보조권선 전류의 위상차가 기동 커패시터의 용량에 따라 차이가 있지만 약 45°의 위상차가 생기므로 주권선 전류의 위상각 제어만 할 경우 보조권선 전류의 왜형이 생긴다. 그러므로 본 논문에서는 주권선 제어와 병행하여 같은 방법으로 보조권선을 제어함으로써 3상 유도전동기에 비해 제어범위가 적은 단상유도전동기의 제어범위를 넓히고 가장 향상된 전동기의 구동특성을 고찰하고자 한다. d-q 모델에서 전동기의 주권선 전류를 IQSS, 보조권선 전류를 IDSS, 토오크를 TE와 속도를 WRPM로 나타낸다. 그림 3은 기존 전동기의 특성으로 운전시 주권선에 흐르는 전류는 기동전류의 1/3정도인 6[A]로 감소된다. 이때 보조권선 전류는 동기속도의 70~80[%]인 1260[rpm]에서 차단됨을 알 수 있다. 보조권선 전류와 합산된 입력전류인 주권선 전류는 기동시에는 운전전류보다 3배 가량의 전류가 흐르므로 큰 기동 토오크를 발생시킬 수 있고 속도를 급속히 상승시킨다. 하지만 이때 흐르는 18[A]가량의 전류는 전동기의 구동에 필요한 전류보다 그 이상의 과도한 성분을 포함한다. 그러므로 소프트한 상승형태의 제어를 주권선 전류의 시작부분에 적용하여 과도분의 토오크가 감소됨을 그림 4에서 알 수 있다. 그림 5는 주권선과 보조권선을 동시에 제어했을 때 특성으로 기존전동기나 주권선 제어만으로 전동기를 구동했을 때의 특성과 비교해서 운

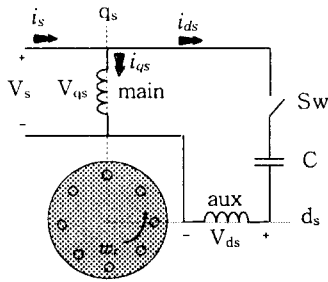


그림 1 커패시터 기동 단상유도전동기의 회로도  
Fig. 1 Schematic circuit diagram of capacitor start SPIM

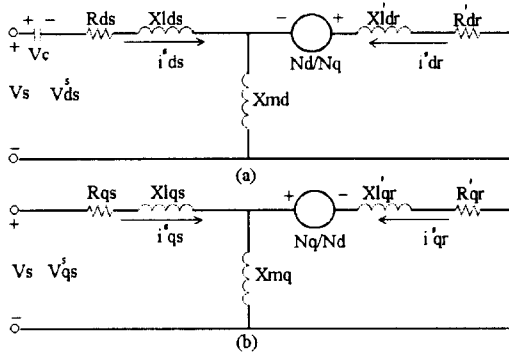


그림 2 T형 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit of T type

위의 T형 등가회로의 전류의 방향을 화살표 방향으로 하여 전압방정식을 세우면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{qs} &= (R_{qs} + \frac{p}{\omega_b} X_{qs}) \cdot i_{qs}^s + (-\frac{p}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i_{qr}^s \\
 V_{ds} &= (R_{ds} + \frac{p}{\omega_b} X_{ds}) \cdot i_{ds}^s + (-\frac{p}{\omega_b} X_{md}) \cdot i_{dr}^s \\
 0 &= (-\frac{p}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i_{qs}^s - (\frac{N_q}{N_d} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{md}) \cdot i_{ds}^s \\
 &+ (R_{qr} + \frac{p}{\omega_b} X_{qr}) \cdot i_{qr}^s - (\frac{N_q}{N_d} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{dr}) \cdot i_{dr}^s \\
 0 &= (\frac{N_d}{N_q} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{mq}) \cdot i_{qs}^s + (-\frac{p}{\omega_b} X_{md}) \cdot i_{ds}^s \\
 &+ (\frac{N_d}{N_q} \cdot \frac{\omega_r}{\omega_b} X_{qr}) \cdot i_{qr}^s + (R_{dr} + \frac{p}{\omega_b} X_{dr}) \cdot i_{dr}^s
 \end{aligned} \quad (3)$$

각각의 전류는 다음 식(4)로 계산할 수 있다[5, 6].

$$\begin{aligned}
 i_{ds}^s &= (\lambda_{ds} - \lambda_{dm}) / L_{lds} \\
 i_{qs}^s &= (\lambda_{qs} - \lambda_{qm}) / L_{lqs} \\
 i_{dr}^s &= (\lambda_{dr} - \lambda_{dm}) / L_{ldr} \\
 i_{qr}^s &= (\lambda_{qr} - \lambda_{qm}) / L_{lqr}
 \end{aligned} \quad (4)$$

위 전류의 값에 의해서 토오크는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{P}{2} \frac{N_d}{N_q} \frac{X_{mq}}{\omega_b} (i_{qs}^s \cdot i_{dr}^s - i_{ds}^s \cdot i_{qr}^s) \quad (5)$$

P : 전동기의 극수 (pole)

전시작부분에서 토오크의 리플감소와 소프트한 토오크의 증가 및 속도의 상승을 알 수 있다.

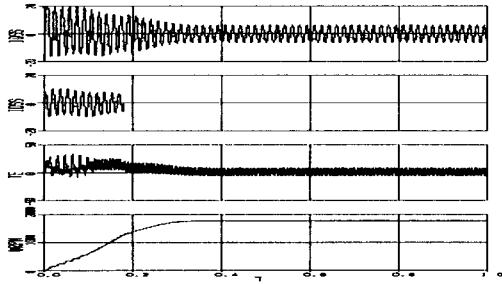


그림 3 기존의 기동방식에 따른 기동특성  
Fig. 3 Starting characteristics with conventional starting method

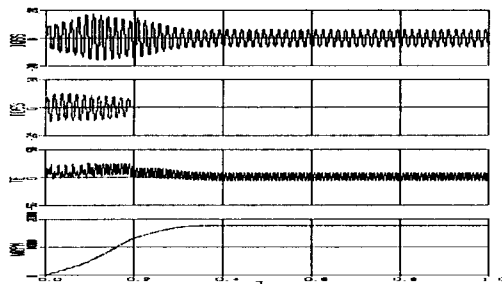


그림 4 주권선 제어시 전동기의 기동특성  
Fig. 4 Starting characteristics of motor with main winding control

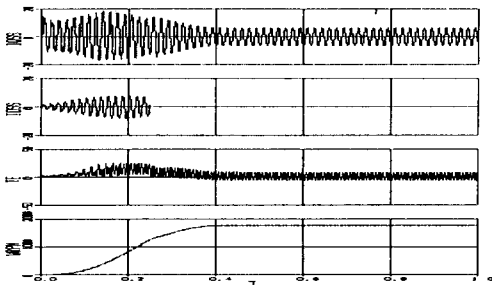


그림 5 주권선과 보조권선 제어시 전동기의 기동특성  
Fig. 5 Starting characteristics of motor with main and auxiliary winding control

#### 4. 위상각 제어시스템 설계

##### 4-1. 위상각 제어기법

유도전동기의 효율개선방법으로 유도전동기 자체의 구조를 개선하는 기계적인 방법과 운전방식의 개선을 통한 전기적인 방법이 있다. 본 논문에서 제안한 운전방식의 개선을 통한 단상유도전동기의 효율을 향상시키는 방식은 트라이액으로 구성되는 교류전압제어기를 사용하여 입력전류의 위상각 제어방식을 적용하였다.

기존의 위상각 제어방식은 부하상태의 변화와 무관한 일정 제어방식으로 이론적으로 가능한 효율 개선치에 미치지 못하는데 그 이유는 제어기가 최대효율에 해당하는 최적입력전력

을 정확하게 추종하지 못하는데 있다. T.A.Lipo는 경 부하일 수록 효율개선효과가 커짐을 입증하였고 이러한 면에서 일정제어방식은 부하조건에 적절한 최대의 효율로 전동기를 구동하는데 문제가 된다[4].

그림 6은 일반적인 삼각파 비교방식의 아날로그 방식으로 일정 위상각 제어를 할 경우와 본 논문에서 제안한 디지털 제어기로 부하변동에 추종한 가변 위상각 제어를 할 경우의 입력전류(im)의 도통각( $\alpha$ )변화를 비교한다. (a)에서는 일정 위상각 제어의 특성으로 경 부하일수록 도통각이 커져 전동기에 전 전류가 투입되지만 (b)에서는 경 부하시 도통각이 증가하여서 입력전류를 감소시켜 최대의 효율개선효과를 얻을 수 있다.

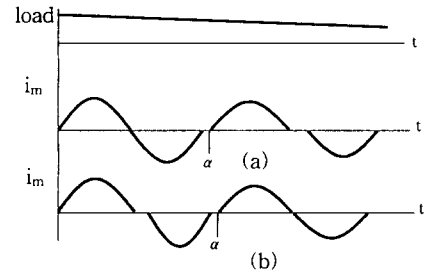


그림 6 위상각 제어에 따른 입력전류특성  
(a) 일정위상각 제어  
(b) 가변위상각 제어  
Fig. 6 Characteristics of Input current with phase angle control  
(a) Constantly phase angle control  
(b) Variable phase angle control

##### 4-2. 시스템 설계

단상유도전동기의 전력절감을 위해 사용된 칩은 A/D 컨버터가 내장되어 있는 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC16C71을 사용하였다. 이 칩은 다양한 교류전력 위상각 제어를 위해 외부단자인 10에서 13번의 0, 1 상태를 딥 스위치로 간단히 바꿈으로써 가변 위상각 제어와 고효율 추종제어, 과도입력 차단제어를 할 수 있도록 설계되었다. 또한 상용주파수의 반사이클인 180° 범위에서 0부터 255스텝까지 0.7°의 분해능을 가지며 펄스를 발생시키고, 정확한 제로크로스 입력시 0.04° 이내의 안정성을 갖도록 설계되었다.

그림 7은 시스템의 구성도를 나타낸다. 입력전원과 동기된 신호를 필터를 거쳐서 원칩 마이크로컨트롤러의 동기신호 입력단자에 투입하고 소형검출기를 통하여 검출된 전동기의 입력전류변화를 원칩 마이크로컨트롤러의 비교신호 입력단자와 보조권선 제어용 전자스위치에 투입하여 전동기의 기동상태와 부하의 변화를 검출하는 구성으로 되어있다.

전류를 검출하는 장치로는 CT와 Hall 센서 등이 사용되는데 일반적으로 CT는 부피가 크며 5[A]이하의 전류를 검출하기에는 감도가 매우 떨어지며 CT를 위한 외부권선이 필요하다. Hall 센서는 소형경량이며 전류감도도 양호하지만 가격이 비싸고 Hall 센서를 위한 외부권선이 필요하다. 본 논문에서는 소형경량이며 저 가격화를 이루기 위해서 제작한 소형 트랜스를 이용한 전류검출기를 사용하였다. 전동기의 입력라인에 연결된 전류검출기는 전동기의 입력전류의 크기에 맞게 소형트랜스의 1차 축의 권선수를 조정하여 시스템의 검출신

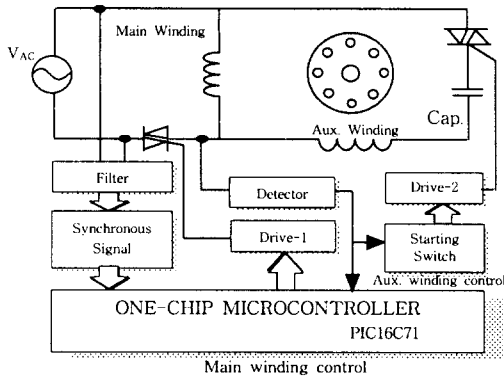


그림 7 시스템 블록도  
Fig. 7 System block diagram

호로 적합한 입력전류에 비례하는 2차 측의 전압신호를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 구동시스템은 3가지의 위상각 제어가 가능하였다. 먼저 주요한 제어방법인 가변 위상각 제어는 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어진다. 이 제어의 목적인 전동기의 부하변화에 따라 트라이액의 트리거 위상각이 변해야 되므로 부하변화에 추종하는 신호를 얻기 위해 소형검출기를 통해 입력전류에 비례하는 전압신호를 얻어 그 신호를 적분하여 직류신호형태로 만든 후 원칩 마이크로컨트롤러의 비교신호 입력단자에 투입한다. 이때 전동기의 부하변화에 따라 비교신호의 레벨이 변하고 이 비교신호의 레벨에 따라 트라이액의 트리거 신호의 펄스폭이 변하므로 가변 위상각 제어를 행할 수 있다.

전동기가 정격부하로 운전할 때는 도통각 0°에서 트라이액의 트리거 신호가 공급되므로 전동기에 전 전압이 입력되고 전동기는 정격부하에서 최대의 효율로 운전된다. 운전 중 전동기의 부하가 감소할 경우 도통각이 0°에서 서서히 증가하여 경 부하시 전동기에 유입되는 과도한 입력전력을 감소시킴으로 효율이 개선된다. 또한 운전 중 속도가 동기속도의 75[%]이하로 감소하면 기동권선인 보조권선이 단락되므로 다시 입력전류가 증가하고 그 부하에 적절한 위상각에서 평균 출력이 결정된다.

고효율 추종 위상각 제어는 기준신호와 소형검출기에서 얻은 비교신호를 비교하는 방식으로 기준신호를 약 2.5[V]로 고정하는데 전동기의 용량에 따라 기준신호를 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 정격부하에서 기준신호를 2.5[V]가 되도록 설계하면 경 부하에서 비교신호가 기준신호 이하로 내려가면 위상지연이 커지고 평균전압이 낮아져 효율이 상승한다. 또한 위상지연이 어느 정도 이상이면 전동기의 속도는 다시 증가하므로 균형이 잡히는 위상각 제어점을 찾는다. 즉, 비교신호가 기준신호인 2.5[V]이하로 감소한다면 트리거 펄스위치는 매 반주기마다 한 스텝씩 증가하고 이때 증가된 도통각에 의해 비교신호가 다시 기준신호인 2.5[V] 이상이 된다면 그 때부터 매 반주기마다 도통각이 작아지게 된다. 그리고 매 사이클마다 1스텝씩 서서히 증감하므로 고속 추종은 어려우나 오히려 난조를 없애는 데는 양호한 특성을 보인다.

전동기는 부하의 상태나 전동기 자체의 문제로 인해 과 부하가 발생하고 기동불능을 초래하는 경우가 생긴다. 과도입력 차단제어는 이상운전이 발생하여 과도한 입력이 전동기에

투입될 경우, 입력에 무관하게 트리거 펄스를 제거할 수 있도록 설계되었고 전동기의 소손을 방지할 수 있었다. 또한 본 논문에서는 전동기의 기동상태 개선을 위해 기존의 원심력스위치 대신에 전자적인 기동스위치를 사용하여 전동기를 기동하였고 보조권선 전류를 소프트하게 제어한다.

구동시스템의 제어 흐름도는 그림 8에 나타내었다. 입력전원과 제로크로스된 동기신호를 입력받고 소형검출기를 통해 검출된 전동기의 입력전류를 전압신호로 변환하여 ADC를 거치면 PWM신호가 발생한다. 그리고 검출신호의 레벨에 따라서 트라이액의 트리거신호의 위상각이 결정된다. 또한 각 모드의 선택에 따라 다른 형태로 제어할 수 있도록 설계되었다.

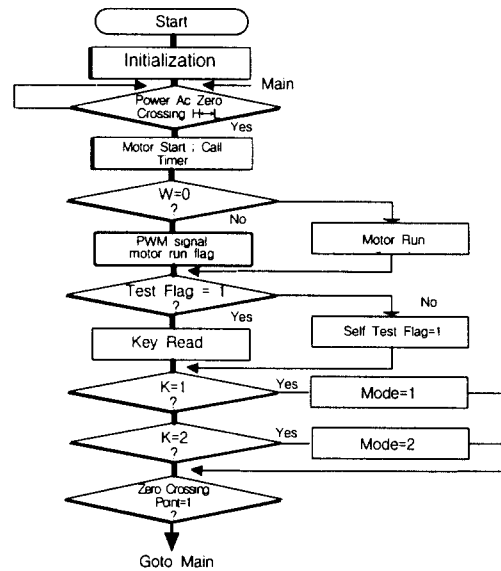


그림 8 시스템의 제어흐름도  
Fig. 8 System flow chart

그림 9는 구동시스템의 전체 회로도를 나타내었고 전원부, 펄터부, 동기신호 검출부, 입력전류 검출부, 트라이액 구동부, 원칩 마이크로컨트롤러로 구성되어 있다.

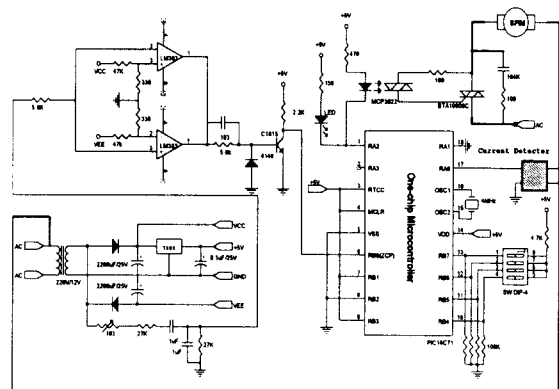


그림 9 가변 위상각 제어시스템 회로도  
Fig. 9 Circuit diagram of variable phase angle control system

5. 실험 및 결과

단상유도전동기의 주권선과 보조권선 전류, 주권선과 보조 권선 전압의 위상과 크기를 측정하기 위하여 DSO LeCroy 9354A와 전류프로브를 사용하였고, PC로 제어되는 2[kW]급 전기 동력계 FR 5ME API와 PM3000A Power analyzer를 사용하여 전동기의 부하가변에 따른 기동과 정상운전시의 효율 및 역률, 입출력 전력, 전류, 속도, 토오크 특성을 실험하였다. 표 2는 실험에 사용한 커패시터 기동 단상유도전동기의 사양을 나타낸다.

표 2 실험 전동기 사양

Table 2 Parameters of experimental motor

정격출력	0.21 [kW]	기동전류	15 [A]
극수	4 [P]	최대토오크	3 [Nm]
정격전압	220 [V]	회전수	1710 [rpm]
정격전류	3 [A]	정동토오크	1.16 [Nm]
주파수	60 [Hz]	기동커패시터	200 [uF]
효율	53 [%]		

그림 10은 원칩 마이크로컨트롤러에 투입되는 입력신호(a), 동기신호(b), 검출신호(c), 트라이액 트리거신호(d)를 나타낸다. 그림 11은 가변 위상각 제어시 전동기의 운전특성으로 출력전압(a), 입력전류(b), 검출신호(c), 트리거신호(d)를 나타내고 이때 부하변동에 따라 검출신호의 레벨 변화로 인해 트리거신호의 도통각이 증가, 감소되고 따라서 입력전류의 위상각이 부하변동에 추종함을 알 수 있다. 그림 12는 부하 감소시 위상각 제어특성으로 전동기가 경 부하로 운전이 될 경우 반주기 지날 때마다 도통각이 점차 증가하여 입력전류는 감소하고 전동기의 속도변동에 지장이 없는 범위까지 위상각을 제어하여 과도한 입력전력을 절감시킨다. 이때 도통각 45°로 제어될 때 전류의 실효값은 2.1[A]이다. (a)는 입력전류이고 (b)는 부하검출신호, (c)는 트리거신호를 나타낸다.

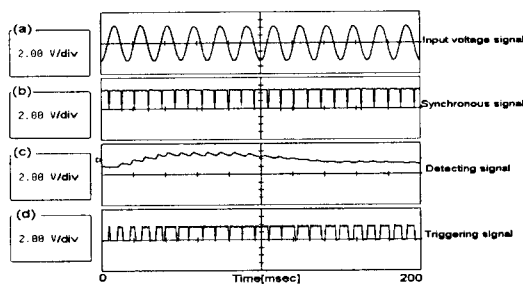


그림 10 원칩 마이크로컨트롤러의 제어신호  
Fig. 10 Control signals of one-chip microcontroller

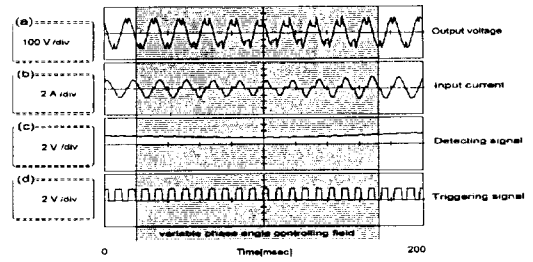


그림 11 가변 위상각 제어시 전동기 운전특성  
Fig. 11 Running characteristics of motor using variable phase angle control

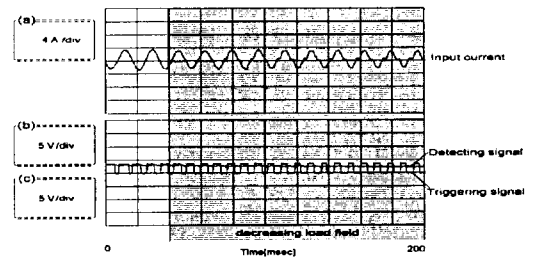


그림 12 부하감소시 위상각 제어 특성  
Fig. 12 Characteristics of phase angle control with decreasing load

본 논문에서는 단상유도전동기의 전력절감을 위해 가변 위상각 제어로 주권선 전류와 보조권선 전류를 동시에 제어하였으므로 주권선만을 제어했을 때 나타나는 보조권선 전류의 왜형을 개선할 수 있었다. 먼저 그림 13은 기존전동기의 기동특성을 나타낸다. (a)는 주권선 전류이고, (b)는 보조권선 전류, (c)는 검출신호, (d)는 트리거신호를 나타낸다. 이때 기동시간은 약 0.07[sec]이고 기동구간의 입력전류의 실효값은 11.4[A], 정상운전시 정격전류의 실효값은 2.3[A], 보조권선전류의 실효값은 6.4[A]이다. 그림 14는 주권선 위상각 제어시 기동특성으로 기동시간은 0.11[sec]이고 기동구간의 전류의 실효값은 8.7[A], 보조권선 전류의 실효값은 4.8[A]이다. 기존 전동기에 비해 기동전류와 보조권선 전류의 절감을 확인 할 수 있다.

전동기의 전 기동구간동안 위상각 제어를 할 경우 토오크의 부족을 초래함으로 기동 시작부분의 처음 3주기까지 위상각 제어가 되고 약 0.3[sec]~0.4[sec]후부터 트리거신호를 다시 투입하므로 기동이 충분히 끝난 후 안정된 시점에서 주권선 제어가 됨을 그림 14와 15에서 확인 할 수 있다. 이때 보조권선 전류에서 나타나는 왜형을 기존의 원심력스위치 대신에 제작한 전자적인 기동스위치를 사용하므로 보조권선 전류의 소프트하고 안정적인 투입을 그림 15의 (b)에서 알 수 있고 기동시간은 0.2[sec]정도로 다소 지연되었으나 보조권선 전류의 실효값은 3.4[A]로 가장 낮게 나타났다. 전반적으로 볼 때 기동시간의 지연은 전동기의 운전에 미치는 영향이 거의 미세함으로 문제가 되지 않았다.

과도입력 차단제어는 가변 위상각 제어로 전동기가 운전되고 있을 때 과 부하나 기동불능시 원칩에서 발생시키는 트라이액의 트리거신호를 제거하므로 전동기에 투입되는 전원을 차단하여 전동기의 소손을 방지하는 특성으로 그림 16에 나

타내었다. 전동기는 과부하나 기동불능시 운전전류의 3~4배 정도의 과도한 기동전류가 그대로 투입되기 때문에 정상기동시 0.1[sec] 동안만 투입되는 큰 기동전류가 지속적으로 흐르고 보조권선은 손상을 입는다. 원칩의 기준신호는 실험전동기가 이상운전시 발생하는 과도한 입력전류의 크기에 미리 설정하고 실제 입력전류의 검출신호가 기준신호보다 클 경우 트리거신호를 제거하게 된다. 그림 17은 고효율 추종모드를 사용했을 때 전동기의 특성으로 기준신호보다 검출신호가 증가하면 전동기의 속도변동에 영향을 미치지 않을 정도에서 미리 프로그램화된 최적의 전력절감점에 설정된 위상각을 추종하기 위해 트라이앵의 도통각이 서서히 변화하고 이에 따라 입력전류의 위상각 제어가 이루어짐을 알 수 있다.

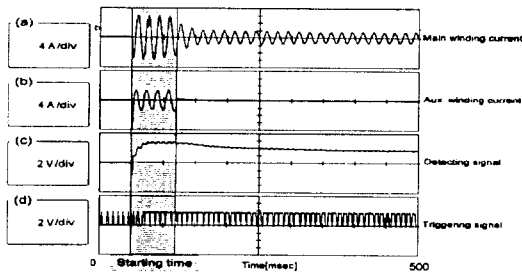


그림 13 기존전동기 기동특성  
Fig. 13 Starting characteristics of conventional SPIM

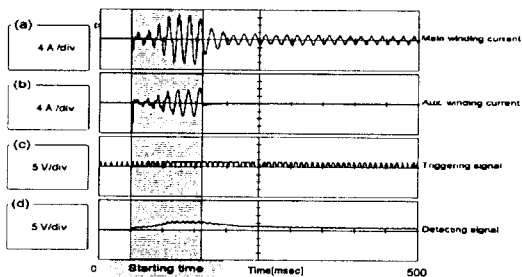


그림 14 주권선의 위상각 제어시 기동특성  
Fig. 14 Starting characteristics with phase angle control of main winding

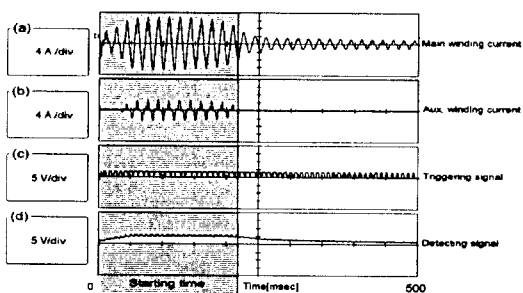


그림 15 주권선과 보조권선전류 위상각 제어시 기동특성  
Fig. 15 Starting characteristics with phase angle control of main and auxiliary winding current

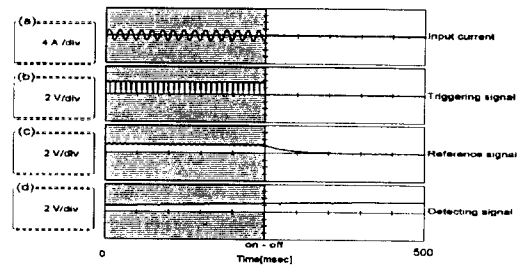


그림 16 과도입력 차단제어특성  
Fig. 16 Characteristics of off control with over input power

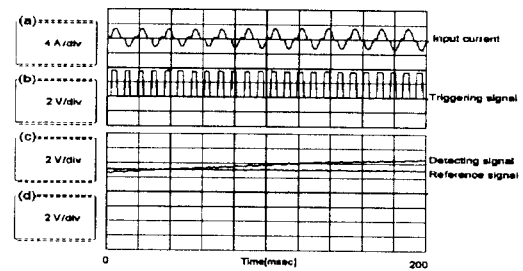


그림 17 고효율 추종제어특성  
Fig. 17 Characteristics of following control with maximum efficiency

본 논문에서는 전동기의 기동특성을 고려하여 기존의 원심력 스위치 대신에 전자적인 기동스위치를 전동기에 적용하였다. 원칩에 의한 주권선 전류의 제어와 전자적인 기동스위치에 의한 보조권선 전류를 제어함으로써 전동기의 기동실패에 영향을 주지 않는 범위에서 과도한 입력전력을 절감하고 출력과 토오크의 맥동을 제거할 수 있었다. 그림 18과 19는 기존전동기와 제안한 전동기의 기동시 입력, 토오크, 출력, 속도의 특성을 나타낸다. 기존전동기의 최대 입력은 2171[W], 출력은 232[W], 토오크는 1.27[Nm]이다. 제안한 전동기의 최대 입력은 1490[W], 출력은 195[W], 토오크는 1.07[Nm]로 기존전동기에 비교해서 681[W]정도 과도한 입력전력이 감소되었다.

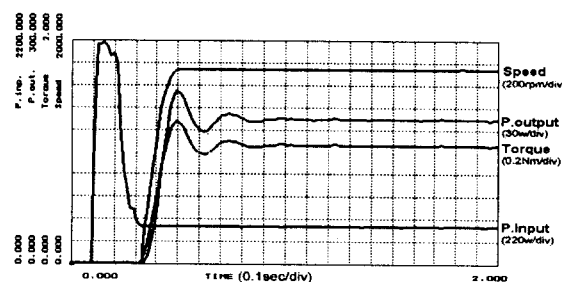


그림 18 기존전동기의 특성곡선  
Fig. 18 Characteristics curves of conventional SPIM  
(Speed : 200rpm/div, P.output : 30w/div, Torque : 0.2Nm/div, P.input : 220w/div)

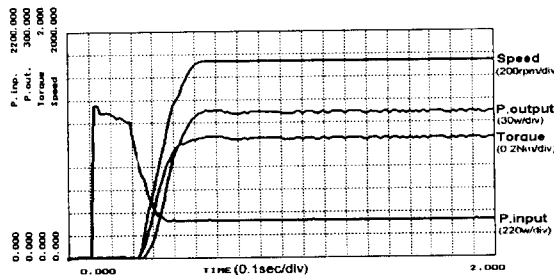


그림 19 제안한 전동기의 특성곡선  
 Fig. 19 Characteristics curves of the proposed SPIM  
 (Speed : 200rpm/div, P.output : 30w/div, Torque : 0.2Nm/div, P.input : 220w/div)

그림 20은 전동기가 정상 운전시 부하율에 따른 효율과 입력전력을 나타낸다. 부하율 25[%]에서는 기존전동기의 효율은 24[%]이고 가변 위상각 제어를 적용한 전동기의 효율은 41[%]로 나타났다. 부하율 50[%]에서는 40[%]와 50[%], 부하율 75[%]에서는 47[%]와 53[%]를 나타낸다. 이와 같이 기존 전동기에 비해서 정격부하 이하의 부하에서는 효율이 최대 15[%]정도가 향상되었다. 또한 효율개선의 최대점인 부하율 25[%]범위에서는 86[W]정도의 입력전력이 절감되었고 전체적으로 정격부하 이하에서 전동기에 공급되는 입력전력의 절감을 확인 할 수 있었다.

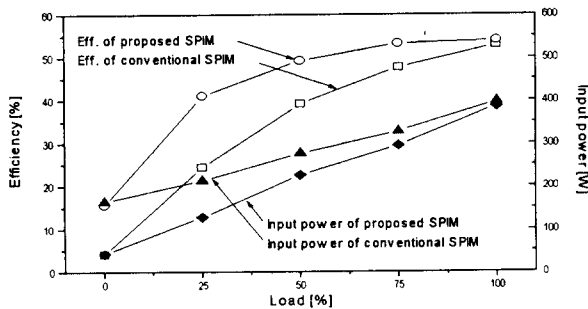


그림 20 효율 및 입력전력특성 그래프  
 Fig. 20 Characteristics graph of efficiency and input power

### 6. 결론

본 논문에서는 전동기의 운전시에 소모되는 과도한 입력전력을 절감하고자 원칩 마이크로컨트롤러를 사용하여 가변 위상각 제어 및 과도입력 차단제어와 고효율 추종제어 등 다양한 교류전력제어를 저가의 소형 구동장치로 구현 할 수 있었다. 이 구동시스템으로 커패시터 기동 단상유도전동기의 운전특성을 개선 할 수 있었고 기존의 기계적인 원심력 스위치의 대신에 전자적인 기동스위치를 전동기의 기동방식에 적용하여 기동시 소음감소와 보조권선의 소프트한 투입으로 전동기의 소손 방지와 불필요한 맥동을 제거할 수 있었다. 또한 정상 운전시 정격부하 이하에서 부하변동에 추종한 가변 위상각 제어로 부하에 적절한 입력전력을 투입하므로 에너지 절감 효과와 효율향상을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

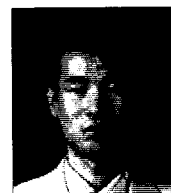
### 감사의 글

본 논문은 1998년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] A. Vandenput, E. Fuchs, J. Höll, J. White, W. Geysen, "Run Capacitor Optimization in Single-Phase Induction Motors", IEEE, Industry Applications Society, pp. 824~830, 1986.
- [2] Hideo Tomita, Toshimasa Haneyoshi, "An Optimal Efficiency Control for Energy Saving of AC Motor by Thyristor Voltage Control", IEEE, IECON, pp. 816~819, 1988.
- [3] 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.
- [4] Eduard Muljad, Yifan Zhao, Tian-Hua Liu, Thomas A. Lipo, "Adjustable AC Capacitor for a Single-Phase Induction Motor", IEEE, Trans., on Industry Applications, Vol. 29, No.3, pp. 479~485, 1993.
- [5] Tian-Hu Liu, Pi-chieh Wang, "Implementation of a Single-Phase Induction Motor Control on a DSP Based System", PESC, pp. 514-521, 1994.
- [6] 백형래, 임양수, "위상각과 전압제어에 의한 단상 유도전동기의 기동특성 개선", 전력전자학회논문지, Vol. 1, No. 1, pp. 20~26, 1996.

### 저자 소개



박수강(朴秀剛)

1972년 4월 24일생. 1995년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 현재 조선대 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 062-230-7020

E-mail : sujin111@stmail.chosun.ac.kr



백형래(白亨來)

1949년 5월 14일생. 1971년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 건국대 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년 현재 조선대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 산학협동 이사.

Tel : 062-230-7030, Fax : 062-225-6072

E-mail : hnbaek@mail.chosun.ac.kr