

## 가변 위상각제어에 의한 에너지절감형 단상유도전동기에 관한 연구

박수강, 백형래, 이상일\*, 임양수\*\*, 최낙일\*\*\*

\*조선대학교 전기·제어계측공학부, \*\*서강정보대학 소방안전관리과, \*\*\*침단시스템

### A study on the Energy Saving SPIM Using Variable Phase Angle Control

Su-kang Park, Hyung-lae Baek, Sang-il Lee\*, Yang-su Lim\*\*, Nak-il Choi\*\*\*

\*Dept. of Electrical Eng. Chosun University, \*\*Dept. of Fire Safety Man. Seokang College

\*\*\*Chumdram System

#### Abstract

This paper describes a simple but effective method for energy saving of ac motors having a widely variable load. The proposed method is based on an optimal efficiency control which is operated by voltage-current pattern such as to maintain the maximum efficiency on the efficiency-output characteristics of the motor, in voltage control with triac. In this paper, authors present the experimental results of the SPIM under controlling of current of main and auxiliary winding by using a one chip microcontroller. Experiments are focused on a capacitor starting single phase induction motor the optimal energy saving are proved by the proposed method.

#### 1. 서론

현대사회의 산업성장과 더불어 제반설비에 있어서 전동기의 응용은 다양성과 변화성을 지니고 있으며 대표적인 전동기는 직류전동기, 유도전동기 등이 있다. 유도전동기에서 단상유도전동기는 구조가 간단하고 취급이 간편하므로 선풍기, 냉장고, 쿨러, 펌프, 세탁기등 가정용 전기기기로서 널리 사용되고 있다.<sup>[1,2]</sup> 이 중 커패시터 기동형 단상유도전동기는 기동토크가 크다는 장점으로 산업용의 소용량 동력장치등에 널리 이용되고 있고 생산보급양도 대단히 많아 대당 용량은 적으나 소비되는 전력은 많은 비중을 차지한다. 그러나 기동시 기동권선을 주권선에서 개로시키는 원심력스위치의 성능저하와 운전시 효율 및 역률

의 저하가 문제시되는데 특히 기동과 운전이 빈번하거나 경부하시에서는 이러한 현상이 더욱 두드러진다. 비록 대당 용량은 적더라도 보급대수가 많으므로 이로 인한 전력손실은 막대하다고 볼 수 있다. 그러므로 경부하시 연속하여 사용되는 용도와 과부하시 기동과 정지가 빈번한 용도에서 전력절감방법으로는 기동이나 운전방법 혹은 부하특성에 따른 효율개선방안이 이루어져야한다.<sup>[3]</sup> 또한 단상유도전동기는 소형이며 거의 분수마력이상에서는 사용되지 않으므로 고가인 드라이브 장치에 의한 제어는 저가인 단상유도전동기 사용할 경우 경제적이 못하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 전동기에서 소모되는 과도한 입력전력을 절감하고자 범용, 저가이고 최근 다양하게 응용되는 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC16C71을 사용하여 다기능 교류전력제어 디지털 위상제어칩을 설계하여 전동기의 정상운전시에만 에너지를 절감하는 기존의 제어범위에서 전동기의 기동특성까지 고려하여 기동과 운전이 빈번한 상태에서 기동시 과도현상으로 인한 전력손실과 기기의 소손을 방지하고 전동기의 정격부하 이하에서의 과도한 입력전력의 투입으로 인한 저 효율 특성을 부하변동에 추종한 가변 위상각 제어를 적용하여 에너지절감효과를 실험을 통해 입증하고자 한다.

#### 2. 단상유도전동기의 기동원리

단상유도전동기는 기동장치 없이 그 자체만으로는 교변자계가 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 기동 권선을 가지고 있으며, 기동이 완료된 후 전속도의 약 75%에 도달하면 원심력 스위치의 개로에 의해 기동권선은 회로로부터 분리되고 전동기는 운전권선만으로 동작하게 된다.<sup>[4,5]</sup> 그림 1은 커패시터 기동형 단상유도전동기의 회로도이다.

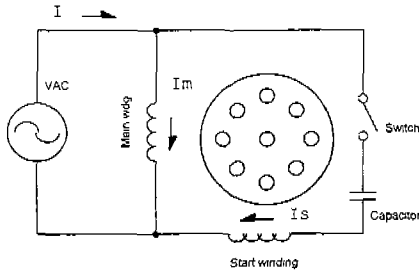


그림 1. 단상유도전동기의 회로도

### 3. 시스템 설계

본 논문에서 제안한 단상유도전동기의 전력절감방법인 가변 위상각 제어를 위해 사용된 칩은 A/D 컨버터가 내장되어 있는 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC16C71로 저가와 다기능의 교류전력 위상제어를 위해 펄스발생 기능과 외부 10-13번 pin의 0, 1 상태를 DIP 스위치로 간단히 바꿈으로써 아날로그 직접 제어, 비교 온/오프제어, 비교추종제어, 디지털 인터페이스 제어를 할 수 있도록 설계하였고, 0-255스텝까지 180/256deg(0.7deg)의 분해능을 가지며, 정확한 제로크로스 입력시 0.04deg 이내의 안정성을 갖도록 설계하였다. 이 중 아날로그 직접제어 모드를 사용하여 아날로그 입력단자에 전동기의 입력전류를 검출받아 소형검출기를 통해 전류에 비례하는 전압을 만든 후 적분하여 직류신호형태로 원칩 마이크로컨트롤러의 비교신호 단자에 투입한다. 이 때 전동기의 부하변화에 따라 비교신호의 레벨이 변하므로 가변 위상각 제어를 행할 수 있는데 정격부하에서는 full로 출력하는 형태가 되고 부하가 감소할 경우 도통각을 키워 경부하시 과도한 입력전력을 감소시킨다. 단상유도전동기의 특성상 동기속도의 75%이하로 턴온시간이 감소되면 기동권선이 단락되어 다시 입력전류가 증가하므로 그 부하에 적절한 위상각에서 평균출력이 결정된다. 비교추종모드일 경우, 기준전압을 약 2.5v로 고정하고 정격부하에서 검출전압이 2.5v가 되도록 설계하면 경부하에서는 전압이 내려가 위상지연이 커지고 평균전압이 낮아져 효율이 상승한다. 또한 위상지연이 어느정도 이상이면 전동기의 속도는 다시 증가하므로 발란스가 잡히는 곳을 찾는다. 만약 검출전압이 2.5v이하로 감소한다면 트리거 펄스위치는 현재보다 매 반주기마다 한 스텝씩 증가하고 이 때 증가

된 도통각에 의해 검출전압이 2.5v 이상이 된다면 그때부터 매 반주기마다 도통각이 작아지게 된다. 그리고 매 사이클마다 1스텝씩 증감하므로 고속 추종은 불가능하나 오히려 난조를 없애는 데는 양호한 특성을 보였다. 또한 전동기의 이상운전이 발생할 경우 디텍팅하여 입력에 무관하게 트리거 펄스를 제거할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서는 전동기의 기동상태의 개선을 위해 기존의 원심력스위치 대신에 자체 제작한 순시기동기를 사용하여 전동기를 기동할 수 있었고, 이 스위치는 보조권선전류를 소프트하게 제어한다. 본 논문에서 제안한 가변 위상각 제어 구동시스템의 전체 회로도는 그림 2에 나타내었고 전원부, 필터부, 제로크로스 검출부, 입력전류 검출부, 트라이액 구동부, 원칩 마이크로컨트롤러로 구성되어진다.

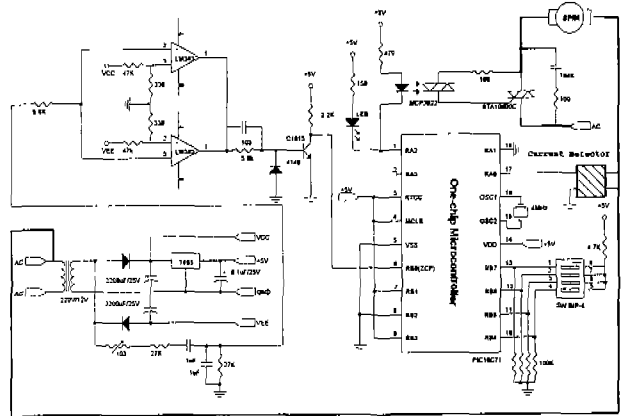


그림 2. 가변 위상각제어 구동시스템 회로도

### 4. 실험 및 결과

단상유도전동기의 기동시 입력전류와 보조권선전류, 입력전압, 보조권선전압의 위상과 크기를 측정하기 위하여 DSO LeCroy 9354A를 사용하였고, PC로 제어되는 2Kw급 전기동력계 FR 5ME API와 PM3000A Power Analyzer를 사용하여 전동기의 부하가변에 따른 기동과 정상운전시의 효율 및 역률, 입력, 출력, 전류, 속도, 토오크특성을 실험하였다.

표 1은 실험에 사용한 단상유도전동기의 사양이다.

표. 1 실험 전동기 사양

정격출력	0.21Kw	정격출력	0.21Kw
극수	4P	기동전류	15A
정격전압	220V	최대토크	3Nm
정격전류	3.1A	회전수	1710rpm
주파수	60Hz	정동토크	1.16Nm
효율	49%	기동콘덴서	200uF

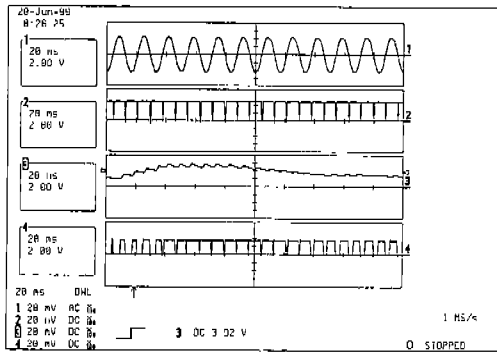


그림 3. 입력신호, 동기신호, 검출신호, 트리거신호

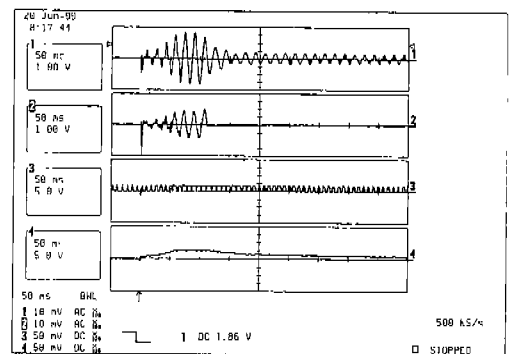


그림 7. 주권선 위상각제어시 기동특성

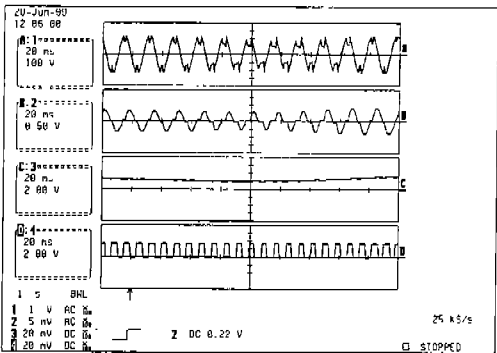


그림 4. 가변 위상각제어시 전동기 운전특성

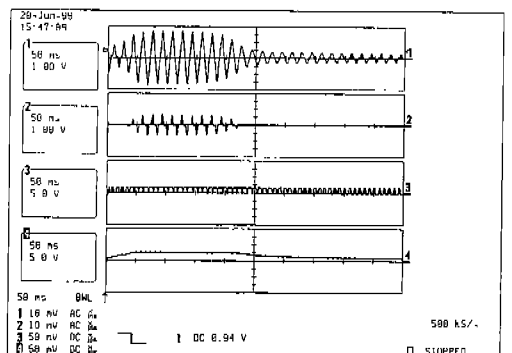


그림 8. 주권선, 보조권선 위상각제어시 기동특성

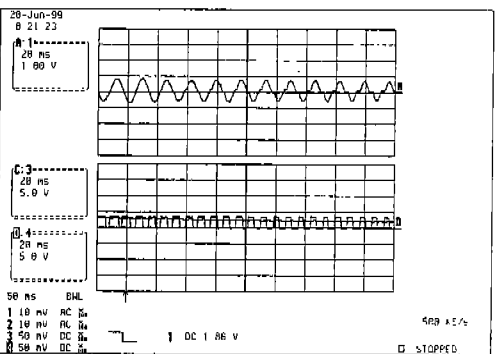


그림 5. 부하감소시 위상각제어 특성

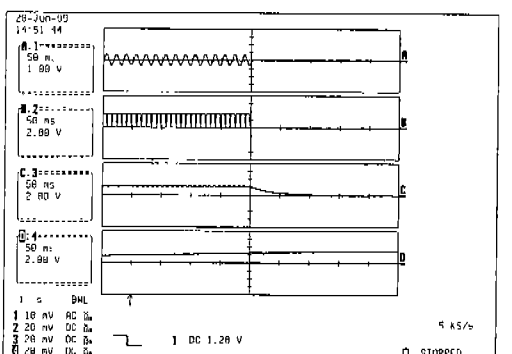


그림 9. 과부하시 비교 온,오프제어 특성

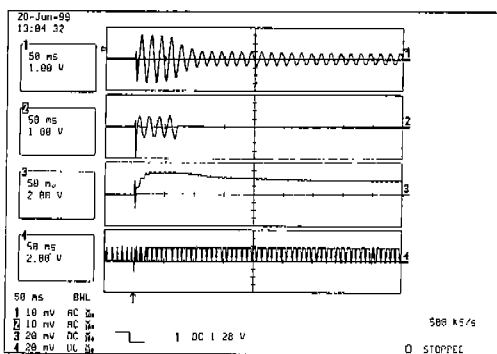


그림 6. 기존전동기 기동특성

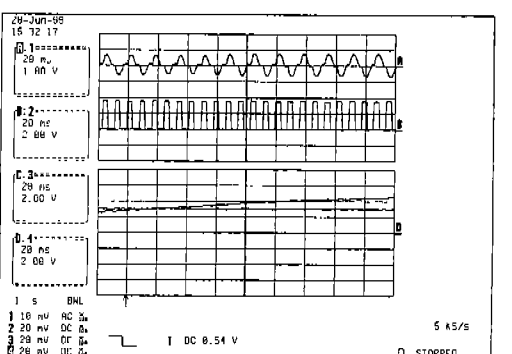


그림 10. 비교추종제어 특성

## 5. 결론

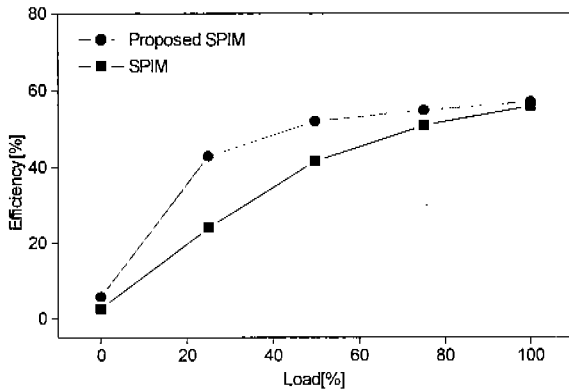


그림 11. 효율비교 그래프

그림 3은 가변 위상각제어를 위해 원칩 마이크로컨트롤러에 투입되는 신호들을 나타낸다. 그림 4는 가변 위상각제어시 전동기의 운전특성으로 입력전압, 입력전류, 검출신호, 트리거신호를 나타내고 이 때 부하변동에 따라 검출신호의 레벨 변화로 인해 트리거신호의 도통각이 가변되고 따라서 입력전류의 위상각이 부하변동에 추종함을 알 수 있다. 그림 5는 부하감소시 위상각 제어특성으로 경부하시 입력전류의 도통각을 증가시킴으로 전동기의 속도변동에 크게 지장이 없는 범위에서 과도한 입력전력을 저감시켰다. 본 논문에서는 전동기의 전력절감을 위해 주권선전류와 보조권선전류를 동시에 제어하였으므로 정상운전시만을 제어했을 때 나타나는 보조권선전류의 왜형을 개선할 수 있었다. 그림 6은 기존전동기의 기동특성을 나타내고, 그림 7은 주권선 위상각제어시 기동특성으로 소프트한 입력전류의 흐름을 알 수 있고 기동시 위상각제어를 할 경우 기동토크가 감소하므로 기동후 약0.3sec~0.4sec부터 위상각제어가 시작됨을 확인할 수 있다. 이 때 보조권선전류에서 나타나는 왜형을 기존의 원심력스위치 대신에 제작한 순시기동기를 사용하므로 보조권선전류의 소프트하고 안정적인 투입을 그림 8에서 알 수 있다. 그림 9는 비교 온, 오프 제어 모드를 사용하여 과부하시 트리거 신호를 제거하므로 전동기의 소손을 방지하는 특성이다. 그림 10은 비교추종모드를 사용했을 때 전동기의 특성으로 기준신호보다 검출신호가 증가하면 전동기의 속도변동에 영향을 미치지 않을 정도에서 미리 프로그램된 최적의 전력절감점의 설정 위상각을 추종하기 위해 도통각이 서서히 변화하고 이에 따라 입력전류의 위상각제어가 이루어짐을 알 수 있다. 이와 같은 가변 위상각제어에 의하여 부하에 따른 효율특성을 그림 11에 나타내고 기존전동기에 비해서 정격부하 이하에서 효율이 개선되었음을 알 수 있다.

본 논문에서는 전동기에서 소모되는 과도한 입력전력을 절감시키고자 원칩 마이크로컨트롤러 사용하여 아날로그 직접제어, 비교 온, 오프제어, 추종제어등 다기능 교류전력제어가 가능한 디지털 위상제어칩을 설계하여 다양한 제어를 단상유도전동기에 적용하여 특성을 개선하였고 기존의 기계적인 원심력 스위치 대신에 제작한 순시기동기를 사용하여 보조권선전류의 소프트한 투입으로 전동기를 기동하였다. 실험결과, 전동기의 소음감소와 소프트한 기동, 그리고 이상운전시 트리거 신호의 제거로 전동기의 소손방지과 정상운전시 정격부하 이하에서 부하변동에 추정된 가변 위상각제어로 부하에 적절한 최대의 효율에서 입력전력을 투입하므로 에너지 절감효과를 실험을 통해 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Vandenput, E. Fuchs, J. Höll, J. White, W. Geysen, "Run Capacitor Optimization in Single Phase Induction Motors", IEEE, Trans., on Industry Applications, 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] 백형래외 5인, "위상각과 전압제어에 의한 단상유도전동기의 기동특성", 하계학술대회논문집, 대한전기학회, pp. 350~352, 1995.