

단상유도전동기 기동특성 개선에 관한 연구

임양수*
*서강전문대학

백형래**
**조선대학교

A Study on the Improvement of Starting Characteristics for Single Phase Induction Motor

Yang-Su Lim*
*Seokang Junior College

Hyung-Lae Baek**
**Chosun University

ABSTRACT

The most common for starting a single phase induction motor is to install a starting condenser and a centrifugal switch in series with the auxiliary winding. Though this method is simple, life of single phase induction motor is short because of malfunction of a starting condenser and a centrifugal switch and efficiency improvement has limitation. In this paper, the starting characteristics of SPIM is improved by voltage and phase control strategy of auxiliary winding in removing a starting condenser and a centrifugal switch. Finally, the excellent starting performance of SPIM is shown through simulation and experimental results.

1. 서론

단상유도전동기 자체로는 회전자속을 발생시킬 수 없으므로 기동토크를 발생시키는 외부 기동장치물 필요로 하며, 외부 기동장치인 기동용 콘덴서와 기동용 스위치는 열악한 환경이나 기능저하시에는 전동기 수명을 단축 및 소손 시키는 문제점들이 있다. 산업기술이 급속도로 발달함에 따라 최근 단상유도전동기 업계에서는 기존전동기 보다 효율이 뛰어나고 외부 기동장치가 보수간단, 고 신뢰성, 소형화, 저 소음 등의 개발을 기대하고 있다.^{1,2,3} T. A. Lipo에 의해 연구되어진 가변콘덴서제어 방법은 기동토크가 적고, 기동전류 파형이 비정현적이며 정·역전 전환시 외부 스위치를 필요로 한다.⁴ 보조권선에 가해지는 전압과 위상차에 의하여 기동전류와 기동시간이 결정되므로 본 연구에서는 보조권선 위상제어와 전압제어를 순서적으로 행함에 따라 단상유도전동기의 기동전류를 최소화하여 효율을 개선하였으며 소프트 기동이 가능하고 아크가 많은 기계적 스위치 대신에 회전부분이 없는 정지형 기동장치를 제안한다. 본 기동장치 동작특성을 고찰 하기 위하여 전동기의 토크와 속도특성, 주권선과 보조권선의 전압전류 특성을 시뮬레이션 및 실험을 통해 비교 분석하였다.

2. 단상유도전동기 등가회로

그림 1(a)의 등가 회로는 2 회전자계 이론 (Double Revolving Field Theory)을 이용한 단상유도전동기 단권선의 모델을 나타낸다. 그림 1(a)의 등가회로는 그림 1(b)의 등가회로로 간단하게 나타낼 수 있으며 여기에서 전동기 순방향, 역방향 임피던스는 식(1)과 같이 정의한다.¹⁵

$$R_f = \left(\frac{R_2 X_m^2}{2s}\right) \cdot \frac{1}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2}$$

$$R_b = \left(\frac{R_2 X_m^2}{2(2-s)}\right) \cdot \frac{1}{[R_2/(2-s)]^2 + (X_2 + X_m)^2} \quad (1)$$

$$X_f = \left(\frac{X_m}{2}\right) \cdot \left[\frac{(R_2/s)^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2} \right]$$

$$X_b = \left(\frac{X_m}{2}\right) \cdot \left[\frac{(R_2/(2-s))^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/(2-s))^2 + (X_2 + X_m)^2} \right]$$

질슨은 기본적으로 일정하게 고려되며 보통 마찰손과 함께 본다. 단상 유도 전동기의 자화치로 각각에 걸리는 전압은 순방향, 역방향 회전자계에 의해 유도된 기자력에 의해 영향을 받는다. 주 권선과 보조권선 단자 전압과 전류 사이의 관계를 식(2)와 같이 나타낸다.

$$\bar{V}_m = \bar{I}_m [(R_1 + jX_1) + (R_f + jX_f) + (R_b + jX_b)] \quad (2)$$

회전자계항 손실 통래서 식 (1)을 풀이함에 따라, 단상 유도 전동기의 동작 특성을 예측할 수 있고 각 리액턴스가 주어진 슬립에 대해서 주파수(인디턴스는 일정하다)와 함께 선형적으로 동작하는 것으로 나타난다.

따라서 2 회전자계 이론에 기초한 평균 기전력 토오르크는 식(3)과 같이되며, 맥동 토오르크의 피크값은 식(4)과 같이 나타난다.

$$T_{av} = \frac{V_m^2}{\omega (R_f - R_b)} \quad (3)$$

$$T_p = \frac{V_m^2}{\omega \sqrt{(R_f - R_b)^2 + (X_f - X_b)^2}} \quad (4)$$

3. 시스템 구성

그림 2는 본 연구에서 제시한 개선된 기동장치의 전체 구성 블록도이다.

주권선과 보조권선에는 동기된 위상차를 갖는 전원을 인가하므로 위상제어 신호는 위상각 제어기에 의해 지연된 위상차각 20° ~ 90° 사이에서 10° 단위로 발생시켜 그 중 하나만을 선택하고, 출력전압은 진폭제어기로 구동시스템의 입력을 8개로 한 가산기를 사용하여 일은 하나의 출력은 MC1458의 듀얼 인산증폭기를 사용하였으며 권선전압을 1~15단계로 나누어 전압제어가 가능하도록 하였다. 보조권선에 인가할 최종신호는 진폭용 모달트랜지스터로 증폭하여 보조권선의 구동전원으로 사용하였다. 시스템제어는 IBM-PC/486과 I/O 인터페이스로 구성하였다. 그림 3은 신호발생과 제어 알고리즘에 대한 시스템 흐름도이다.

4. 시뮬레이션

그림 4는 기동시 주권선과 보조권선의 위상차가 0°, 30°, 60°, 90° 일 때의 각각의 슬립에 따른 토오르크의 곡선을 나타내고 있다.

그림 5는 주권선과 보조권선의 위상차를 90° 로 고정하고 보조권선의 전압을 여러 단계로 변화 시키기하면서 시뮬레이션을 하였다. 토오크와 속도 곡선에서 알 수 있듯이 보조권선의 전압이 너무 낮아 기동시간이 길어졌을 알 수 있고 보조권선의 전압은 주권선에 걸리는 전압의 약 40% 이상이면 기동이 가능함을 알 수 있다. 보조권선 전류의 피크치도 상용전원을 인가할 때 보다 감소함을 알 수 있다. 보조권선의 전류는 피크치가 감소한 대신에 기동시간이 전압에 반비례하여 길어졌으며 기동 시간이 늦어진 만큼 주권선의 전류 또한 증가함을 알 수 있다.

일반적으로 주권선과 보조권선의 위상차는 90° 가 가장 이상적이나 본 연구의 시뮬레이션에서는 위상차를 80° 와 60° 로 가변하면서 전압가변 실험과 같이 전류 파형과 속도 특성 곡선을 그림 6에 나타내었다. 위상차가 낮아질수록 주권선과 보조권선 전류는 증가하였으나 기동시간은 길어지고 토오크도 감소했다. 일반적인 90° 의 상차각이 가장 이상적임을 알 수 있었다. 이 결과를 토대로 주권선과 보조권선의 위상차를 90° 에 고정하고 주권선과 보조권선의 전압을 상용전압 보다 낮게 하여 기동하고 순서적으로 높여 가며 전동기가 충분히 기동되었을 때 입력전압을 상용전원으로 전환하는 제어 알고리즘을 이용하여 기동시 기동시간을 최대한 단축하며 기동전류를 감소시킬 수 있는 순서적 제어 방식 기동에 대한 시뮬레이션을 행하였다.

그림 7(a)는 단상유도전동기에 100V의 상용전원을 바로 인가 하였을 때 각 권선의 전류곡선과 속도곡선이다. 그림 7(b)는 10V에서 순차적으로 전압을 증가시켜 유도전동기에 인가 하였을 때의 각 권선의 전류곡선과 속도곡선이다.

5. 실험결과

단상유도전동기의 토오크와 속도를 측정하기 위해 전기동력 계를 사용하였으며 기존의 콘덴서 기동 단상유도전동기 실험과 전동기의 콘덴서를 제거한 상태에서 보조권선전압을 가변 공급하고 직분기로 주권선의 위상차를 가변하여 실험하였다. 그리고, 시스템의 제어는 C언어로 프로그래밍된 IBM PC를 사용하였다. 실험에 사용된 전동기 사양은 표 1과 같다.

표 1 전동기 사양

정격출력	0.21KW	기동전류	24/12A
극 수	4P	기동토오크	0.38 Kgm
정격전압	110/220V	질연계급	5종
정격전류	6.4/3.2A	회전수	1710 rpm
주파수	60Hz	정동토오크	0.33 Kgm
효율	45%		

그림 8은 주권선전압이 110V 일 때, 위상차 90° 로 하고 보조권선전압을 100V, 80V로 가변시켰을 경우의 무부하시 기동 특성을 측정한 것이다. 그림 9는 주권선전압 110V, 위상차 60° 이고 보조권선전압을 100V, 80V로 인가 했을 시의 기동 특성을 나타내고 있다.

무부하시 콘덴서 제거 전동기의 기동특성실험을 통하여 보조권선전압에 비례하여 기동시간이 짧았으며 위상차가 90° 에서 보조권선전압이 34V, 60V일 경우 비교적 기동시간이 짧았고, 위상차가 90° 에서 보조권선전압이 34V, 60V일 때 주권선전류가 적으며 위상차가 80° 에서 보조권선전압이 94V, 100V 그리고, 위상차가 70° 에서 보조권선전압이 40V, 위상차가 60° 에서 보조권선전압이 67V 일때 주권선전류가 비교적 적음을 알 수 있었다. 부하시 기동특성 실험결과와 위상차가 90° ,80° 일 때 기동시간은 보조권선 전압에 관계없이 짧았으며 54V, 60V, 80V, 87V 일 때가 주권선 전류가 적음을 알 수 있었다. 그림 10은 보조권선전압을 20V에서 100V까지 인가할 때, 위상차를 90° ,80° ,70° ,60° 로 가변함에 따른 보조권선 전류변화를 나타내며 보조권선 전류는 보조권선 전압에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

6. 결론

개선된 기동 특성을 검토하기 위해 보조권선전압을 100V에서 20V 까지 가변하였으며 위상각은 0° 에서 90° 까지 가변하여 실험 시뮬레이션을 행한 결과를 비교 검토 분석하였다. 분석결과, 파형은 거의 일치 하지만 기동시간에 있어서 약간의 차이가 있었다. 개선된 기동 제어를 사용한 전동기의 기동전류의 평균치에서는 기동시 단계적인 증가를 보여주었고 기동시간은 0.2초 늦어졌으나 전류가 기동시 40%정도 절약을 할 수 있었다. 개선된 기동방식 때의 최대전류는 거의 정상전류와 약 1[A]의 차이를 나타내지만 기동시 전류의 과도성분을 줄일 수 있었다. 본 논문에서는 210W 급 단상유도전동기의 기동특성 개선을 연구하였지만 향후 계속 광범위한 각종 유도전동기 들 실험대상으로 적용하고자 한다.

본 연구는 한국전력공사지원 기술개발사업에 의하여 수행된 결과의 일부임

7. 참고 문헌

- (1) 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.
- (2) A. Vandepu, E. Fuchs, J. Hill, J. White, W. Geysen, "Run Capacitor Optimization In Single-Phase Induction Motors", IEEE, pp. 824 - 830, 1986.
- (3) 백형래의 5인, "위상각과 전압제어에 의한 단상유도전동기의 기동특성", 학제학술대회논문집, 대한전기학회, pp.350~352, 1995.
- (4) Eduard Muljad, Yifan Zhao, Tian-Hua Liu, Thomas A. Lipo, "Adjustable ac Capacitor for a Single-Phase Induction Motor", IEEE Tran. on Industry Applications, Vol. 29, NO.3, pp.479~485, May/JUN, 1993.
- (5) E. R. Collins, Jr., H. B. Puttgen, W. E. Sayle, II "Single-Phase Induction Motor Adjustable Speed Drive Direct Phase Angle Control of the Auxiliary Winding Su", IEEE, pp.246~252, 1990.

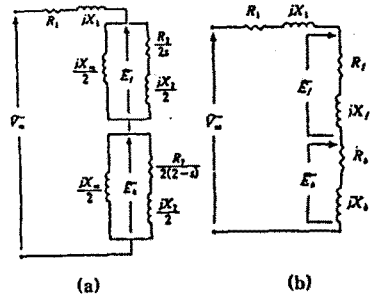


그림 1 단상유도전동기 등가회로

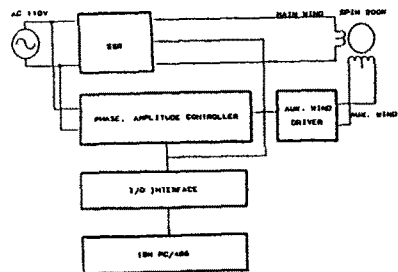


그림 2 전체 시스템 구성 블록도

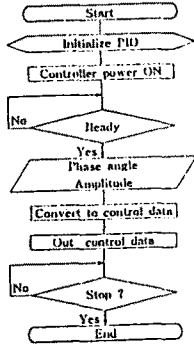


그림 3 시스템 흐름도

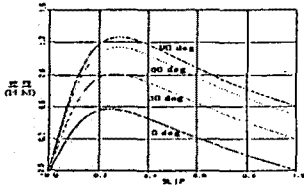
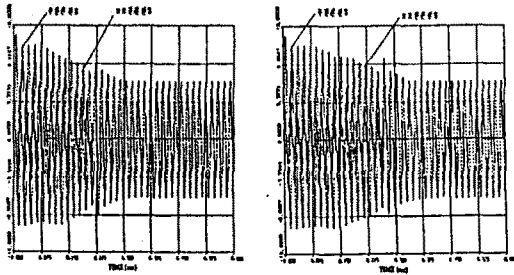
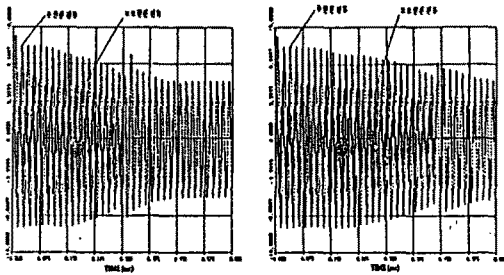


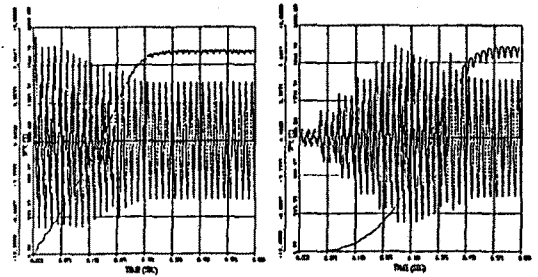
그림 4 보오크-슬립 특성



(a) $V_a = 100V$ (b) $V_a = 80V$
그림 5 보조권선전압 가변시 기동특성 (위상차 90°)

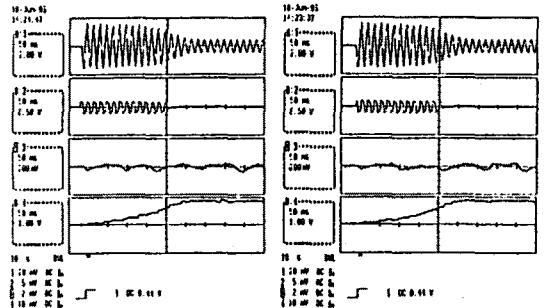


(a) 위상차 80° (b) 위상차 60°
그림 6 위상차 가변시 기동특성 (보조권선전압 100V)



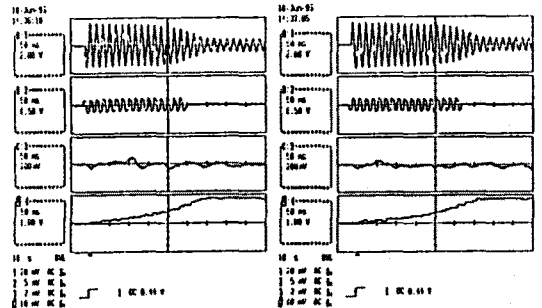
(a) 기존 구동특성 (b) 개선된 구동특성 (10V)

그림 7 전류파형, 속도 특성곡선



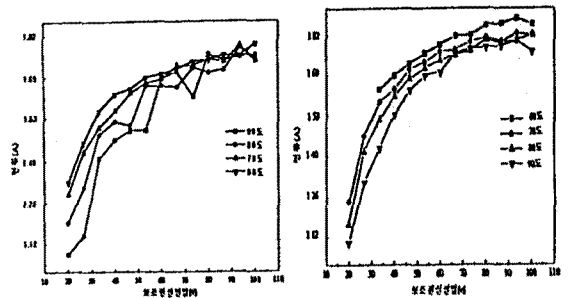
(a) $V_a = 100V$ (b) $V_a = 80V$

그림 8 보조권선전압 가변시 기동특성 (위상차 90°)



(a) $V_a = 100V$ (b) $V_a = 80V$

그림 9 보조권선전압 가변시 기동특성 (위상차 60°)



(a) 무부하시 (b) 부하시

그림 10 보조권선전압 가변시 보조권선전류특성