

유도성 부하의 돌입전류저감을 위한 제어기에 관한 연구

박수강\*, 조금배\*, 백형래\*, 임양수\*\*

\*조선대학교 전기공학과, \*\*서강정보대학 소방안전관리과

A Study on the Controller for Reducing of In-Rush Current of Inductive Load

Su-Kang Park\*, Geum-Bae Cho\*, Hyung-Lae Baek\*, Yang-Su Lim\*\*

\*Dept. of Electrical Eng. Chosun Univ. \*\*Dept. of Safety Fire Management Seokang College

**Abstract** - This paper presents a new method to reducing inrush current and energy saving of capacitor starting single-phase induction motor used in air-conditioner. It can be obtained that proposed system is low cost and small size as compared with other controller. Experiments are focused on a capacitor starting single-phase induction motor. The optimal power saving and in-rush current limiting by phase angle control are verified by experimental results. Also, auxiliary winding was controlled by electronic starting switch.

1. 서 론

에어콘, 냉장고, 세탁기, 청소기등 전동기를 구동원으로 사용하는 가전제품은 소비자의 기호변화에 따른 새로운 기능의 제품개발이 요구되는 다품종 대량생산의 산업으로 소비자의 소득증대에 따라 의식주 및 문화생활의 편리성과 유행의 변화에 맞추어 제품의 수요가 지속적으로 증가하는 안정적인 산업이다. 또한 현재 국내 가전업체에서는 해외 수출시장의 개방과 수입선 다변화제도의 해체에 맞춰 미국, 일본, 유럽 등 수출전략 산업으로서의 많은 발전을 기대하고 있는 실정이다. 그러나 이들 기기에서 발생하는 inrush current로 인하여 전력계통의 전압이 변형되어 이에 접속된 기기에 장애가 되고 이런 점은 IEC 규격인 가전·범용품 기기는 200[%]로 in-rush current를 억제한다는 조항에 벗어나게 된다. 이러한 200[%]이상의 inrush current는 큰 기동 토크를 필요로 하는 냉조기기의 컴퓨터나 선풍기, 냉장고, 쿨러, 펌프, 세탁기 등 가정용 전기 기기로서 널리 사용에 사용되는 커패시터 기동형 단상유도전동기에서 주로 발생한다. 이 전동기는 기동 토크가 크다는 장점으로 산업용의 소 용량 동력장치 등에 널리 이용되고 있고 생산보급양도 대단히 많다. 그러나 기동 토크를 발생시키는 외부 기동장치인 기계적인 원심력스위치의 성능저하는 과 전류, 과 전압으로 인한 커패시터의 소손과 기동불능등 고질적인 문제를 안고 있다. 이러한 단상유도전동기의 inrush current를 억제하기 위한 장치는 주로 soft-starting 방식이 사용되는데 현재 국내에서 개발된 제어기의 방식은 기존의 3상 유도전동기의 soft-start에 적용되었던 방식과 유사하다. 비교적 3상 유도전동기보다 가격이 싸고 구조가 간단하고 저 출력인 단상유도전동기에 적용하기에는 여러 가지 면에서 필요 이상의 기능으로 경제적이기 못하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 컴퓨터사용 단상유도전동기의 inrush current 억제를 위한 새로운 제어방식을 제안하였고 제어기를 제작하였다. 단상유도전동기는 주권선과 병렬로 기동권선인 보조권선을 갖고 있으며 이 보조권선과 직렬로 커패시터가 접속되어 있다. 본 논문은 inrush current 억제를 위하여 주권선과 병렬로 연결된 보조권선을 제어하여 주권선 제어시 기동토크의 저감을 감소시킬 수 있었으며 에어컨이 정격운전에 도달하는 시간을

단축시킬 수 있었다.

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 개방으로 기동권선은 회로에서 분리되고 전동기는 운전권선으로 동작하게 된다.

그림 1은 커패시터 기동 단상유도전동기의 회로도이며 주권선의 전류를  $isqs$ , 보조권선의 전류를  $isds$ 라 하면 T형 등가회로도로는 그림 2의 (a), (b)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>[1,2]</sup>

주권선과 보조권선 전압식은 식(1), (2)에 나타내었다.

$$V_s^m = V_s \tag{1}$$

$$V_s^d = V_s - \frac{1}{C} \int i_{ds}^d dt \tag{2}$$

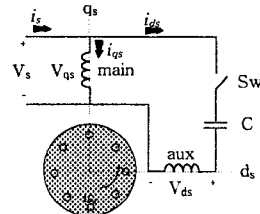


그림 1. 커패시터 기동형 단상유도전동기의 회로도  
Fig. 1 Schematic circuit diagram of capacitor start SPIM

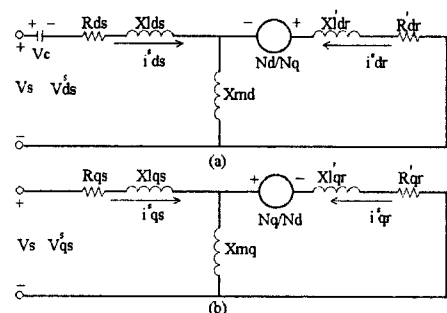


그림 2. T형 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit of T type

위의 T형 등가회로도의 전류방향을 기준으로 하여 전압방정식을 세우면 식(3)과 같다.<sup>(3,4)</sup>

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

각각의 전류는 다음 식(4)로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 i_{ds}^s &= (\lambda_{ds} - \lambda_{dm}) / L_{lds} \\
 i_{as}^s &= (\lambda_{as} - \lambda_{qm}) / L_{las} \\
 i_{dr}^s &= (\lambda_{dr} - \lambda_{dm}) / L_{ldr} \\
 i_{ar}^s &= (\lambda_{ar} - \lambda_{qm}) / L_{lar}
 \end{aligned} \tag{4}$$

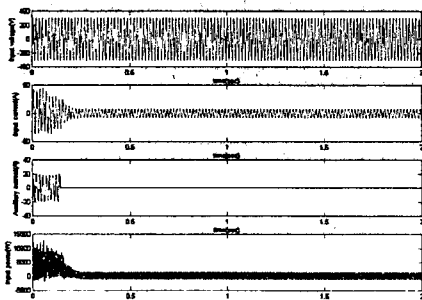
전류의 값에 의해서 토오크는 식(5)로 나타낼 수 있다.<sup>(5)</sup>

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

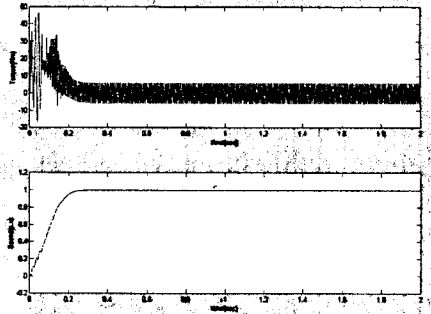
P : 전동기의 극수 (pole)

### 3. 단상유도전동기의 특성해석

시뮬레이션에 사용된 전동기는 4극 커패시터 기동형 단상유도전동기이다. 그림 3은 기존의 방식으로 기동을 할 경우 돌입특성을 나타낸다. (a)의 ch1은 입력전압을 나타내며 60[Hz]의 220[V]가 인가된다. ch2는 입력전류를 나타내는데 기동시 입력전류는 정격전류에 비해서 약 5배 이상의 돌입전류가 발생함을 알 수 있다. ch3는 보조권선 전류, ch4는 입력전력을 나타내며 돌입전류의 영향으로 정격전력의 수배의 돌입전력이 투입되고 이로 인해 과도한 전력소모가 생김을 알 수 있다. (b)는 이때 토오크와 속도특성을 나타낸다. 그림 4는 제안한 방식으로 기동을 할 경우 돌입특성을 나타낸다. (a)에서 ch2의 기동시 돌입전류가 정격전류의 200[%] 이내로 감소됨을 알 수 있다. 또한 감소된 전류로 인해 기동에 필요한 충분한 토오크가 저감되어 기동실패가 생길 수 있으므로 기동이 끝나는 0.3[sec]에서 0.4[sec] 부분에서 재차 전류를 증가시킴으로 토오크 부스트를 할 수 있었다. 이때 0.3[sec]부터 토오크와 속도의 상승을 (b)에 알 수 있다.



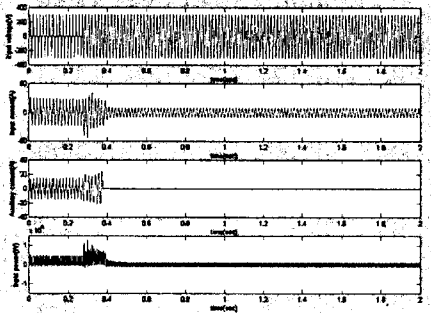
(a) Electrically inrush characteristics



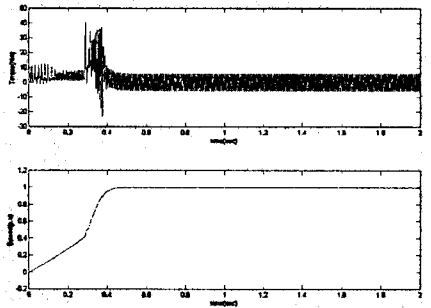
(b) Torque-speed curves

그림 3. 기존 방식에 따른 돌입특성

Fig. 3 Inrush characteristics with conventional method



(a) Mechanical inrush characteristics



(b) Torque-speed curves

그림 4. 제안한 방식에 따른 돌입특성

Fig. 4 Inrush characteristics with proposed method

### 4. 시스템 설계

본 논문에서는 소형경량이며 저 가격화를 이루기 위해 소형 전류검출기를 제작하였다. 전동기의 입력라인에 연결된 전류검출기는 1차측의 권선수는 1턴이다. 2차측에 감긴 코일의 권선수는 매우 많아 인덕턴스값으로 판별했다. 전동기에 유입되는 돌입전류의 크기에 맞게 1차측의 권선수를 조정하여 시스템의 검출신호로 적합한 돌입전류에 비례하는 2차측의 전압신호를 얻을 수 있고

돌입전류는 운전전류보다 약 5배 이상 큼으로 기동과 운전으로 구분되는 전류의 차를 검출하여 돌입전류의 제어시간을 결정한다.<sup>16)</sup> 그림 5의 (1)에서와 같이 입력라인 중 한 선에서 직렬로 검출기의 1차측 권선에 연결된다. 검출된 신호는 몇 개의 수동소자로 구성된 트리거 펄스발생장치(2)로 넘어가 최종 트라이액(4)으로 인가된다. (3)은 주권선을 나타내고, (5)는 기동용 커패시터, (6)은 보조권선을 나타낸다.

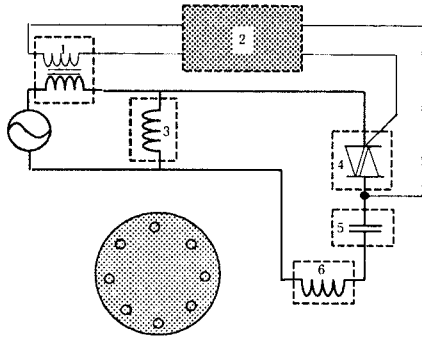


그림 5. 제어기의 간략도  
Fig. 5 Block diagram of controller

### 5. 실험결과

그림 6은 기존의 방식으로 운전했을 때 돌입특성을 나타낸다. ch1은 입력전압, ch2는 입력전류, ch3는 보조권선전류, ch4는 입력전력을 나타낸다. 기동시간은 100(msec)이고 입력전류의 최대 실효치는 11[A], 정격전류는 2.8[A]로 약 5배 이상의 돌입전류가 발생함을 알 수 있다. 보조권선전류는 5.74[A]이고 기동시 입력전력의 최대값은 2.5[kW], 정격시 소비전력은 0.47[kW]로 과도한 입력전력이 돌입됨을 알 수 있다. 그림 7은 제안한 방식으로 기동했을 때의 돌입특성을 나타내며 기동시간은 400(ms)이고 기동구간의 입력전압의 최소값은 117[V]를 나타내고 기동구간의 입력전류값은 4.2[A], 정격전류는 2.2[A]로 200[%] 정도의 차이로써 기존방식으로 운전했을 때의 5배가 넘는 돌입전류를 200[%]이내로 감소 시켰음을 알 수 있다. 이때 보조권선 전류는 2.78[A]이고 입력전력의 최대값은 0.78[kW], 정격소비전력은 0.3[kW]로 돌입전류의 감소로 인해 기동시 과도한 전력의 소모를 줄일 수 있었다.

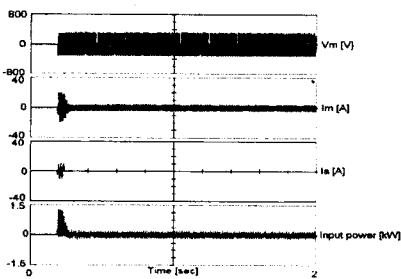


그림 6. 기존시스템의 돌입특성  
Fig. 6 Inrush characteristics of conventional system

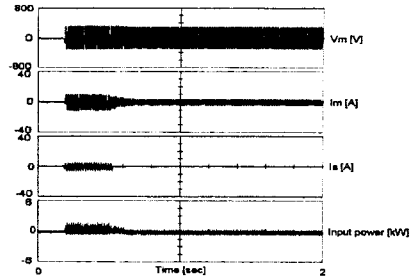


그림 7. 제안한 시스템의 돌입특성  
Fig. 7 Inrush characteristics of proposed system

### 6. 결 론

본 논문에서는 냉조기에서 사용되는 유도전동기의 기동전류로 인해 발생하는 기기의 inrush current를 IEC 규격인 정격전류의 200[%]이내로 억제하기 위한 새로운 방식의 제어를 제안하였다.

Inrush current를 억제하는 기존의 방식으로는 주권선 제어를 통하여 입력전류를 제어하여 soft-starting 방식이 주로 사용되는데 컴퓨터서 특성상 큰 기동토크를 요구하므로 낮은 입력으로는 기동토크의 저감 뿐만 아니라 기동시간의 과도한 지연으로 역으로 과도한 전력 손실을 가져온다. 그러므로 본 논문에서는 주권선과 별개로 위치한 보조권선을 병행으로 위상각 제어를 하여 주권선 제어시 기동 토크의 저감을 감소시켰고 에어컨이 정격운전에 도달하는 시간이 단축되었음을 실험을 통하여 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [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, 박수강, "윈칩마이컴을 이용한 단상유도전동기의 주권선 제어에 관한 연구", 대한 전기학회 논문지, Vol. 49B, No. 1, pp. 70~76, JAN. 2000.