

권선형 유도전동기의 새로운 기동기 개발에 관한 연구  
A Study on the Development of a New Starter for Wound Type  
Induction Motor

김진수 (전기정보과)

Jin-Soo Kim (Dept. of Electric & Information)

Key Words : Wound Type Induction Motor, Starter, Converter, Control Method, Power Electronics

ABSTRACT : This paper deals with the development of a new starter for wound type induction motor. A conventional resistor type starter has such defects as arc and noise because of using contacts. In addition, it is impossible for a conventional starter to control wound type induction motor in constant current and constant torque. In this paper, new starter for wound type induction motor is developed. We used a power semiconductor switch and converter control method of power electronics technology in new starter. As a result, a new starter proved to be able to control wound type induction motor in constant current and constant torque without arc and noise.

1. 서론

일렉트로닉스와 자동제어 분야의 발전에 따라 전기에너지를 기계에너지로 변환하는 전동기가 우리 생활 및 산업현장에서 많이 사용되고 있다. 전동기는 기동시 직접 정격전압을 가하면 큰 기동전류가 흘러 권선을 소손시킬 염려가 있다. 이러한 점은 산업현장에서 사용하는 대용량 전동기에서 문제가 된다. 이를 위해 일반적으로 농형 유도전동기에서는 Y- $\Delta$ 기동법, 리액터 또는 저항을 사용하는 기동법, 기동보상기법, 권선형 유도전동기에서는 2차저항법이 사용하여 전동기를 기동시키고 있다.<sup>[1~3]</sup>

본 연구에서는 권선형 유도전동기를 기동시키는 기동기에 대하여 다룬다. 기존의 권선형 유도전동기의 기동기는 2차저항법을 이용한 것이다. 2차저항을 전동기의 속도 증가에 따라 감소시키고 결국에는 단락시키는 것이다. 이를 구현하기 위하여 전자접촉기(MAGNETIC CONTACTOR, 이하 M/C), CAM CONTACTOR 등이 사용되었다. 그러나 2차저항 제어법은 M/C를 사용하므로 접점의 접촉에 따른 소음과 아-크가 발생하고 저항을 단계적으로 조절하므로 일정 전류제어 및 일정 토크제어가 불가능하여 전동기가 현팅(떨림)하는 단점을 갖고 있다.

본 연구에서는 기존의 기동저항기의 단점을 개선하여 전력용 스위칭 반도체 소자를 사용하여 접촉에 따른 소음과 아-크가 발생하지 않게 하고 또한 일정 전류 제어 및 일정 토크제어를 실시하여<sup>[4~7]</sup> 전동기가 헛탕 없이 안정되게 기동할 수 있는 권선형 유도전동기의 새로운 기동기를 개발하려 한다.

## 2. 기존의 기동저항기

전동기는 전기에너지를 기계에너지로 바꾸는 기계로 거의 대부분이 회전운동의 동력을 만들지만, 직선운동의 형식으로 하는 것도 있다. 전동기는 전원의 중별에 따라 직류전동기와 교류전동기로 분류된다. 교류전동기는 다시 3상 교류용과 단상 교류용으로 구분된다. 3상 교류용은 1kW 정도 이상부터 수천 kW까지, 그리고 드물게는 1만 kW를 넘는 대형기가 있으며, 단상은 수백 kW 이하의 소형기에 채용되고 있다. 직류와 교류의 중별이 있다고는 하지만 원리상으로 보면 동일한 것으로, 자기장 속에 도체를 자기장과 직각으로 놓고 여기에 전류를 통하면 자기장에도 직각 방향으로 전자기적인 힘이 발생한다는 전자유도현상을 응용한 것이다. 이 가운데 가장 많이 사용하는 전동기가 유도전동기이고 유도전동기는 농형 유도전동기와 권선형 유도전동기로 구분한다. 농형 유도전동기는 농형 회전자를 가진 유도전동기로 단상인 것과 삼상인 것이 있다. 단상 농형 유도전동기에는 그 기동방식에 따라 분상 기동형이나 콘덴서 기동형 등이 있으며, 가정용 전기기기 등에 널리 사용되고 있다. 삼상 농형 유도전동기에는 5 kW 이하인 보통 농형 유도전동기와 중용량 이상에서 사용되는 특수 농형유도전동기 등이 있다. 권선형 전동기는 권선 회전자를 갖는 3상 유도전동기로서 고정자 권선에는 3상 전원이 접속된다. 회전자 권선도 3상을 가지며, 그 3단자는 회전자에 부착된 슬립 링을 통하여 외부로 통한다. 슬립 링의 3단자에 평형된 Y 또는  $\Delta$  접속 저항을 접속시키면 회전자 권선의 저항이 증가한 것으로 되어서 기동시의 과대한 전류를 제한할 수 있고, 그 위에 기동토크가 증가되어서 기동특성이 좋아지는 특징이 있다.

전동기는 정지된 상태에서 전원이 인가되면 기동하게 된다. 직류전동기는 기동함에 있어 정지한 전동기에 갑자기 전전압을 가하면 내부저항 만에 의해 전류가 제한되므로, 전부하전류의 20~60배가 되는 대전류가 흘러서 전동기를 손상시키고, 전원에 나쁜 영향을 준다. 따라서 극히 소형의 전동기를 제외하고는 전기자에 직렬로 외부저항을 넣어 들어오는 전류를 제한하고, 전동기가 회전하기 시작하면 역기전력이 발생해서 전류가 감소되므로, 차례로 외부저항을 작게 한다. 이 외부저항을 기동저항이라 하고, 보통 기동 중의 전류가 전부하전류의 1~2배 정도로 억제되도록 외부저항값을 결정한다. 전동기의 용량이 커지면 원통형 기동기 또는 전자 접촉기형 기동기가 사용된다.

본 연구에서는 권선형 유도전동기의 새로운 기동기를 개발하였는데 여기에서는 권선형 유도전동기를 위한 기존의 기동저항기를 서술한다.

권선형 전동기를 기동할 때에는 기동전류를 안전한 값으로 억제하고 기동 토크를 충분히 크게 해서 기동 시킬 필요가 있다. 농형 유도전동기의 기동방법은 1차측의 기동전압을 낮추므로 기동토크가 감소하는 결점이 있다. 그림 1은 권선형 유도전동기의 기동을 위한 접속으로 2차저항을 외부에 설치하여 외부저항의 가변에 의하여 기동하는 구조를 나타낸다.

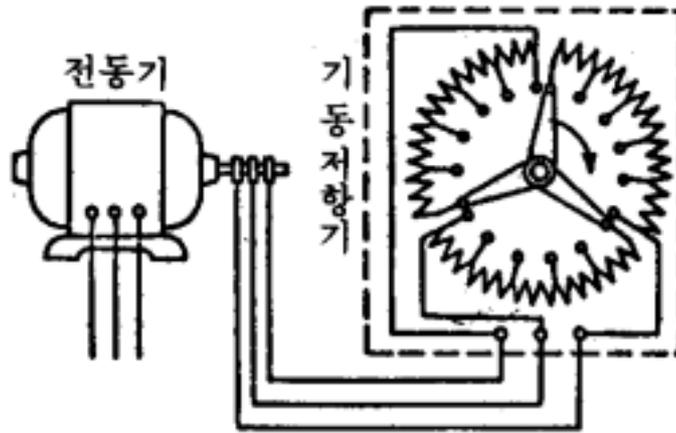


그림 1 권선형 유도전동기의 기동을 위한 2차저항 접속도

Fig. 1 Connection diagram of second resistor of wound type induction motor

유도전동기는 슬립(slip)과 2차측 저항의 1차측 환산값의 비를 일정하게 하면 토크의 값도 일정하게 된다. 따라서 권선형 유도전동기의 경우 2차저항을 크게 하면 비례추이의 원리에 의하여 그림 2와 같이 기동시에 큰 토크를 얻을 수 있고 기동 전류를 억제 할 수 있다. 그러나 유도전동기의 2차저항을 크게 하면 운전특성이 나빠지므로 권선형전동기에서는 낮은 저항의 2차권선을 사용하고 슬립링을 통하여 외부에 가감저항기를 접속한다. 이에 따라 기동할 때에는 2차회로에 적당한 저항을 갖게 해서 필요한 기동 토크를 얻으며, 동시에 그림 3과 같이 기동전류를 억제하도록 한다. 전동기의 속도가 상승함에 따라 외부저항을 점점 감소해 나가고 최후에는 슬립링이 있는 곳에서 단락하여 저항손의 증대를 방지하여 좋은 특성이 되도록 한다. 이와 같은 기동법을 2차저항법이라 하며 그림 1과 같이 접속한다. 그림 2와 그림 3은 기동저항을 5단으로 조정한 경우이며 기동 중의 토크와 전류의 변화를 나

타내고 있다. 권선형 유도전동기는 대형으로 된 것은 이 형식을 많이 사용한다. 그러나 그림 2와 같이 기동시 토크의 불연속적인 변화에 따라 전동기에 떨림 현상인 헌팅이 발생하는 단점도 갖고 있다.

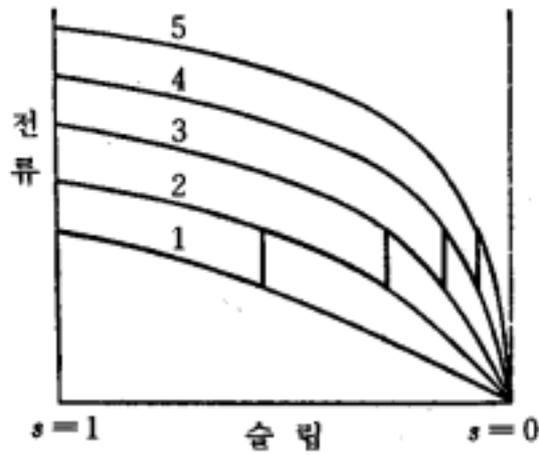
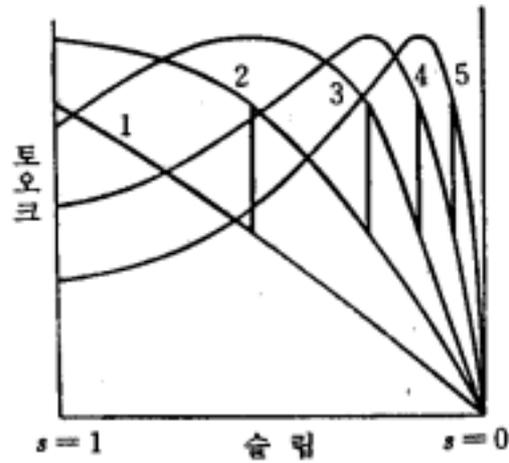


그림 2 기동시의 토크 변화

그림 3 기동시의 전류 변화

Fig. 2 Torque variation in starting

Fig. 3 Current variation in starting

기동저항기를 살펴보면 저항재료는 주로 금속재료를 사용하지만 액체탄산나트륨을 1~3%를 사용한 것도 있다. 기동저항의 값은 2차권선 저항의 15~25배 정도이며 5~6단 정도로 구분하고 있다. 기동저항기는 단시간 동안 사용하는 데 견디도록

설계되어 있으므로 이를 속도제어 등에 사용해서는 안된다. 기동한 뒤에는 슬립링을 단락함과 동시에 브러시를 분리시켜서 마찰손, 전기손 및 소음 등을 제거한 것도 있다.

기동저항기의 종류는 저항치 각 단의 단락방법이나 조절방법에 따라서 다음과 같이 나눌 수 있다.

### 2.1 M/C TYPE 기동저항기

저항기의 2차 단락을 MAGNETIC CONTACTOR로 단락 시키는 방법으로써 매우 부드럽고 신속한 기동방식이다. 전동기 1차 개폐기의 투입으로 기동 및 가속과 동시에 단수별 시간지연 타이머에 의한 전자 접촉기를 순차적으로 단락시켜서 기동하는 방식이다. 각 노치 별로, 부하상태와 기동특성에 따라 적절한 시간을 타이머로 설정하여 사용한다. 구조가 간단하고 유지보수가 쉬운 장점이 있다. 외함구조는 저항기 및 전자접촉기를 구성하는 PANEL과 별도 또는 일체형으로 조립 구성할 수 있다.

### 2.2 유입식 CAM CONTACTOR 방식 기동저항기

3상 유도 전동기의 기동을 전동기의 1차측 개폐기와 병용해서 자동적으로 기동하는 방식이다. 저항기의 2차 단락을 기계적인 방식으로 단락시키며 수동기동이 가능하고 저항의 냉각을 유냉식으로 하므로 내구성이 뛰어나다. 전동기 1차측 개폐기와 병용하여 전동조작으로 기동 제어되고 수동핸들에 의한 수동조작도 가능하다. 전동기의 시동전류 및 시동토크를 알맞은 최적 기동 상태로 유지하면서 기동하는 한류형 기동방식이다.

### 2.3 건식 CAM CONTACTOR 방식 기동저항기

유입식과 거의 같은 방식이지만 냉각방식은 자연냉각 방식이다.

### 2.4 액체 기동 TYPE

강판제의 탱크내에 3조의 가동극판 및 고정극판을 설치하고, 각각 절연관으로 격리되어 있다. 가동전극은 3조 동시에 전동 또는 수동조작으로 전해액중을 이동하는 방식이다. 가동전극과 고정전극의 간격이 최대이고, 전극과 외함간 또는 다른 상간을 절연관으로 격리시키고 전해액 농도에 의해서 전저항치를 설정한다. 수용액(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 저항체로 사용하는 것으로써 저항치의 조절은 수용액내에 설치된 두 전극간의 거리를 조정함으로써 이루어진다. 수용액 내에서 전극이 이동하므로 저항기의 2차 단락을 SPARK 없이 SMOOTH하게 단락시키고 기동 PEAK 전류가 없다. 수용액의 밀도를 조정하여 고유저항을 조정함으로써 저항치의 가감이 용이하

다. 대용량에서는 가격이 저렴하고 경제적인 편이다. 저항기가 무단계로 연속 가변 되므로 주전동기에 무리가 없이 부드럽게 기동이 된다.

그림 4와 그림 5는 M/C TYPE 기동저항기이고, 그림 6은 CAM CONTACTOR 방식 기동저항기이다.



그림 4 M/C TYPE 기동저항기  
Fig. 4 M/C type starter



그림 5 M/C TYPE 기동저항기  
Fig. 5 M/C type starter



그림 6 CAM CONTACTOR 방식 기동저항기  
Fig. 6 CAM type starter

### 3. 변환기

본 연구에서는 권선형 유도전동기의 새로운 기동기를 개발하려 한다. 이를 위하여 전력전자 기술 중에서 변환기를 사용하려 한다. 변환기란 전력변환장치를 가리키며 전력용 반도체 스위치를 이용하여 전력의 흐름을 제어하고 전압, 전류, 주파수들의 형태를 변환하는 장치이다. 변환기는 아래와 같이 분류한다.

#### 3.1 순변환장치

정류기 또는 Converter로 불리우며 AC를 DC로 변환한다.

#### 3.2 역변환장치

Inverter로 불리우며 DC를 AC로 변환 한다.

#### 3.3 초퍼

DC/DC Converter로 불리우며 DC를 다른 값의 DC로 변환한다.

#### 3.4 교류전력조정기

CycloConverter로 불리우며 AC를 다른 전압값 및 다른 주파수의 AC로 변환한다.

이와 같은 변환기 중에서 개발하려고 하는 변환기는 초퍼 즉 DC/DC Converter에 해당한다. DC/DC 컨버터는 DC Chopper라고도 하며 그림 7과 같이 스위치의 on 기간과 off 기간( $t_{on}$ 과  $t_{off}$ )을 제어하여 부하에 전달되는 평균 DC출력전압을 제어한다.

평균출력전압을 제어하는 방법으로는 펄스폭변조(PWM) 스위칭이 사용되며 이것은 일정주파수(즉, 일정 스위칭 주기  $T_s$ )로 스위칭하고 스위칭 on 기간을 조정하여 출력전압의 평균값을 제어하는 방법으로, Duty ratio  $D$ 를 변동시킴으로써 평균 출력전압을 원하는 값으로 제어할 수 있다. 이와 같은 제어를 하는 경우 출력전압  $v_o$ 의 평균값  $V_o$ 는 다음과 같다.

$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} V_d dt = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = DV_d$$

여기서,  $T_s$  = 스위칭 주기,  $D$  = 시비율, 통류율 (Duty ratio)

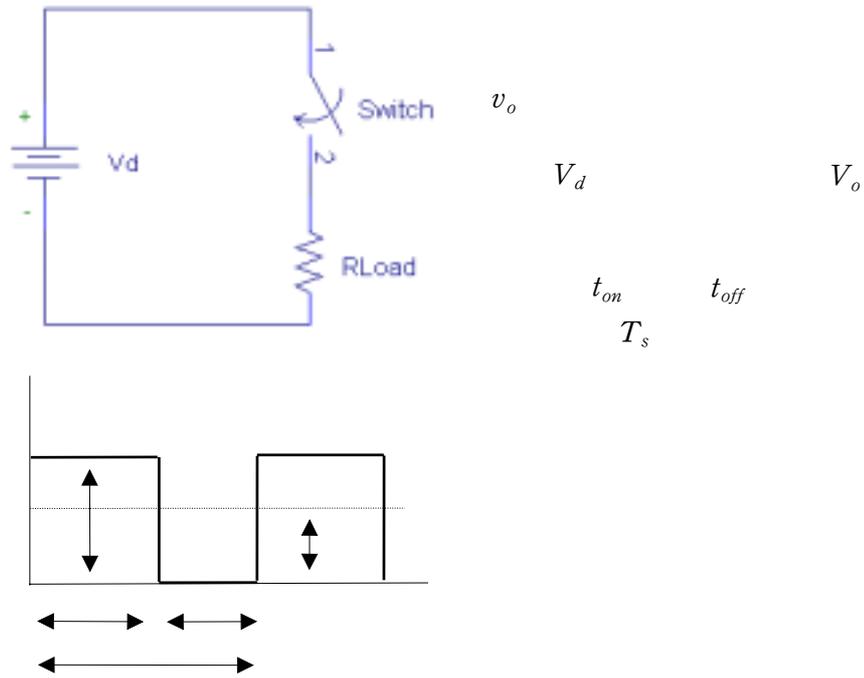


그림 7 DC/DC 컨버터 개념도  
 Fig. 7 Concept diagram of DC/DC Converter

#### 4. 개발된 변환기 제어 방식의 기동기

본 연구에서는 기존의 기동저항기의 단점인 점접 절환에 따른 소음 및 아-크를 방지하기 위하여 점접을 사용하지 않고 반도체 스위칭 소자를 이용하여 2차저항을 가변할 수 있는 변환기 제어 방식 즉 초퍼제어 방식을 개발하였다. 그림 8은 개발된 기동기의 제어블럭도이다.

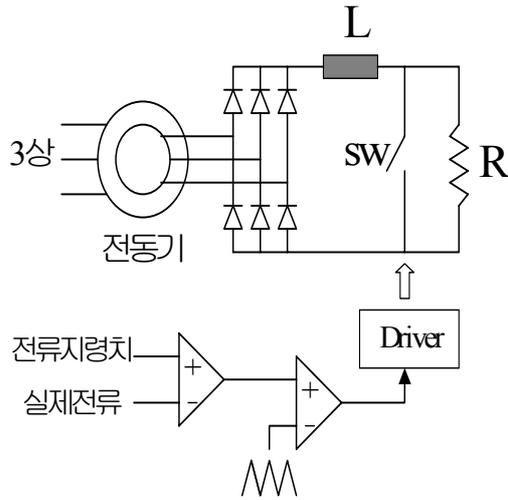


그림 8 개발된 기동기의 제어블럭도

Fig. 8 Control block diagram of developed starter

개발된 기동기는 그림 8과 같이 전동기의 2차측에 3상 브릿지 정류기를 연결하였고 전류의 연속을 위하여 리액터 L을 연결하였다. 전력용 반도체 스위치 SW와 저항 R을 그림과 같이 연결하여 스위치의 on, off에 따라 초퍼제어 한다. 또한 전동기 토크를 기동 순간부터 최대로 제어하기 위하여 토크 및 전류 제어기를 이용한다. 그림 8의 하단은 전동기의 구동을 위한 토크 및 전류 제어기를 나타낸다. 제어 알고리즘으로는 기동시의 토크에 해당하는 토크전류값을 전류지령치로 설정하고, 리액터 L을 흐르는 전류가 실제 전류이므로 이를 전류검출기(C.T.)에 의하여 검출하여 실제전류로 한다. 전류지령치와 실제전류를 연산증폭기의 입력으로 하여 연산증폭기를 이용하여 제어신호를 얻는다. 이 신호는 스위치 SW를 on, off 하는 신호이나 리액터 전류의 연속성을 유지하기 위하여 반송파와 비교하여 펄스폭변조한다. 반송파는 사용하는 스위치의 종류에 따라 다른데 본 기동기를 위하여 스위치로 IGBT를 사용하므로 15kHz의 주파수를 갖는 삼각파 형태의 반송파를 사용한다. 이렇게 펄스폭변조된 신호는 IGBT를 위한 Driver 회로에 의하여 증폭되어 스위치 SW를 on, off 한다. Driver 회로에서는 on인 경우 +15V를, off인 경우 -15V를 스위치에 인가하도록 설계하였다.

그림 9와 그림 10은 토크 및 전류 제어를 실시한 경우의 기동시의 토크와 전류를 나타낸다. 토크는 A점까지 증가하다가 A점부터 최대 토크로 토크제어를 하는 경우이다. 이것은 개발된 기동기에서 초퍼제어를 이용하여 외부저항값을 연속적으로 가변할 수가 있어 가능하다. 기존의 기동기는 점점에 의하여 외부저항의 단수를 변동시키므로 토크가 불연속적으로 변화되므로 토크에 그림 2와 같이 현탕이 생기

지만, 개발된 기동기는 그림 9와 같이 토크가 일정하게 제어되므로 헌팅이 없이 기동이 가능하다. 또한 그림 10과 같이 B점 이후 전류를 일정하게 제어하는 것이 가능하다.

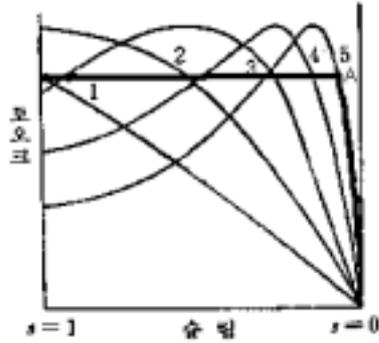


그림 9 기동시의 토크제어

Fig. 9 Torque control in starting

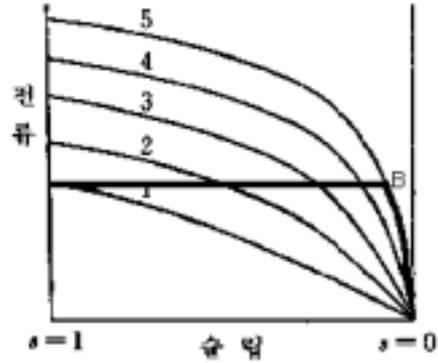


그림 10 기동시의 전류제어

Fig. 10 Current control in starting

### 5. 개발 결과

본 연구에서는 실제로 제어회로 및 Power Stack를 제작하고 기구물을 제작하여 시작품을 제작하였다. 그림 11은 개발된 기동기의 외부를, 그림 12는 개발된 기동기의 내부를 나타낸다. 시작품을 실제로 권선형 유도전동기와 연결하여 기동 시험을 하였고 보완하여 개발된 기동기의 성능을 확인 하였다. 이 결과, 개발된 기동기는 접점을 사용하지 않으므로 접점의 접촉에 따른 소음을 발생시키지 않았고 따라서 아-크 또한 없었고, 일정 전류제어 및 일정 토크제어로 기동되어 전동기가 헌팅 없이 안정된 운전 및 정밀제어가 가능하였고, 전체적인 부피를 줄일 수 있었다. 따라서 기존의 기동저항기 보다 우수함을 알 수 있었다.



그림 11 개발된 기동기(외부)  
Fig. 11 Developed starter(outside)



그림 12 개발된 기동기(외부)  
Fig. 12 Developed starter(inside)

## 5. 결론

본 연구에서는 권선형 유도전동기의 기동기에 대하여 다루었다. 기존의 기동저항기는 2차저항법을 이용한 것으로 이를 구현하기 위하여 M/C나 CAM CONTACTOR 등을 사용되었다. 그러나 M/C를 사용하므로 접점의 접촉에 따른 소음과 아-크가 발생하고 전동기가 헛팅하는 단점을 갖고 있다. 본 연구에서는 전력용 반도체 스위치를 사용한 권선형 유도전동기의 새로운 기동기를 개발하였다. 개발에 따른 성과는 다음과 같다.

- (1) 전력용 반도체 스위치를 사용하여 소음 및 아-크 제거
- (2) 제어 알고리즘의 사용으로 기존의 기동저항기 보다 기동시 토크 및 전류의 정밀제어 가능
- (3) 전동기가 헛팅 없이 안정된 운전 가능
- (4) 새로운 방식의 기동기로 기존의 기동기 대체 가능
- (5) 기존의 기동저항기 보다 효율적인 운전 가능
- (6) 접점에 의한 시퀀스제어에서 첨단 반도체 전력소자 사용 유도 효과

본 연구에 대한 상품화가 이루어질 경우 기존의 기동저항기를 대체할 가능성이 크며 또한 대형의 권선형 유도전동기의 안정 운전에 기여할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- (1) 이윤중, 1983, *신편 전기기계*, pp. 336 ~ 345
- (2) 윤병도, 1999, *신제 전기기계*, pp. 227 ~ 231
- (3) 신재화 외 4인, 1997, *전기기기*, pp. 392 ~ 398
- (4) 노의철 외 2인, 2000, *전기기기*, pp. 188 ~ 203
- (5) Mohan, 1989, *Power Electronics*, pp. 161 ~ 172
- (6) Bose, 1987, *Power Electronics and variable frequency drives*, pp. 85 ~ 98
- (7) Ang, 1995, *Power switching converters*, pp. 13 ~ 26