

영구자석 기동장치의 유무에 따른 회전자 돌극형 단상 SRM의 순간 토오크

김준호\*, 이은웅\*, 이종한\*, 김용현\*, 이현우\*, 이민명\*\*  
 충남대학교\*, 한밭대학교\*\*

Instant Torque of Salient Pole Rotor Type Single-Phase SRM According to Installed Permanent Magnet Starting Device or Not

Jun-Ho Kim\*, Eun-Woong Lee\*, Jong-Han Lee\*, Yong-Hun Kim\*, Hyun-Woo Lee\*, Min-Myung Lee\*\*  
 ChungNam National University\*, HanBat National University\*\*

**Abstract** - A multi pole SRM (switched reluctance motor) is applied by the regulated current in regular sequence. So, it can be started by itself. But a single phase SRM can not be started by itself because the positive torque is only generated in the limited zone which the inductance is increased. Therefore, it is required auxiliary device for self starting which place the rotor in start position.

The prototype was designed and fabricated in the previous research. It has the permanent magnet, which is installed in the bottom of the rotor, for self starting. But the permanent magnet affect the prototype during operation and cause the decrease of the torque and speed. The influence of the permanent magnet on the average torque and speed was already confirmed.

On this paper, the instant torque of the prototype was calculated from the experiment results which is the inductance and current according to installed permanent magnet or not.

1. 서 론

일반적으로 3상 또는 다상 SRM은 일정한 간격으로 배치된 고정자 극을 순차적으로 여자시켜 모든 구간에서 정 토오크가 발생하지만 단상 SRM은 모든 고정자 극을 동시에 여자시키므로 정 토오크가 발생하는 구간이 한정되어 있다. 따라서 단상 SRM을 기동시키기 위해서는 인덕턴스가 증가하는 지점에 회전자를 위치시키는 것이 필요하다.[1][2]

본 연구실에서는 선행 연구에서 회전자 돌극형 단상 SRM을 설계하여 시작기를 제작하였고 기동을 위하여 회전자 하판에 영구자석을 이용한 기동 보조 장치를 설치하였다.[3][4][5] 영구자석 기동장치는 시작기의 기동을 도와주지만 운전 중에도 계속 영향을 주어 속도 및 토오크를 감소시킨다. 앞선 연구에서 이미 영구자석 기동장치가 무부하 속도 및 평균 토오크에 미치는 영향을 확인하였다.[6][7]

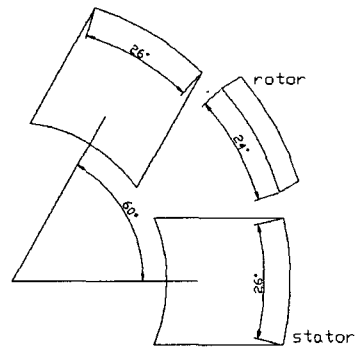
본 논문에서는 실험을 통해 얻은 시작기의 인덕턴스 파형과 여자 구간에 따른 전류 파형을 이용하여 영구자석 기동장치의 유무에 따른 시작기의 순간 토오크의 변화를 비교, 확인하고자 한다.

2. 시작기의 구조

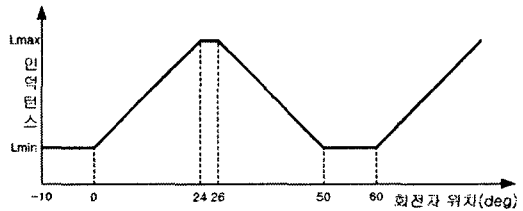
2.1 인덕턴스 파형

시작기는 그림 1처럼 고정자와 회전자가 60°간격으로 각각 6개씩 배치되어 있으며 회전자가 바깥쪽에 위치한 외전형 구조이다. 회전자 극호와 고정자 극호의 크기는 각각 24°, 26°이다.

회전자 극호와 고정자 극호가 서로 접하기 시작하는 부분을 0°라고 하면 시작기의 인덕턴스 파형은 그림 1(b)와 같다. 최대 인덕턴스 구간은 2°이고, 최소 인덕턴스 구간은 10°이다. 그리고 이론적으로 시작기를 여자시킬 수 있는 구간은 -5° ~ 25°사이이다.



(a) 고정자와 회전자 극호



(b) 이상적인 인덕턴스 파형  
 그림 1. 시작기의 구조

2.2 영구자석 기동장치

단상 SRM의 토오크는 식(1)과 같다. 따라서 토오크는 전류  $i$ 의 제곱에 비례하고 인덕턴스  $L$ 의 변화율에 반 비례한다. 즉, 토오크의 방향은 전류의 방향에 무관하고 인덕턴스의 변화율에 따라 결정되므로 인덕턴스가 증가하는 구간에서만 정토오크가 발생한다.

$$T_e = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \quad (1)$$

따라서 시작기를 기동시키기 위해서는 기동시에 인덕턴스가 증가하는 구간인 0° ~ 24° 사이에 회전자가 위치해 있어야 한다. 또한 기동장치는 회전자의 회전방향을 일정하게 고정시키는 역할을 한다.[7]

그림 2는 시작기의 회전자 하판에 설치된 기동장치인 영구자석을 나타낸 것이다. 고정자에 삽입된 쇠기동과 영구자석이 작용하여 정지시에 회전자를 일정한 지점에 위치시킨다.

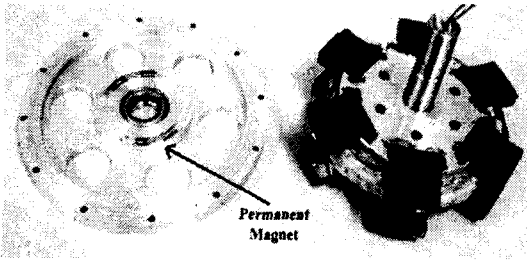


그림 2. 영구자석 기동장치

### 3. 인덕턴스 측정

시작기에 일정한 전류를 인가한 상태에서 강제로 회전시키면서 단자전압  $v$  와 전류  $i$  를 측정하였고 식(2)을 이용하여 쇄교자속을 구하였다. 또한 식(3)을 이용하여 쇄교자속으로부터 시작기의 인덕턴스 파형을 구하였다.[8] 그림 3은 시작기의 쇄교자속 파형이고 그림 4는 인덕턴스 파형이다.

$$\Phi = \int (v - Ri) dt + \Phi_0 \quad (2)$$

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad (7)$$

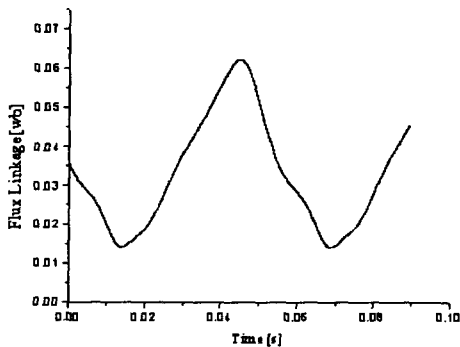


그림 3. 쇄교자속 파형

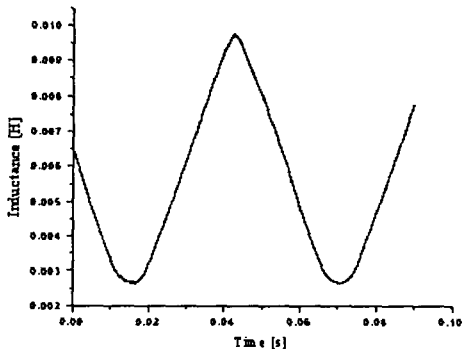


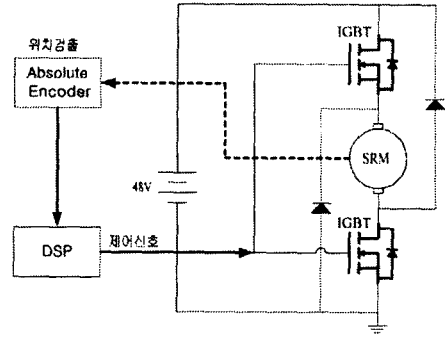
그림 4. 인덕턴스 파형

### 4. 여자 전류 측정

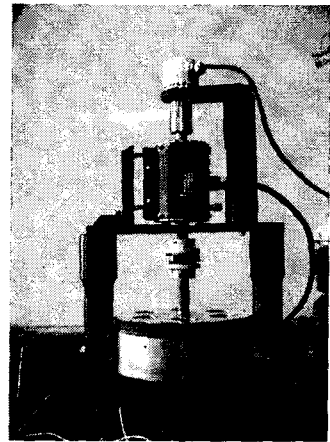
#### 4.1 구동 및 제어장치

시작기의 여자 전류를 측정하기 위하여 그림 5와 같은 구동 및 제어장치를 제작하였다. 회전자의 위치는 상부에 설치된 앵슬루트 엔코더에 의해 검출되고 DSP는 검출된 위치신호로 요구되는 특정 구간에만 여자될 수

있도록 제어 신호를 내보낸다.



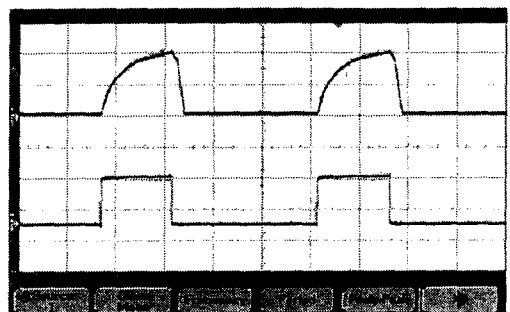
(a) 회로도



(b) 구동 및 제어장치  
그림 5. 실험 장치



(a) 기동장치 유



(b) 기동장치 무

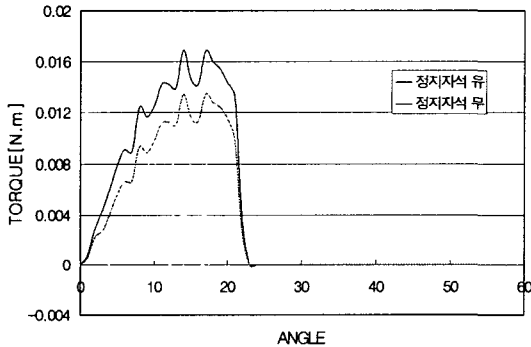
그림 6. 여자전류 파형(0°~ 24°)

## 4.2 여자전류 파형

그림 6은 위의 실험 장치로  $0^\circ \sim 20^\circ$  구간만 여자를 시킨 상태에서 측정된 여자전류 파형이다. 그림 6(a)는 영구자석 기동장치가 설치된 상태에서, 그림 6(b)는 영구자석 기동장치가 제거된 상태에서 측정된 것이다. 전류 파형의 주기에서 알 수 있듯이 기동장치의 유무에 따라 속도가 다르다. 기동장치가 설치되어 있는 그림 6(a)는 200[rpm], 기동장치가 제거된 그림 6(b)는 225[rpm]이다.

## 5. 순간 토오크

그림 4의 인덕턴스 파형과 그림 6의 전류 파형을 위치에 따른 값으로 변환한 이후에 식(1)에 대입하여 시작기의 순간 토오크 파형을 구하였다. 그림 7은 각각 기동장치의 유무에 따른 순간 토오크 파형을 나타낸 것이다. 기동장치가 있는 경우의 순간 토오크가 없는 경우보다 전체적으로  $0.02 \sim 0.03$ [N.m] 정도 높음을 확인할 수 있다. 이것은 영구자석이 운전 중에 부하로 작용하여 속도가 줄고 전류가 증가하여 순간 토오크가 높게 나타난 것이다. 그러나 부하가 없는 상태에서 토오크가 높게 나온 것이므로 실제로 운전 중에 사용할 수 있는 토오크는 감소한 것과 같다. 따라서 이용 가능한 순간 토오크는 영구자석이 없는 경우가 있는 경우보다  $0.02 \sim 0.03$  정도 더 높다.



## 6. 결 론

인덕턴스를 측정할 수 있는 실험 장치와 여자 구간을 조절할 수 있는 구동 및 제어장치를 제작하여 인덕턴스 및 여자 전류 파형을 측정하였다. 그리고 실험으로 얻은 결과를 이용하여 시작기의 순간 토오크를 계산하였다.

영구자석이 운전 중에 부하로 작용하여 속도는 감소하고 전류가 상승했으며 그에 따라 무부하 순간 토오크가 영구자석이 없는 경우보다 높게 나타나는 것을 확인하였다. 그러나 무부하 상태의 토오크가 높게 나타난 것이므로 실제로 이용할 수 있는 토오크는 전체적으로  $0.02 \sim 0.03$ [N.m]가 감소되는 것이다.

지금까지의 실험을 통하여 영구자석 기동장치가 시작기에 미치는 여러 가지 영향을 확인하였다. 이를 토대로 영구자석 기동장치가 전동기에 미치는 영향을 감소시키는 방안을 연구하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

[1] H.R. Bolton, D.A.G. Pedder, "Low-cost reluctance drive system for low-power, low-speed application", IEE Conf. Publ. 179, pp.88-92, 1979  
 [2] 이종한, 이은웅, 조현길, "디스크형 단상 스위치드 릴럭턴스 모터의 기본 설계", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.9 11, 1996

[3] 이종한, 이은웅, 이동주, "포화를 고려한 디스크형 단상 SRM의 3차원 유한요소해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권, pp.325-327, 1998

[4] 이종한, 오영웅, 이은웅, "3차원 FEM 해석에 의한 디스크형 단상 SRM의 시작기 제작과 특성 해석", 대한전기학회 논문지, 48권 B, No.6, pp.316-321, 1999

[5] 이종한, 오영웅, 이은웅, "디스크형 단상 SRM의 구동드라이브 제작과 성능 측정", 대한전기학회 논문지, 49권 B, No.1, pp.15-19, 2000

[6] 김준호, 이은웅, 조현길, 이승민, 이화수, "영구자석 기동장치가 회전자 돌극형 단상 SRM의 무부하 속도에 미치는 영향", 대한전기학회추계학술대회 논문집, pp.73 75, 2002.11

[7] 김준호, 이은웅, 이충원, 서정민, 김건목, "영구자석 기동장치가 회전자 돌극형 단상 SRM의 평균 토오크에 미치는 영향", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1030-1032, 2003. 07

[8] Jun-Ho Kim, Eun-Woong Lee, Hyun-Kil Cho, Jong-Han Lee, Chung-Won Lee, "Estimation of Magnetic Co-Energy in Salient Pole Rotor Type Single Phase SRM", KIEE International Transactions on EMECS, Vol.4-B No.2, pp.47-53, 2004. 06