

단상 SRM에 사용되는 영구자석 기동장치의 최적 설계 II

김준호*, 이은웅**, 이종한**, 이면명***

LG산전*, 충남대학교 전기공학과**, 한밭대학교 전기공학과***

The Optimum Design of the Permanent Magnet Starting Device used in the Single-Phase SRM

Kim, Jun-Ho* · Lee, Eun-Woong** · Lee, Jong-Han** · Lee, Min-Myung***
 LGIS*, Chung-Nam Nat'l Univ.** , HanBat Nat'l Univ.***

Abstract - The single-phase SRM(switced reluctance motor) has only one inductance variation and the positive torque is not generated in all section. So, the single-phase SRM can be started by itself if the rotor is placed at the positive slope of inductance variation by the starting device. In the previous study, equation of the magnetic force of the starting device at the acting point is derived. This paper describes the calculation of the magnetic force at the acting point by making an experiments.

1. 서 론

SRM의 정방향 토크는 인덕턴스가 증가하는 구간에서만 발생된다. 모든 고정자 극이 동시에 여자가 되는 단상 SRM의 경우에는 인덕턴스 파형이 하나만 존재하여 제한된 구간에서만 정방향 토크가 발생된다. 따라서 토크 리플이 매우 심할 뿐만 아니라 정방향 토크가 발생하지 않는 구간에 회전자가 정지해 있으면 반대 방향으로 회전하거나 기동이 불가능한 상태가 된다. 단상 SRM의 기동과 회전 방향의 결정을 위해서는 기동시에 회전자를 인덕턴스가 증가하는 구간에 위치시키는 기동장치가 반드시 필요하다[1],[2].

일반적으로 사용되는 영구자석 기동장치는 구조가 간단하는 장점을 가지고 있다. 하지만 영구자석이 기동중에도 계속 영향을 미치기 때문에 단상 SRM의 속도 및 토크 등의 특성에 악영향을 미친다[3]~[5]. 즉, 영구자석이 부하로 작용하여 속도를 감소시키고 가용 토크 또한 감소하게 된다. 따라서, 영구자석의 기동력은 되도록 작아야 한다[6],[7].

회전자의 정지 마찰력은 기동장치의 힘을 받는 회전자의 작용점에서 필요한 최소한의 기동력이 된다. 기동장치가 필요로 하는 기동력을 구하기 위해 앞선 연구에서는 회전 운동방정식을 이용하여 회전자의 정지 마찰력을 구하였다.[8] 본 논문에서는 앞선 연구에서 유도한 회전자의 정지 마찰력 수식, 제작된 시작기, 그리고 기동 및 제어장치를 활용하여 작용점에서 필요한 최소한의 기동장치 기동력을 구하였다.

2. 기동장치의 기동력

2.1 단상 SRM의 기동

단상 SRM의 토크는 식(1)과 같다. 토크의 방향은 전류의 방향에 무관하며 인덕턴스의 기울기에 따라 토크의 방향이 결정된다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \tag{1}$$

그림 (1)은 일반적인 단상 SRM의 인덕턴스 파형이다. 단상 SRM의 회전자가 일정한 방향으로 회전한다고 가정하면 정방향 토크는 그림 (1)의 1~2 구간에서만 발생한다. 따라서 토크의 발생 구간이 매우 제한적이기 때문에 토크 리플이 다상 SRM에 비해 심하고 기동시에 회전자가 인덕턴스가 증가하는 구간 1~2 사이에 위치하고 있어야 기동이 가능하다.

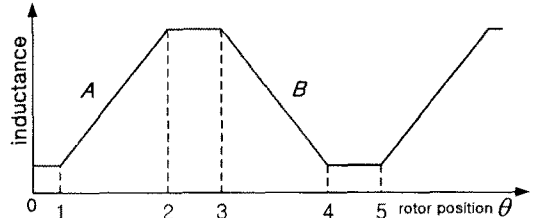
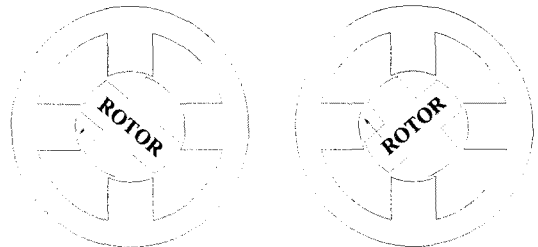


그림 1. 단상 SRM의 인덕턴스 파형

만약 회전자가 반대로 회전하면 인덕턴스가 증가하는 구간은 3~4가 될 것이고 그 구간에서 정방향 토크가 발생된다. 즉, 그림 2(a)는 회전자가 A 위치에 있는 것을 나타낸 것이라면, 그림 2(b)는 회전자가 B 위치에 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. 각각의 회전자는 반시계



방향과 시계방향으로 회전한다.

(a) 반시계 방향 (b) 시계방향
 그림 2. 단상 SRM의 회전 방향

2.2 기동장치의 기동력

기동장치는 임의의 위치에 있는 회전자를 기동이 가능한 위치로 잡아당기는 역할을 한다. 따라서 기동장치가 필요로 하는 기동력은 회전자의 정지 마찰력 및 위치에 따라 달라진다. 그림 3은 기동장치의 기동력에 영향을 받는 회전자의 작용점에서 발생하는 힘의 방향을 나타낸 것이다. 작용점에서의 기동장치 기동력 F_m 은 이상적인 경우에 회전자의 정지 마찰력 F_s 와 크기는 같고 방향은 반대가 된다. 일반적인 경우에는 F_m 과 F_s 사이에 θ 만큼 차이가 발생할 것이다. 따라서 작용점에서의 기동장

치 기자력은 식(2)와 같다.

$$F_m \geq -\frac{F_s}{\cos\theta_f} \quad (2)$$

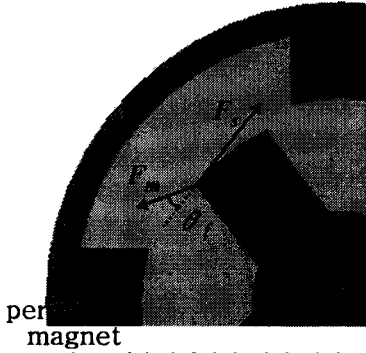


그림 3. 작용점에서의 힘의 방향

회전자가 항상 일정한 각속도로 회전한다고 가정하면 회전 운동방정식으로부터 식(3),(4)를 얻을 수 있다.

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta \quad (3)$$

$$\tau = I\alpha \quad (4)$$

여기서 ω : 회전자의 초기 각속도, ω_0 : 회전자의 최종 각속도, α : 회전자의 각가속도, θ : 회전자의 변위각, τ : 토크, I : 관성 모멘트이다.

회전자가 일정한 속도 [NRPM]로 회전하는 상태에서 여자 전류를 차단한다. 이때, 회전자가 정지할 때까지 일정한 각속도로 회전한다고 가정한다. 회전자가 n 바퀴를 회전하고 θ_0 만큼 이동한 이후에 정지했다고 하면 회전자의 초기 각속도 및 최종 각속도, 그리고 회전자의 변위각은 식(5)~(7)과 같다.

$$\omega = \frac{N}{60} 2\pi = \frac{N\pi}{30} \quad (5)$$

$$\omega_0 = 0 \quad (6)$$

$$\theta = 2\pi n + \theta_0 \quad (7)$$

식(5)~(7)을 식(3),(4)에 대입하고 토크 τ 에 대하여 정리한다. $\tau = F \cdot r \sin\theta_0$ 이고 그림 4에서 보는 것처럼 지금과 같은 경우에는 θ_0 는 90° 이므로 토크 τ 는 식(8)과 같이 된다. 이때, 회전자가 베어링 표면에서 미끄러지지 않고 회전한다고 가정하면 회전자에 작용하는 마찰력은 모두 정지 마찰력 F_s 라고 할 수 있다.

$$F = \frac{(N\pi)^2 I}{1800 \times (2\pi n + \theta_0)} \quad (8)$$

3. 작용점에서의 기자력

3.1 기동 및 제어 장치

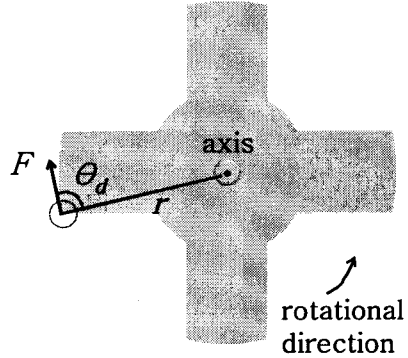
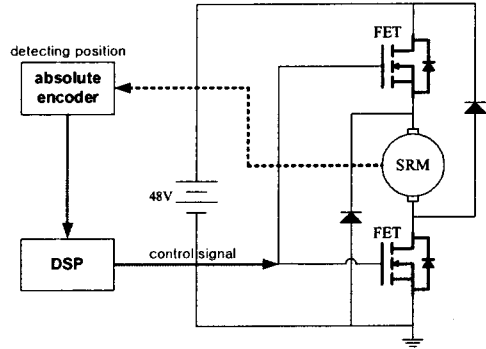
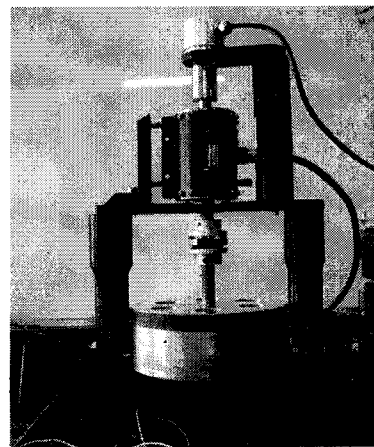


그림 4. 회전자의 마찰력

그림 5는 실험장치의 전체적인 구성과 실험에 사용된 단상 SRM의 시작기를 나타낸 것이다. 회전자의 위치 검출은 앵셀루트 엔코더(absolute encoder)에 의해 이뤄지며 검출된 위치 신호는 DSP에서 지정된 위치 좌표와 비교하여 FET를 on/off시킨다.



(a) 실험장치 구성도



(b) 단상 SRM 시작기
그림 5. 실험장치

시작기의 회전자 극호와 고정자 극호는 각각 24° , 26° 이고 60° 간격으로 배치되어 있다. 따라서 그림 6은 시작기의 이상적인 인덕턴스 파형을 나타낸 것이다. 그림 6에서 0° 는 회전자와 고정자가 겹치기 시작하는 위치를 나타낸 것이다.

3.2 작용점에서의 기자력

본 실험에서는 $0^{\circ}\sim 19^{\circ}$ 구간에 여자 전류를 인가하였고, 이때 발생하는 제어 신호와 여자 전류 파형은 그림 7과 같다. 제어 신호와 여자 전류 파형은 토오크 리플로 인하여 미세하게 진동한다. 본 실험에서는 평균값을 취하여 속도를 계산하였다. 제어 신호와 여자 전류 파형의 한 주기는 10.77[ms]이므로 회전자가 한 바퀴 회전하는데 걸리는 시간은 64.62[ms]이다. 따라서 회전자의 속도는 928.5[RPM]이다.

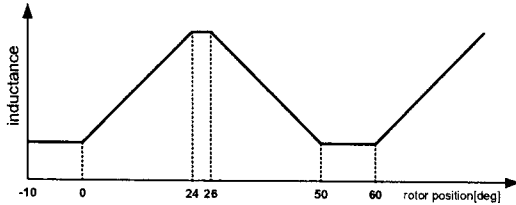


그림 6. 시작기의 이상적인 인덕턴스 파형

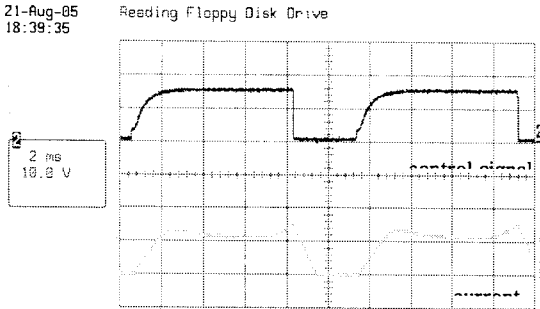


그림 7. 제어 신호 및 여자 전류 파형

회전자가 928.5[RPM]으로 회전하고 있을 때 여자 전류를 차단하였다. 그리고 여자전류가 차단됨과 동시에 회전자가 정지할 때까지의 회전수와 변위각을 측정하였다. 토오크 리플로 인한 회전 속도의 변화로 회전수와 변위각도 측정할 때마다 조금씩 차이가 발생한다. 따라서 10번을 측정하여 평균값을 구하였다. 실험 결과로 회전자는 여자 전류가 차단된 이후 452번 회전하였고 120° 이동하였다.

실험에서 얻는 결과로부터 회전 속도 N 은 928.5[RPM], 회전 변위각 θ 는 $(2 \times 452 + 2/3)\pi$ [radian]이다. 회전자의 형태를 고려하여 계산한 관성 모멘트 I 는 $0.026[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ 이다. 회전자 극을 포함하는 외함의 무게가 무겁게 때문에 관성 모멘트가 높게 나왔다. 위의 값을 식(8)에 대입하면 회전자의 정지 마찰력 F_s 인 0.475[N]을 얻을 수 있다.

작용점에서 필요한 기동장치의 기자력은 이상적인 경우에 회전자의 정지 마찰력과 동일한 0.475[N]이다. 그러나 기자력과 마찰력의 방향이 항상 서로 반대는 아니기 때문에 0.475[N]보다는 크게 된다. 또한, 무부하 상태에서 측정된 결과이기 때문에 부하의 크기와 형태에 따라 필요한 기자력도 증가한다.

4. 결 론

단상 SRM은 모든 구간에서 정방향 토오크가 발생되지 않기 때문에 정방향 토오크가 발생되는 지점에 회전자를 위치시키는 기동장치가 있어야 기동을 할 수 있다. 본 논문에서는 기동장치가 필요로 하는 기자력을 얻기 위한 방법을 제안하였다. 앞선 연구에서 유도한 회전자

정지 마찰력을 구하는 수식과 본 논문에서 실험을 통하여 얻는 결과를 이용하여 회전자의 정지 마찰력을 구하였다. 작용점에서 필요한 기동장치의 기자력은 이상적인 경우에 0.475[N]임을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.J. Lawrenson, "Variable speed switched reluctance motor", IEE Proc., Vol.127, Pt.B, No.4, pp.253-265, July 1980.
- [2] Cossar, C. and Miller, T.J.E., "Electromagnetic testing of switched reluctance motors", International Conference on Electrical Machines, pp.470-474, September 15-17, 1992
- [3] Kim Jun-Ho, Lee Eun-Woong, Oh Young-Woong, Lee Min-Myung, "influence of Starting Permanent Magnet Installed in Salient Pole Rotor Type Single Phase SRM on Flux Linkage", ICEE2001(China), Vol.3, pp.1777-181, 2001.
- [4] 김준호, 이은웅, 조현길, 이승민, 이화수, "영구자석 기동장치가 회전자 돌극형 단상 SRM의 무부하 속도에 미치는 영향", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.73-75, 2002. 11.
- [5] Young-Woong Oh, Eun-Woong Lee, Jong Han Lee, Jun-Ho Kim, "Construction and Characteristics of Single Phase Switched Reluctance Motor", KIEE International Trans on EMECS, Vol.4-B, No.1, pp.6-11, 2004. 1
- [6] 김준호, 이은웅, 김용한, "영구자석 기동장치의 유무에 따른 회전자 돌극형 단상 SRM의 순간 토오크", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.959-961, 2004. 7.
- [7] Jun-Ho Kim, Eun-Woong Lee, et, al, "The Instant Torque of the Salient Pole Rotor Type Single Phase SRM", the International Conference on Electrical Machines and system(ICEMS2004, Jjuju), PN-22(430-M06-043), 2004.10
- [8] 김준호, 이은웅, 이종한, 이빈명, 김명환, "단상 SRM에 사용되는 영구자석 기동장치의 최적 설계 I", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1279-1281, 2005. 7