

단상 SRM에 사용되는 영구자석 기동장치의 최적 설계 I

김준호*, 이은웅**, 이종한**, 이면명***, 김명환****

LG산전*, 충남대학교 전기공학과**, 한밭대학교 전기공학과***, 항공우주연구소****

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

Kim, Jun-Ho* · Lee, Eun-Woong** · Lee, Jong-Han** · Lee, Min-Myung*** · Kim, Myung-Hwan****

LGIS*, Chung-Nam Nat'l Univ.**, HanBat Nat'l Univ.***, KARI****

Abstract - Generally a single-phase SRM(switched reluctance motor) has several stator and rotor poles but these are excited by one regulated current at the same time. It has only one inductance variation. It means that the positive torque is only generated in the positive slope of the inductance variation. The single-phase SRM can not be started by itself. The single-phase SRM can be started by itself if the rotor is placed in the positive slope of the inductance variation. Then, the starting device is required to place the rotor in the starting position before start. On this paper, the equation of the force requisite for the starting device is derived using by the frictional force of the rotor

1. 서 론

단상 SRM은 구조와 자기회로, 그리고 구동 및 제어회로가 간단하여 제작이 쉽고 제작 원가도 적게 든다. 또한, 기체 및 유체 부하 구동에 적합하고 보수가 필요 없을 만큼 경고하여 열악한 환경의 구동용 전동기로 적합하다. 그러나 다상 또는 3상 SRM에 비해 토오크 리풀이 심하고 스스로 기동할 수 없다는 단점을 가지고 있다.[1][2]

단상 SRM은 고정자가 단상 전원에 의해 동시에 여자되기 때문에 오직 1개의 인더턴스 변화 주기를 가진다. 그러므로 정 토오크는 인더턴스가 증가하는 구간에서만 발생한다. 만약 인더턴스가 감소하는 방향에 회전자가 정지해 있다면 부 토오크가 발생되어 반대 방향으로 회전하게 된다.[3]

단상 SRM을 스스로 기동할 수 있게 하고 회전 방향을 일정하게 유지시키려면 기동할 때 회전자를 인더턴스가 증가하는 지점이 위치시켜야 한다. 이를 위하여 단상 SRM은 기동장치가 반드시 필요하다.

일반적으로 단상 SRM의 기동장치는 영구자석 또는 전자석이 많이 활용된다. 특히 영구자석 기동장치는 구조가 간단하고 회전자의 위치 설정이 전자석에 비해 매우 용이하다. 그러나 운전 중에도 기동장치의 영구자석이 회전자에 영향을 미친다.[4][5] 즉, 영구자석이 회전자의 부하로 작용하여 무부하 전류가 증가하고 활용할 수 있는 토오크가 감소할 뿐만 아니라 영구자석에 의한 토오크 불균형으로 토오크 리풀이 더욱 심해진다. 따라서 기동장치에 필요한 영구자석의 힘을 최소한 작게 설계하는 것이 바람직하다.[6][7][8]

본 논문에서는 단상 SRM에 설치되는 영구자석 기동장치에 필요한 최소한의 힘을 실험을 통하여 구할 수 있도록 회전자의 마찰력을 이용한 수식을 유도하였다.

2. 단상 SRM의 기동장치

2.1 인더턴스 변화

단상 SRM의 토오크는 식(1)과 같다. 따라서 토오크의 방향은 여자전류와 무관하고 인더턴스의 변화율에 따라 결정된다.

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

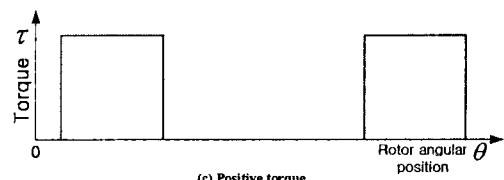
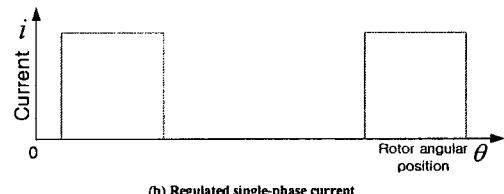
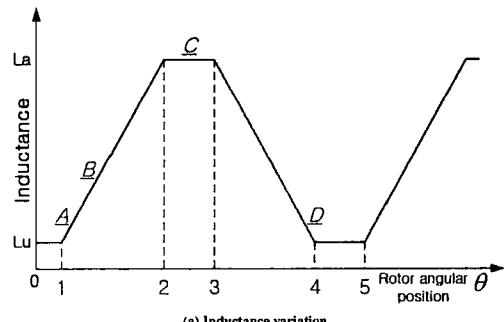
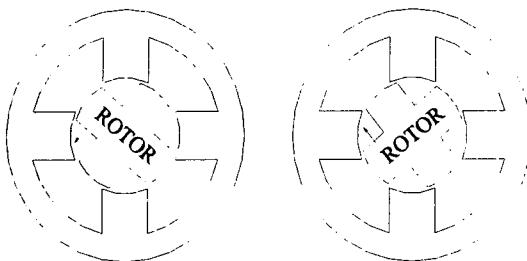


그림 1. 단상 SRM의 인더턴스 변화 및 발생 토오크

단상 SRM의 인더턴스 변화는 그림 1(a)와 같고 인더턴스가 상승하는 구간 1~2에 회전자가 위치했을 때 여자 전류를 인가하면 그림 1(c)와 같이 정 토오크가 발생한다. 그러나 그림 1(a)의 구간 3~4 또는 구간 2~3에 회전자가 위치했을 때 여자 전류를 인가하면 인더턴스의 변화율이 (-)이거나 (0)이므로 부 토오크가 발생하거나 토오크가 발생하지 않는다.

회전자의 위치가 그림 2와 같을 때 여자 전류를 인가하면 그림 2(a)는 반시계 방향으로 회전하고, 그림 2(b)는 시계 방향으로 회전한다.



(a) 반시계 방향
(b) 시계 방향
그림 2. 회전자의 위치에 따른 회전 방향

2.2 단상 SRM의 기동장치

단상 SRM은 토오크가 발생하지 않는 영역과 부토오가 발생하는 영역이 존재하여 스스로 기동을 하지 못할 뿐만 아니라 기동할 때의 회전자 정지 위치에 따라 회전 방향이 달라진다. 따라서 기동할 때 회전자의 위치를 기동 지점에 정지시켜 단상 SRM이 스스로 기동할 수 있도록 도와주고 회전 방향을 일정하게 만들어 주는 기동장치가 반드시 필요하다.

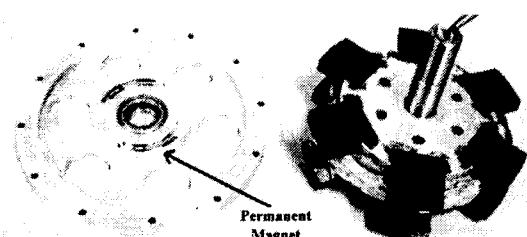


그림 3. 영구자석을 이용한 기동장치

그림 3은 영구자석을 기동장치로 사용한 단상 SRM이다. 영구자석 기동장치는 구조 및 설치가 간단한 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 회전자가 정지할 때 회전자를 기동이 가능한 위치에 정지시켜 다음 운전을 시작할 때 추가적인 조작이 필요 없이 바로 기동이 가능하다. 그러나 영구자석이 운전 중에도 회전자에 계속 영향을 준다.

이로 인하여 영구자석은 단상 SRM의 부하로 작용을 하게 되어 활용할 수 있는 토오크가 감소되고 무부하 전류가 증가하는 단점이 있다. 또한 영구자석과 회전자 사이에 작용하는 힘이 일정하지 않고 회전자 위치에 따라 변화하기 때문에 단상 SRM의 토오크 리플을 더욱 심하게 한다. 그러므로 회전자를 필요한 위치에 정지시킬 수 있는 최소한의 힘으로 정지장치를 제작하는 것이 필요하다.

3. 기동장치 힘의 크기

3.1 회전자의 마찰력

기동장치는 회전자를 기동 지점으로 이동시키는 역할을 수행한다. 따라서 기동장치가 필요로 하는 힘은 회전자의 마찰력에 따라 달라진다. 회전자를 일정한 속도로 회전시킨 상태에서 여자 전류를 차단했을 때 회전자가 정지할 때까지 일정한 각속도로 회전한다고 가정하면 수식 (2), (3)을 회전 운동방정식으로부터 얻을 수 있다.

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

$$\tau = I\alpha \quad (3)$$

여기서 ω : 회전자의 초기 각속도, ω_0 : 회전자의 최종 각속도, α : 회전자의 각각속도, θ : 회전자의 회전 각, τ : 토크, I : 관성 모멘트이다.

회전자가 N[RPM]으로 회전하고 있을 때 여자 전류를 차단시켰다고 가정하면 회전자의 초기 각속도 ω 는 식 (4)와 같고, 회전자의 최종 속도 ω_0 는 "0"이 된다. 그리고 여자 전류가 차단된 이후에 회전자가 "n" 번 회전하고 θ_0 만큼 움직였다고 하면 θ 는 식 (5)와 같다.

$$\omega = \frac{N}{60} 2\pi = \frac{N\pi}{30} \quad (4)$$

$$\theta = 2\pi n + \theta_0 \quad (5)$$

식 (4), (5)를 식 (2)에 대입하여 정리하고 다시 식 (3)에 대입하면 식 (6)이 된다.

$$\tau = \frac{(N\pi)^2 I}{1800(2n\pi + \theta_0)} \quad (6)$$

회전자에 작용하는 마찰력은 정지 마찰력과 운동 마찰력이 있다. 회전자와 배어링 사이에 미끄러지는 현상이 없다고 가정하면 운동 마찰력이 "0"이 되므로 회전자에 가해지는 마찰력은 전부 운동 마찰력이라고 할 수 있다.

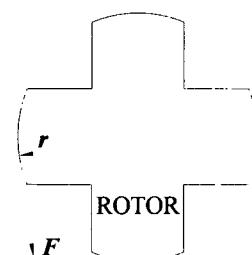


그림 4. 회전자에 미치는 마찰력의 방향

따라서 정지자석의 힘이 영향을 미치는 회전자의 위치가 그림 4처럼 회전자의 중심으로부터 r (반지름) 만큼 떨어져 있다고 가정하면, 그 위치에 가해지는 힘에 대한 회전자의 마찰력 F 는 식 (7)과 같다.

$$F = \frac{(N\pi)^2 I}{1800r(2n\pi + \theta_0)} \quad (7)$$

3.2 기동장치 힘의 크기

회전자와 정지장치가 서로 가장 멀리 떨어져 있을 때 회전자의 마찰력 방향과 영구자석의 힘이 정확히 수평이면 필요한 영구자석의 힘은 회전자의 마찰력보다 동일하거나 약간 크면 된다. 그러나 그림 5처럼 회전자의 마찰력 방향과 영구자석의 힘 방향이 θ_f 만큼 차이가 난다면 필요한 영구자석의 힘 F_m 은 식 (8)과 같다.

$$F_m \geq -\frac{F}{\cos \theta_f} \quad (8)$$

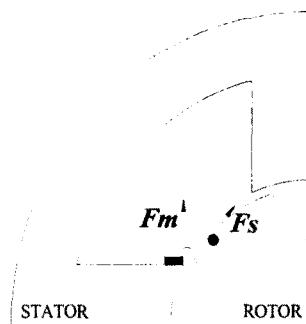


그림 5. 마찰력의 방향과 정지장치 힘의 방향

식 (8)로부터 정지장치에서 발생되는 힘의 방향이 회전자의 마찰력 방향과 차이가 적으면 적을수록 필요한 힘은 감소됨을 알 수 있다.

4. 결 론

단상 SRM은 스스로 기동을 할 수 없고 회전방향을 일정하게 하기 위하여 기동장치를 필요로 한다. 일반적으로 많이 사용되는 영구자석 기동장치는 단상 SRM이 운전하는 동안에도 회전자에 지속적으로 영향을 미쳐 전동기의 특성을 나쁘게 한다.

본 논문에서는 영구자석 기동장치가 회전자를 기동지점에 위치시킬 수 있는 최소한의 힘을 구하기 위하여 회전자가 가지고 있는 마찰력을 이용한 수식을 유도하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] C.C.Chan, "Single-phase switched reluctance motor", IEE Proc., Vol.134, Pt.B, No.1 pp.53-56, January 1987.
- [2] P.J. Lawrenson, "Variable-speed switched reluctance motor", IEE Proc., Vol.127, Pt.B, No.4, pp.253-265, July 1980.
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] 김준호, 이은웅, 조현길, 이승민, 이하수, "영구자석 기동장치가 회전자 돌극형 단상 SRM의 무부하 속도에 미치는 영향", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.73-75, 2002. 11.
- [6] Young-Woong Oh, Eun-Woong Lee, Jong-Han Lee, Jun-Ho Kim, "Construction and Characteristics of Single Phase Switched Reluctance Motor", KIEE International Transaction EMECS, Vol.4-B, No.1, pp.6-11, 2004. 1
- [7] 김준호, 이은웅, 김용한, "영구자석 기동장치의 유무에 따른 회전자 돌극형 단상 SRM의 순간 토크", 대한전기학회 하계학술대회 논문집B, pp.959-961, 2004. 7.
- [8] 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(CEMS2004, Juju), PN-22(430-M06-043), 2004.10