

Line-start SynRM의 기동 특성 개선을 위한 자기회로 설계

남 혁, 홍정표, 엄재부*, 정태욱*
 창원대학교 전기공학과, *LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소.

Magnetic Circuit Design to Improve Starting Characteristic of Line-start SynRM

Hyuk Nam, Jung-Pyo Hong, Jae-Boo Eom*, Tae-Uk Jung*
 Dept. of Electrical Eng., Changwon Nat'l Univ., DA Lab., *LG Electronics

Abstract - This paper deals with the improvement of starting characteristic of line-start synchronous reluctance motor(SynRM). To decide the number of conductor bars, the locking torque, when slip is 1, is computed by finite element method(FEM). And then, the magnetic circuit is designed to improve the starting torque according to the rotor position from the shape design of the conductor bars of the rotor with the flux barriers.

1. 서 론

단상 유도전동기는 구조가 간단하고 제작이 용이하며, 별도의 전력변환장치 없이 상용전원을 이용하여 기동이 가능하므로 가전분야에서 널리 이용되고 있으나, 단상 불평형 자계에 의한 성능의 저하 및 2차 동손의 발생으로 효율 향상에 한계가 있다. 한편, 단상 영구자석형 유도동기기(Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor: LSPM)는 단상유도전동기의 회전자에 영구자석을 매입한 구조로서 출력 에너지 밀도가 높고, 정상상태에서 동기속도로 운전하므로 단상 유도전동기에 비해 회전자 도체바에 의한 손실을 현저히 감소시킬 수 있으며 자화전류를 요구하지 않으므로 역률 및 효율이 높다는 장점을 가진다 [1]. 그러나, 큰 기동전류에 의한 불가역감자 및 온도의 영향에 의한 전동기의 신뢰도 문제, 가격 상승의 원인이 될 수 있다.

단상 동기형 릴럭턴스 전동기(Line-start Synchronous Reluctance Motor: Line-start SynRM)는 LSPM과는 달리 회전자에 영구자석이 없고, 릴럭턴스 토크 확보를 위하여 자속장벽(Flux barrier)이 존재한다. 즉, Line-start SynRM은 도체바를 이용하여 유도기동을 하고 정상상태에서는 자속 장벽으로 발생하는 인덕턴스 차이에 의한 릴럭턴스 토크를 이용하여 동기속도로 운전하는 Hybrid형 전동기이다. 따라서, 정상운전 시에는 슬립에 의한 2차측 동손을 줄일 수 있으므로 단상 유도전동기에 비해 고효율이 가능하며, 별도 부가장치 없이 기동특성이 가능하며, 소음면에서도 스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)보다 유리하다. 또한, 영구자석형 전동기와는 달리 회전자는 철심과 도체바만 존재하는 간단한 구조이므로 고장이 적어 신뢰도가 높고, 유지 보수가 용이하며, 저 비용의 제작이 가능하다 [2]. 그러나, Line-start SynRM은 유도기동 시, 정상상태에서 릴럭턴스 토크 발생을 위한 자속장벽으로 인해 자기회로 불평형이 발생하게 되어 회전자의 초기 위치에 따라 기동 특성이 달라질 수 있다. 또한, 정상상태에서 고 토크·고 효율을 얻기 위해서는 d-q축 인덕턴스 차 및 돌극비의 향상을 위하여 d-축 자로를 충분히 확보하고, q-축의 자기저항의 증가에 따른 자속량 감소로 인한 기동 토크 보상을 위하여 q-축의 도체바가 차지하는 단면적은 작게 하여야 하는 반면, d-축 도체바는 정상상태 운전 시 불평형 자계에 의한 도체바 손실을 저감시키기 위하여 커져야 하므로 이로 인한 회전자의 초기 위치에 따라 기동 특성의 차이를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 회전자 도체바의 개수에 따른 기동 특성 분석을 통하여 Line-start SynRM에 적합한 도체바 개수를 결정하였다. 그리고, 각 위치별 도체바가 기동 토크에 미치는 영향과 자속장벽이 3개 일 때, 각 자속 장벽이 유도기동 시 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 분석된 결과를 바탕으로 하여 Line-start SynRM의 기동 특성 개선을 위한 회전자의 자기회로 설계를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 Line-start SynRM의 구조 및 특성

그림 1과 그림 2는 각각 Line-start SynRM의 구조 및 고정자 권선의 결선도를 나타낸 것이다. 고정자는 단상 유도전동기와 마찬가지로 주권선과 구동 커패시터가 직렬 연결된 보조권선이 병렬로 연결되어 있으며, 회전자는 기동토크 확보를 위한 도체바와 동기속도 운전 시의 릴럭턴스 토크를 발생하는 자속장벽으로 구성되어 있다. 이러한, Line-start SynRM의 정상상태 특성 향상을 위해서는 d-q 축 인덕턴스 차 및 돌극비를 충분히 확보하여야 하므로 d-축 인덕턴스(자화인덕턴스)를 충분히 하기 위하여 d-축 자속은 전체 극 표면을 따라 흘러야 하며, q-축 인덕턴스를 최소화하기 위하여 q-축 자속은 적게 흘러야 한다. 그러나, 자속장벽은 기동 시에는 자기저항의 증가에 따른 자속량 감소, 자기회로의 불평형으로 인하여 회전자 초기 기동 위치에 따른 균일한 기동 토크 확보의 어려움 등을 초래하므로, 도체바의 개수 및 형상 결정은 Line-start SynRM의 자기회로 설계에 있어서, 중요한 설계 변수가 된다.

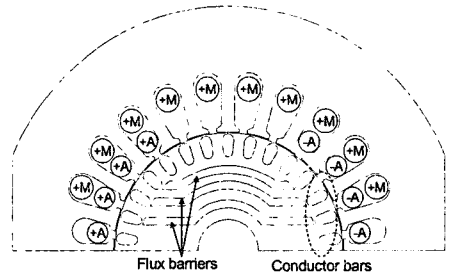


그림 1 Line-start SynRM의 구조

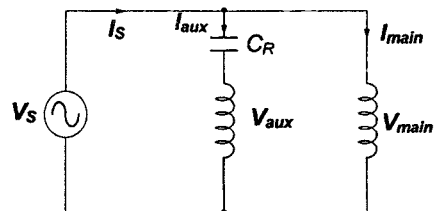


그림 2 Line-start SynRM의 고정자 권선 결선도

2.2 도체바의 개수에 따른 구속 시 토크 특성

자속장벽이 존재하지 않더라도 농형 유도전동기의 경우에는 고정자 및 회전자 슬롯수의 조합에 따라서 전동기의 기동 특성에 영향을 미치게 된다. 고정자 및 회전자에서 발생하는 고조파 회전자계의 영향에 따라서, 운전중 진동·소음 발생, 회전자 위치에 따른 기동 토크의 변화 등을 야기 시키므로 도체바 개수의 선정은 상당히 중요하다 [3]. 본 장에서는 도체바의 개수가 30, 32, 33, 34개 일 때, 회전자 정지 시, 회전자의 초기 위치에 따른 구속 토크를 비교·분석하였다.

그림 3은 동일한 고정자 및 철심 재질에서, 도체바의 개수에 따른 해석모델을 나타내며 도체바의 저항은 동일하도록 도체바의 단면적을 결정하였다. 엔드링의 저항은 동일하고, 스킴은 없다고 가정하였다. 그림 3에서의 도체바의 위치가 회전자 초기 위치각 0(deg.)라고 할 때, 2, 4, 6, 8, 10(deg.)의 위치에 대하여 해석을 수행하였다.

그림 4는 그림 3의 각 해석모델에 대하여 회전자 정지시, 즉, 구속 시 시간에 따른 토크 특성을 나타낸 것이다. 그림 4(a), (b)에서 보는 바와 같이 부분적으로 역토크가 발생하는 구간이 존재하였다. 그림 4(c)에서는 회전자의 초기 위치에 관계 없이 거의 균일한 토크 분포를 가지며, 그림 4(d)에서는 회전자 초기 위치가 2(deg.)일 때, 약간의 역토크가 발생하지만, 전반적으로 균일한 분포를 가지게 된다.

그림 5는 그림 4의 예에서의 회전자 위치에 따른 평균 토크 특성을 나타낸 것이다.

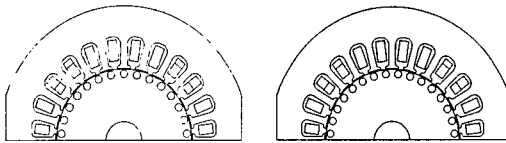
도체바의 개수가 33개일 때, 회전자 위치에 따라서 가장 균일한 토크 특성을 나타내며, 도체바의 개수 34개 일 때에는 33개 일 때보다 평균 토크의 변화는 심하지만 30, 32개에 비해서는 양호한 특성을 나타내었다. 한편, Line-start SynRM에서는 회전자에 자속장벽이 존재하게 되며, 홀수개의 도체바의 개수는 자기회로가 비대칭이 되므로 33개의 도체바는 적합하지 않다.

따라서, 본 논문에서는 Line-start SynRM의 기동 특성 개선을 위해서 도체바의 개수를 34개로 결정하였다.

2.3 도체바의 형상 변화에 따른 구속 시 토크 특성

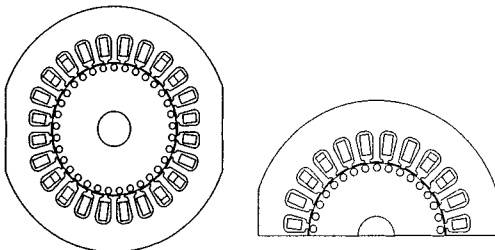
그림 6은 자속장벽과 각 도체바의 형상 변화에 따른 토크 특성 분석을 위한 자속장벽의 개수가 3개, 도체바의 개수가 34개인 해석모델을 나타내었다.

그림 7은 자속장벽에 따른 구속 시 회전자 초기 위치에 따른 평균 토크 특성을 나타낸 것이다. 이때, 모든 도체바는 균일하도록 하였다.



(a) 30

(b) 32



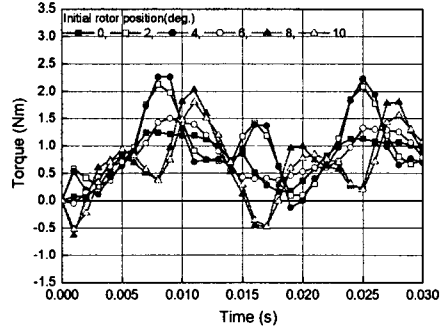
(a) 33

(b) 34

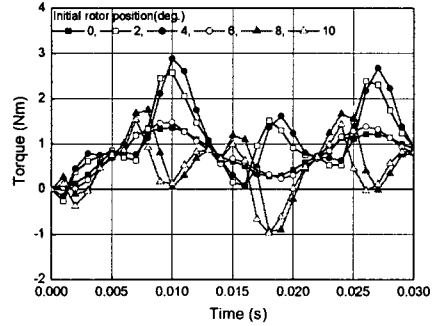
그림 3 도체바의 개수에 따른 해석모델

자속장벽 1은 70, 100, 120(deg.)에서 특히 구속 시 토크에 악영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

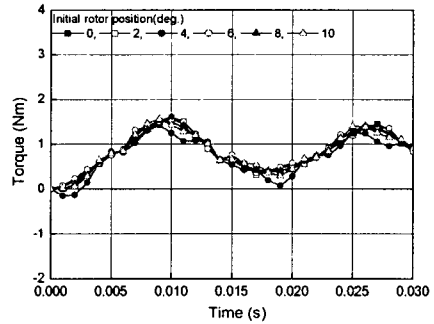
그림 8은 각 도체바의 형상 변화에 따른 평균토크 특성을 나타낸다. 이때, 자속장벽은 없으며, 도체바의 형상은 균일하게 변화시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 각 도체바의 형상 변화에 따라서 구속 시 회전자 초기 위치에 따른 토크 특성은 차이를 나타낼 수 있다.



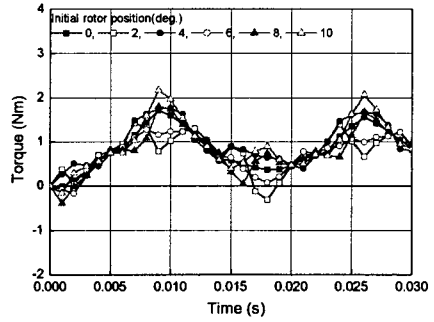
(a) 30



(b) 32



(c) 33



(d) 34

그림 4 도체바의 개수에 따른 구속시 토크 특성

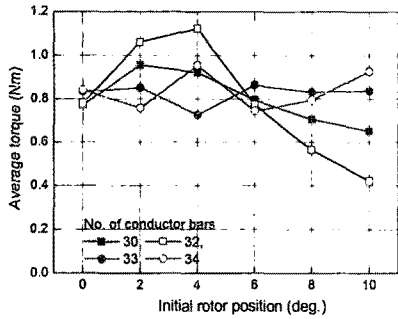


그림 5 도체바의 개수에 따른 구속 시 평균 토크 특성

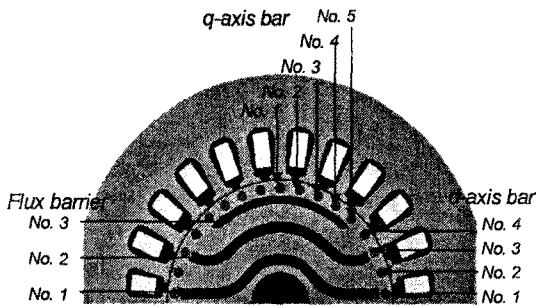


그림 6 도체바 형상에 따른 토크 분석을 위한 해석모델

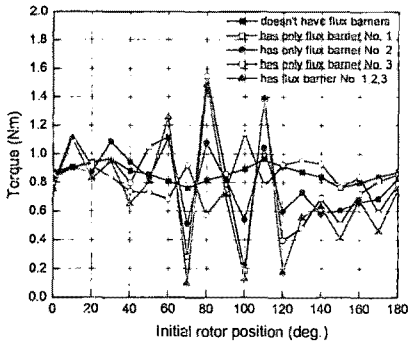


그림 7 자속장벽에 따른 구속 시 토크 특성

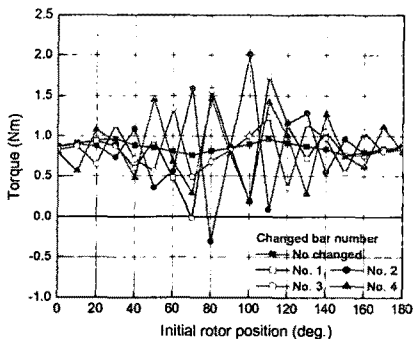


그림 8 도체바 형상 변화에 따른 구속 시 토크 특성

2.4 구속 시 기동 특성 개선을 위한 설계

그림 9는 Line-start SynRM의 초기모델 및 기동 특성 개선모델이다. 초기모델은 d-축 자로 확보를 위해 고정자와 회전자의 슬롯수가 동일한 반면, 개선모델

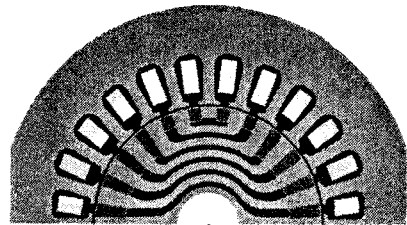
은 고정자와 회전자의 슬롯수가 각각 24, 34개이며 자속장벽 3개에 대하여 구속 시 토크가 개선되도록 도체바의 형상을 결정하였다. 각 해석모델에 대하여 회전자 위치에 따른 구속 시 평균 토크 해석 결과를 그림 10에 나타내었다. 초기모델은 큰 역토크의 주기적인 발생으로 인하여 기동이 불가능하며, 개선모델은 회전자의 초기 위치에 따라, 역토크가 거의 발생하지 않고 전반적으로 초기모델에 비해 구속 시 기동토크가 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

3. 결 론

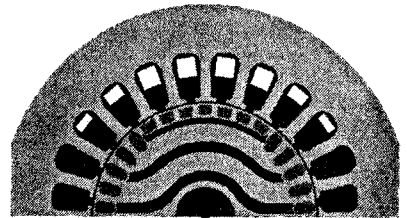
본 논문에서는 Line-start SynRM의 기동 특성 개선을 위한 자기회로 설계를 수행하였다. 도체바 개수 및 형상 설계를 통하여 기동 특성 개선모델을 설계하였으며 초기모델과의 비교를 통하여 기동 특성이 개선되었음을 입증하였다. 향후, 회전속도에 따른 기동 특성 분석을 통하여 동기화까지의 기동 특성 개선을 위한 자기회로 설계를 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강규용 외 2, "단상영구자석형 유도동기기의 정상상태 특성 해석", 대한전기학회논문집, vol. 52B, no. 2, pp. 53-60, 2003.
- [2] 이중호, "가전용 340W급 동기형 릴럭턴스 전동기 설계 및 효율특성 실험", 대한전기학회논문집, vol. 52B, no. 2, pp. 39-52, 2003.
- [3] 박민호, "유도기기", 동명사, 1998.



(a) 초기모델



(b) 개선모델
그림 9 해석모델

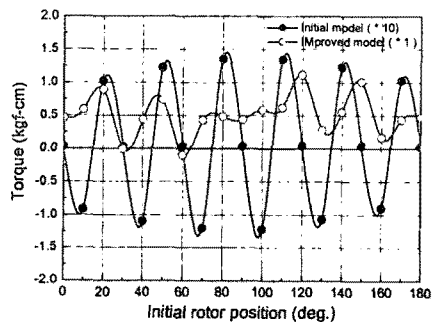


그림 10 해석모델에 따른 구속 시 평균 토크 특성