

LSRM의 기동 안정성 개선을 위한 도체바 설계

정태욱, 남혁, 엄재부, 엄상준, 조성국, 홍정표*
LG전자(주) DAC 연구소, 창원대학교 전기공학과*

Conduction Bar Design to Improve Starting Stability of LSRM

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

Abstract - This paper deals with the conductor bar design to improve starting stability of line-start synchronous reluctance motor(LSRM). As design variables, the number and the shape of conductor bars of rotor are chosen. The starting characteristics are calculated by finite element method(FEM) and the conductor bars are designed to improve the starting torque according to initial starting rotor position. Finally, the starting characteristic of the designed model are compared with that of the initial model.

1. 서 론

단상 유도전동기는 구조가 간단하고 제작이 용이하며, 별도의 전력변환장치 없이 상용전원을 이용하여 기동이 가능하므로 가전분야에서 널리 이용되고 있으나, 불평형 자계에 의한 성능의 저하, 2차 동순의 발생으로 효율 향상에 어려움이 있다. 단상 영구자석형 유도동기기 (Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor; LSPM)는 단상유도전동기의 회전자에 영구자석을 매입한 구조로서 출력 에너지 밀도가 높고, 동기속도 운전에 따른 회전자 도체바 손실을 현저히 감소시킬 수 있다는 장점을 가지지만 큰 기동전류에 의한 불가역감자 및 온도의 영향에 의한 전동기의 신뢰도 문제, 각각 상승 문제를 일으킬 수 있다 [1].

한편, 단상 동기형 릴럭턴스 전동기(Line-start Synchronous Reluctance Motor; LSRM)는 LSPM과는 달리 회전자에 영구자석이 없고, 릴럭턴스 토크 확보를 위하여 자속장벽(Flux barrier)이 존재한다. 즉, 도체바를 이용하여 유도기동을 하고 정상상태에서는 릴럭턴스 차에 의한 릴럭턴스 토크를 이용하여 동기속도로 운전하는 Hybrid형 전동기이다. 따라서, 정상운전 시에는 회전자 도체바 손실 저감을 통하여 단상 유도전동기에 비해 효율 개선이 가능하고, 별도의 부가장치 없이 기동특성이 가능하다. 또한, 회전자는 철심과 도체바만 존재하는 간단한 구조이므로 고장이 적어 신뢰도가 높고, 유지 보수가 용이하며, 저 비용의 제작이 가능하다 [2]. 그러나, 자속장벽은 유도 기동시에 자기회로 불평형의 원인이 된다. 또한, 정상상태에서 고 토크 · 고 효율을 얻기 위해서는 d-축 자로를 충분히 확보하고, q-축의 자속량 저감을 위하여 q-축의 도체바의 길이를 짧게 하여야 한다. 반면, d-축 도체바는 정상 운전 시 불평형 자계에 의한 도체바 손실을 저감시키기 위하여 커져야 하므로 자속장벽과 함께 불균일한 도체바의 형상에 의한 자기회로 불평형은 회전자의 초기 위치에 따라 기동 특성의 차이를 초래할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 LSRM의 기동 안정성 개선을 위한 회전자의 자기회로 설계를 수행하였다. 회전자 도체바의 개수에 따른 기동 특성 분석을 통하여 LSRM에 적합한 도체바 개수를 결정하였다. 그리고, 각 도체바가 기동 토크에 미치는 영향과 자속 장벽이 유도기동 시 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 분석된 결과를 바탕으

로 하여 기동 안정성 개선 모델을 설계하여 제시하였으며 그 결과를 초기 모델과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 LSRM의 구조 및 특성

그림 1과 그림 2는 각각 LSRM의 구조 및 고정자 권선의 결선도를 나타낸 것이다. 고정자는 단상 유도전동기와 동일하며 회전자는 도체바와 자속장벽으로 구성되어 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 LSRM의 정상상태 특성 향상을 위해서는 d-q 축 인더턴스 차 및 돌극비를 충분히 확보하여야 하므로 d-축 자속은 전체 극 표면을 따라 훌륭 d-축 인더턴스(자화인더턴스)를 충분히 확보하여야 하며 q-축 자속은 적게 훌륭 q-축 인더턴스를 최소화하여야 한다. 그러나, 릴럭턴스 토크 확보를 위한 자속장벽은 기동 시, 자속량 저감 자기회로의 불평형의 원인이 되어 회전자 초기 기동 위치에 따른 균일한 기동 토크 확보의 어려움을 초래할 수 있다. 따라서, 도체바의 개수 및 형상 결정은 LSRM의 자기회로 설계에 있어서, 중요한 설계 변수가 된다.

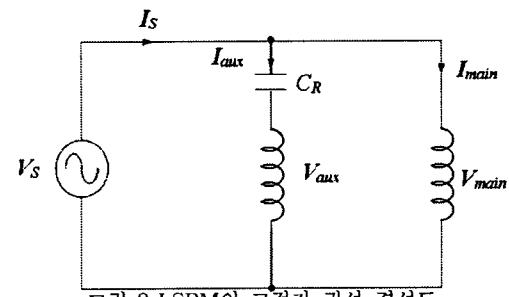
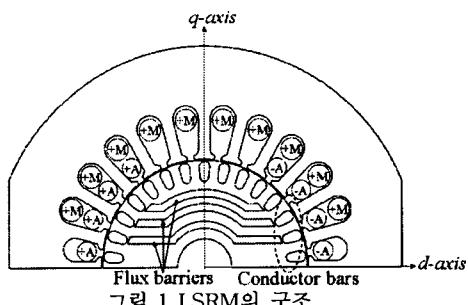


그림 2 LSRM의 고정자 권선 결선도

2.2 도체바 개수에 따른 기동 토크 특성

자속장벽이 존재하지 않더라도 농형 유도전동기는 고정자 및 회전자의 슬롯수의 조합에 따라서 전동기의 기동 특성에 영향을 미치게 된다. 고정자 및 회전자에서 발생하는 고조파 회전자자계의 영향에 따라서, 운전중 진동 · 소음 발생, 회전자 위치에 따른 기동 토크의 변화 등을 야

기 시키므로 도체바 개수의 설정은 상당히 중요하다 [3]. 그림 3은 도체바의 개수가 30, 32, 33, 34개 일 때, 회전자가 기동하려는 순간인 슬립=1일 때, 회전자의 초기 위치에 따른 기동 토크 해석을 수행하여 도체바의 개수에 따른 기동 토크 리플을 비교한 것이다.

그럼에서 보는 바와 같이 도체바의 개수가 32개일 때 토크 리플이 가장 크게 나타났으며 33개일 때 토크 리플이 가장 작게 나타났음을 알 수 있다. 한편, LSRM에서는 회전자에 자속장벽이 존재하게 되며, 홀수개의 도체바의 개수는 자기회로가 비대칭이 되므로 33개의 도체바는 적합하지 않다.

따라서, 본 논문에서는 LSRM의 기동 안정성 개선을 위하여 짝수개의 도체바 개수 중, 토크 리플이 가장 작게 나타나는 34개로 결정하였다.

2.3 도체바의 형상 변화에 따른 기동 토크 특성

그림 4는 자속장벽과 각 도체바의 형상 변화에 따른 토크 특성 분석을 위한 자속장벽의 개수가 3개, 도체바의 개수가 34개인 해석모델을 나타내었다.

그림 5는 그림 4를 기본으로 하여 자속장벽이 존재하지 않고 도체바의 형상이 균일한 단상 유도전동기에 대하여 회전자 초기 기동 위치에 따른 평균 토크 특성을 나타낸 것이며 거의 균일한 토크가 발생함을 알 수 있다. 반면, 그림 6에서와 같이 도체바가 균일할 때, 자속장벽이 존재하는 경우 자속장벽 1은 70, 100, 120(deg.)에서 특히 기동 토크에 악영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 d-, q-축 도체바의 형상 변화에 따른 평균 토크 특성을 나타낸 것이다. 이때, 자속장벽은 없으며, 도체바의 길이는 기준 대비 200%로 균일하게 증가시켰다. 도체바의 변화에 따라서 기동 토크 특성은 차이를 나타내며 특히, d-축 도체바의 변화에 크게 영향을 받고 있음을 나타내고 있다.

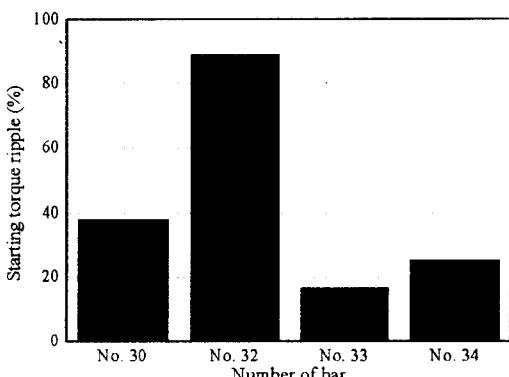


그림 3 도체바의 개수에 따른 기동 토크 리플

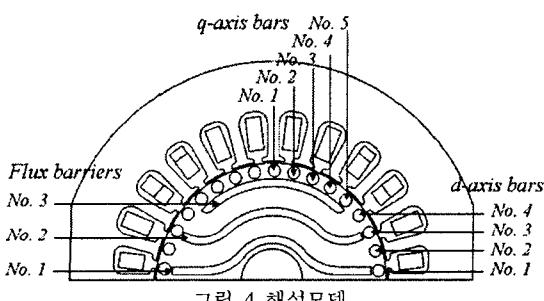


그림 4 해석모델

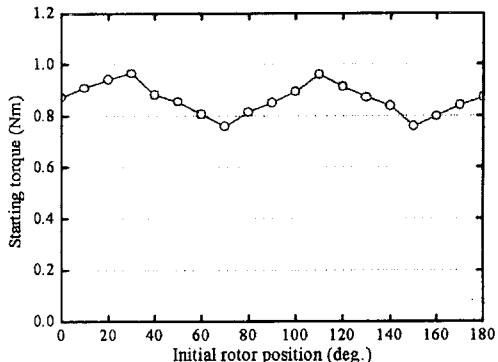


그림 5 단상 유도전동기의 기동 특성

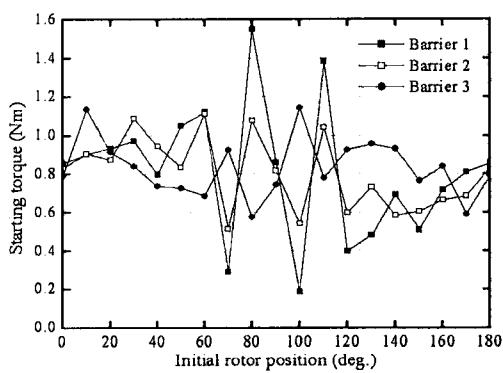
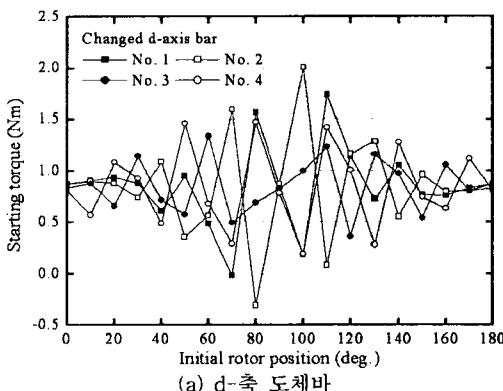
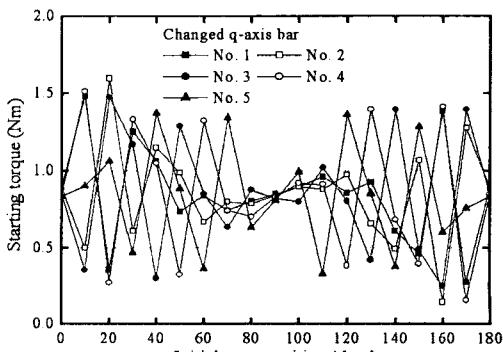


그림 6 자속장벽에 따른 기동 특성



(a) d-축 도체바

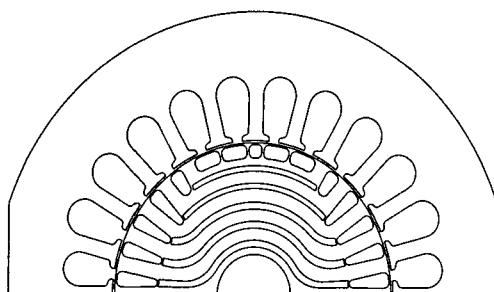


(b) q-축 도체바

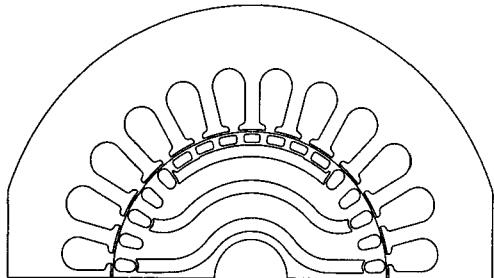
그림 7 도체바 형상 변화에 따른 기동 특성

2.4 기동 안정성 개선을 위한 설계

그림 8은 LSRM의 초기모델 및 기동 안정성 개선 모델의 단면도를 나타낸 것이다.



(a) 초기모델



(b) 개선모델

그림 8 초기모델 및 기동 안정성 개선 모델의 단면도

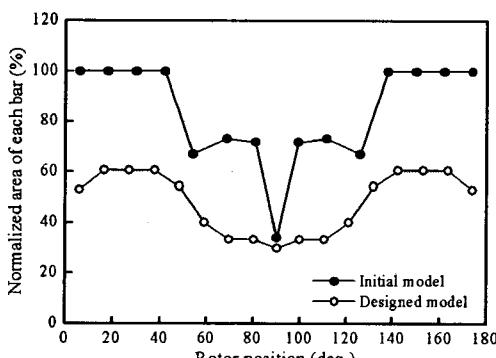
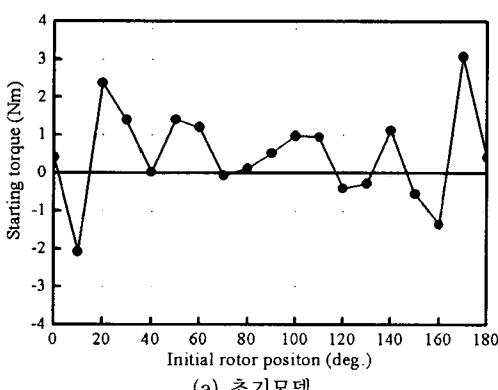
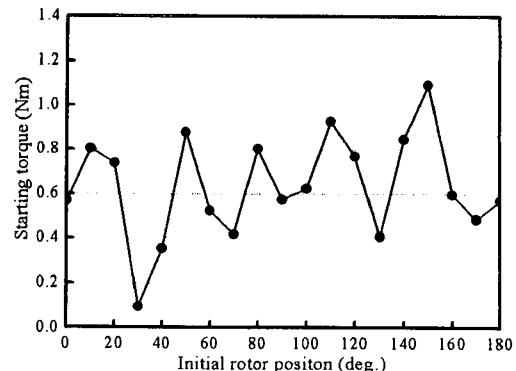


그림 9 각 도체바의 단면적 비



(a) 초기모델



(b) 개선모델

그림 10 초기모델 및 개선모델의 기동 토크 특성

초기모델은 고정자 슬롯수와 도체바의 개수가 각각 24, 30개이며 비등 간격으로 분포되어 있고 자속장벽의 개수는 5개이다. 반면, 개선모델은 고정자 슬롯수와 회전자 도체바의 개수가 각각 24, 34개이며 등간격으로 분포되어 있다.

이 개선모델은 앞에서 해석된 결과를 바탕으로 자속장벽 3개에 대하여 기동 토크 안정성이 개선되도록 도체바의 형상을 결정하였다. 또한, 두 모델에 대한 각 도체바의 단면적 비를 그림 9에 나타내으며 개선모델의 도체바가 더 다양한 형태로 분포하고 있음을 보여주고 있다.

그림 10은 초기모델 및 개선모델의 기동 특성을 나타낸 것이다.

그림 10(a)의 초기모델은 위치에 따라서 역토크가 발생하였으며 이것은 회전자의 초기 기동 위치에 따라서 기동이 불가능한 위치가 존재할 가능성이 있다는 것을 예측할 수 있다.

한편, 그림 10(b)의 개선모델은 회전자의 초기 위치에 따라, 역토크가 거의 발생하지 않고 전반적으로 초기모델에 비해 기동 토크가 상당히 개선되어 기동 특성이 상당히 안정되어 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 LSRM의 기동 안정성 개선을 위한 도체사 설계를 수행하였다. 도체바 개수 및 형상 설계를 통하여 기동 안정성 개선모델을 설계하여 제시하였으며 초기모델과의 비교를 통하여 기동 안정성이 개선되었음을 입증하였다. 또한, 실제 실험을 통하여 초기모델에 비해 개선모델의 기동안정성이 우수하였음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강규홍, 남 혁, 홍정표, "단상영구자식형 유도동기기의 정상상태 특성해석", 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.