

Single Phase Line Start Permanent Motor의 토크리플 저감을 위한 보조 권선 최적화

강민철, 김규탁
창원대학교

Auxiliary Winding Optimization of Single Phase Line-Start Permanent Magnet Motor to Torque Ripple Reduction

Min-Chul Kang, Gyu-Tak Kim
Changwon National University

Abstract - 본 논문에서는 단상 LSM(Line-Start Permanent Magnet Motor)의 토크리플 저감을 위하여 고정자 슬롯의 보조권선의 턴 수의 배치를 최적화 하였다. 보조권선의 최적화 과정은 고정자 슬롯 보조권선의 턴수 배치를 통하여 고정자 자속이 가장 정현파에 가까워지는 권선 배치를 선정하였으며, DOE(Design of Experiment)를 통해 수행하였다. FEM(Finite Element Method)을 통하여 기존 모델과 최적화 모델의 특성을 비교 검토하였다.

토크리플이 최소가 되도록 고정자 보조권선과 커패시터 용량을 산정하였다. 표 2는 기존 모델과 회전자 최적 설계 및 보조권선과 커패시터 용량 산정을 마친 최적 모델의 특성을 비교하여 나타내었다. 그림 2는 토크리플을 비교한 것이다. 토크리플은 155.1(%)에서 40.73(%)로 크게 저감하였다.

1. 서 론

IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)는 다른 모터들에 비해 단위 체적당 토크 및 출력이 높지만 기동 및 운전을 위해 부수적으로 제어기가 필요하다는 단점이 있다. 단상 유도 전동기는 저렴한 제작단가와 간단한 구조 및 커패시터를 이용하여 별도의 제어기 없이 기동이 가능한 장점이 있지만 효율이 낮은 단점이 있다[1]. 고효율 전동기의 생산 판매를 의무화 하는 최저 효율제 (Minimum Energy Performance Standard)정책이 시행되면서, 단상 유도 전동기의 단점을 보완한 단상 LSM이 각광받고 있다. 단상 LSM은 유도 전동기의 회전자에 영구자석을 매입한 구조로 정상상태에서 동기 전동기로 동작하여 유도 전동기와 달리 2차측 회전자 농형 바에서 손실이 발생하지 않고 고효율 운전이 가능하여 Fan, blower, Compressor 등과 같은 산업전반에서 각광받고 있다[2][3]. 그러나 단상 LSM은 단상권선으로 인한 비대칭 불평형 자계가 발생하여 토크리플이 크게 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 단상 LSM의 토크리플을 저감을 위하여 보조권선의 최적화를 수행하였다. 고정자 슬롯의 보조권선의 턴수 배치를 통하여 고정자 자속의 왜형률이 최소가 되는 최적의 턴수 배치를 DOE를 통해 수행하였고, FEM을 통하여 토크리플을 계산하였다.

2. 본 론

2.1 적용모델의 제반 특성

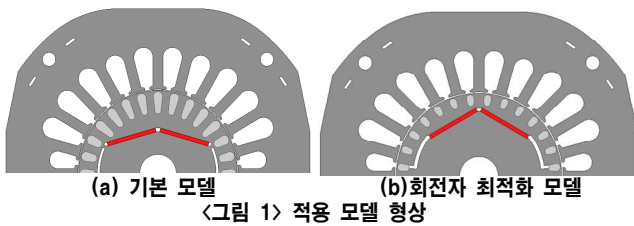


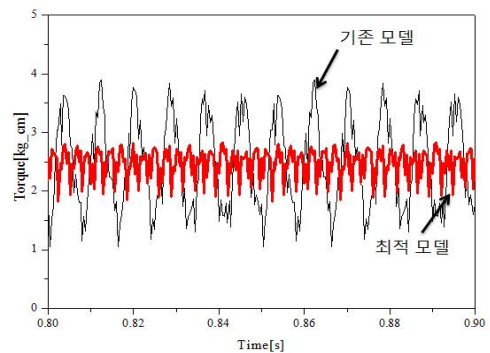
그림 1은 단상 LSM의 형상을 나타낸 것이다. (a)는 기본 모델의 형상이고 (b)는 회전자 최적화 설계를 마친 모델이다. 본 논문에서는 (b)모델의 보조권선 최적화 작업을 수행한다. 적용 모델의 제반 특성은 표 1에 요약하여 나타내었다.

<표 1> 적용 모델의 제원

Item	Specification
Rated Speed(rpm)	3,600
Rated Torque(kg_cm)	2.48
Rated Voltage(Vrms)	110
Length(mm)	45
Permanent Magnet	42UH
Pole/Rotor Cage/Stator Slot	2/28/24

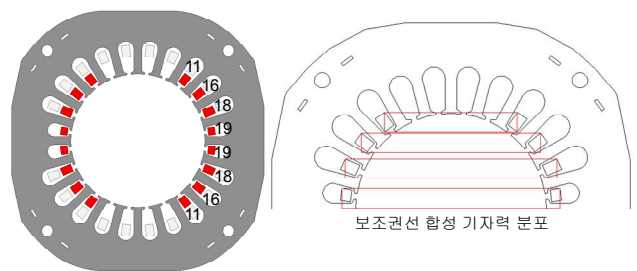
<표 2> 적용 모델의 제반 특성

	기본 모델	최적 모델
보조권선 턴수	274	128
운전 커패시터 용량(μF)	12	29
토크리플(kg_cm)(peak-peak)	3.846	1.018
토크리플(%)	155.1	40.73
효율(%)	91.26	91.38



<그림 2> 토크 리플 비교

2.2 보조 권선 최적화

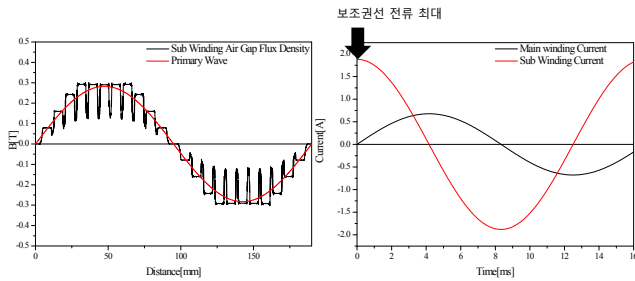


<그림 3> 보조권선 턴수 배치도

그림 3은 고정자 슬롯의 보조권선의 턴 수 배치를 나타내었다. 총 128턴의 도체가 11-16-18-19-19-18-16-11로 16개의 슬롯에 배치되어 있다. 보조권선의 모든 슬롯에서 발생하는 자속의 방향은 상하방향으로 발생하고 더해져서 보조권선 자속을 발생 한다. 본 논문의 LSM의 보조권선의 자속을 정현적인 분포에 가깝도록 보조권선 슬롯의 턴수를 재배치하였다.[4].

턴수 배치를 쉽게 나누기 위해 하기 위해 턴 수는 128Turn에서 130Turn으로 변경 하였다. 보조권선의 자속을 정현과 분포에 가깝게 만드는 턴수 배치를 통해 최적화 작업을 수행하였다[5]. 보조권선 자속의 중심 부근에 보조권선의 슬롯이 없으므로 실제 합성 기자력의 분포는 사다리꼴에 가깝게 분포한다. 따라서 보조권선 턴 수의 재배치에 의한 기자력의 정현적 분포는 한계가 있다.

그림 4는 보조권선에 의한 공극 자속 밀도를 나타낸 것이다. FEM을 통해 정상 상태의 전류로 전류원 해석을 수행하였고 영구자석을 제거하여 고정자의 보조권선에 의한 자속만을 확인 하였다. 왜형률 23.22(%)이며 사다리꼴형상의 자속 밀도 분포를 보이고 있다.



〈그림 4〉 보조권선에 의한 공극 자속 밀도

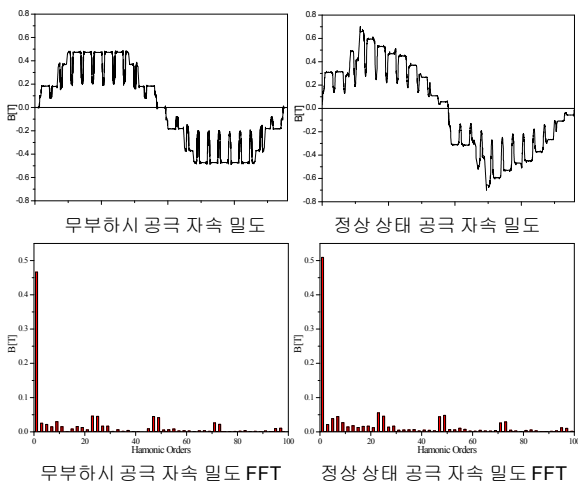
2.3 보조 권선 턴수 배치

고정자 슬롯이 상하로 대칭인 형상이므로 턴수 배치도 대칭적으로 배치 하였다. 기존 적용 모델의 턴 수 배치에서 변화를 통하여 토크리플의 변화를 표 3에 나타내었다. 턴 수배치는 대칭적이므로 4개의 슬롯만 나타내었다. 보조 권선의 턴 수 배치를 11-18-18-18로 배치하였을 때 토크리플이 40.28%로 가장 최소가 되어 기존 모델에 비해 1%정도 저감되었다. 토크리플 감소가 미비한 이유는 기존 보조 권선의 턴 수 배치가 보조권선 자속의 정현파 분포를 고려하여 배치되어 있었고 보조권선 자속의 중심 부분에 보조권선이 감겨 있지 않아 사다리꼴 분포를 하기 때문으로 사료 된다.

〈표 3〉 턴 수 배치에 따른 토크 리플

보조 권선 턴 수 배치	토크 리플	
	(kg_cm)peak-peak	(%)
11-16-18-19(기본)	1.018	41.05
10-17-19-19	1.044	42.10
11-18-18-18	0.999	40.28
12-17-18-18	1.001	40.36
5-16-22-22	1.289	51.97
5-18-21-21	1.225	49.39
5-20-20-20	1.265	51.00
8-19-19-19	1.079	43.51

그림 5는 회전자에 의한 공극 자속 밀도와 정상상태에서 공극 자속밀도와 FFT해석 결과를 나타내었다. 회전자 영구자석에 의한 자속과 고정자의 전류가 흐르면서 생기는 자속이 합성되어 정상상태 공극 자속밀도의 왜형률이 24.58(%)에서 26.59(%)로 2(%) 증가하였다. 표 4는 FFT 해석 결과를 정리한 것이다. 기본파가 증가하였지만, 3~21 사이의 고조파의 크기가 전체적으로 증가하여 공극 자속 밀도의 왜형이 커졌다. LSM의 고정자가 24 슬롯이므로 24배수 홀수 고조파가 크게 발생하여 공극 자속밀도의 왜형률에 악영향을 주는 것을 알 수 있다.



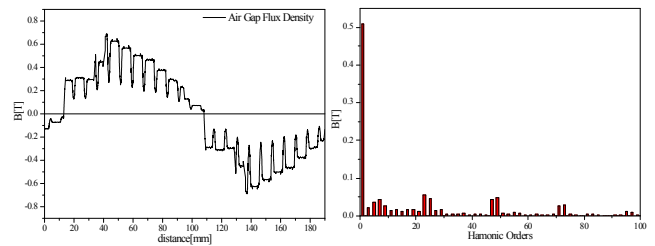
〈그림 5〉 공극 자속 밀도 분포와 FFT

〈표 4〉 FFT 분석 결과

	기본파	3	5	7	9	
무부하	0.466	0.0253	0.0215	0.0146	0.0944	
정상상태	0.509	0.0215	0.0384	0.0444	0.0266	
	11	13	15	17	19	21
	0.0151	0.0003	0.0084	0.0154	0.0126	0.0058
	0.0142	0.0179	0.0128	0.0159	0.0166	0.0121

2.4 보조 권선 최적화 모델의 정상상태 공극 자속 밀도 분석

그림 6와 표 5는 보조권선 최적화 모델의 정상 상태 공극 자속밀도와 FFT결과를 정리한 것이다. 정상 상태 공극 자속 밀도 분포는 거의 차이가 없었지만 왜형률을 계산 해본 결과, 26.45(%)로 약 0.15(%) 개선되었고 토크리플이 약 1(%) 감소 한 것을 알 수 있다. FFT 분석 결과, 기본파가 조금 증가하며 3~21 사이의 고조파 성분들이 전체적으로 저감되어 왜형률이 개선 되었다.



〈그림 6〉 공극 자속 밀도 분포와 FFT

〈표 5〉 FFT 분석 결과

	기본파	3	5	7	9	
정상상태	0.510	0.0220	0.0367	0.0447	0.0258	
	11	13	15	17	19	21
	0.0145	0.0178	0.0124	0.0161	0.0162	0.0117

3. 결 론

본 논문에서는 단상 LSM의 토크리플 저감을 위한 고정자 보조권선 슬롯의 턴 수 배치를 최적화 하였다. 정현적인 보조권선 자속을 정현적으로 발생 시키기 위하여 보조권선의 턴 수를 최적화 배치를 수행 하여 FEM을 통해 이를 검증 하였다. 전류원 해석을 통하여 정상상태의 입력 전류를 인가하여 보조권선에 의한 공극 자속을 분석하였다. 적용 모델의 보조권선의 배치가 이미 정현적인 자속 분포를 고려한 배치가 수행되어 41.05(%)의 토크리플이 발생하였으나 더 최적화된 턴 수 배치를 선정하여 40.28(%)로 토크리플을 저감 하였다.

따라서 단상 LSM의 토크리플 저감을 위해서 고정자 보조권선의 턴 수의 최적 배치를 통한 정상 상태 공극 자속 밀도의 왜형률 개선이 반드시 수행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Won-Ho Kim, Ki-Chan Kim, Seung-Joo Kim, Dong-Woo Kang, Sung-Chul Go, Hyung-Woo Lee, Yon-Do Chun, and Ju Lee, "A Study on the Optimal Rotor Design of LSPM Considering the Starting Torque and Efficiency, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 45, NO. 3, MARCH 2009 pp 1808~1811
- [2] H. Nam, K. H. Ha, J. J. Lee, J. P. Hong, and G. H. Kang, "A study on iron loss analysis method considering the harmonics of the flux density waveform using iron loss curves tested on Epstein samples," IEEE Trans. Magn., vol. 39, pp. 1472-1475, May 2003.
- [3] Tine Marcic, et al., "line-starting Three- and single-phase interior permanent magnet synchronous motor-Direct, comparison to induction motors", IEEE Trans, on Magnetics, Vol. 44, No.11, pp.4413-4416, Nov., 2008.
- [4] K. Waldschmidt ; "A computer Procedure for Single Phase Induction Motor Calculation and Design", Power Apparatus and Systems, IEEE Transaction on, vol 82, pp. 867-875, 2007
- [5] 황요환, 김기찬, 원성홍, 정대성, 이주, "단상 유도기의 권선법 및 슬롯 구조에 따른 특성 해석 연구", 대한전기학회, 대한전기학회 학술대회 논문집, 2006.4, 203-205 (3 pages)