

실험을 통한 집중권선형 SynRM과 분포권 SynRM의 특성분석

이병두*, 이중호*, 이승철*
국립한밭대학교

The Characteristic Analysis of Concentrated Winding Synchronous Reluctance Motor Vs. distributed Winding Synchronous Reluctance Motor through Experiments

Byeong-Du Lee*, Jung-Ho Lee*, Seung-Chul Lee*
Hanbat National University*

Abstract - This paper deals with optimum design criteria to minimize the torque ripple of a concentrated winding Synchronous Reluctance Motor(SynRM) using Response Surface Methodology(RSM).

The feasibility of using RSM with the finite element method(FEM) in practical engineering problem is investigated with computational examples and comparison between the fitted response and the results obtained from an analytical solution according to the design variables of stator and rotor in concentrated winding SynRM(6slot).

The focus of this paper is the efficiency evaluation on the basis of load condition in a Concentrated Winding Synchronous Reluctance Motor and distributed Winding Synchronous Reluctance Motor.

1. 서 론

일반적으로 동기형 릴럭턴스 전동기(SynRM)는 유도기에 비해 효율이 높고, 제작상의 비용이 적게 드는 등 많은 이점들이 있다.

만약 동기형 릴럭턴스 전동기의 고정자 권선이 종래의 분포권선형이 아니라 집중권선형으로 했을 때는 공장 제조시 권선 작업이 단순해지며 동손이 저감되고 저가의 전동기를 확보할 수 있는 장점이 있다. 하지만 토크리플에 의해 발생하는 진동과 소음이 상대적으로 다른 기기들에 비해 크기 때문에 토크리플을 줄이기 위해 설계변수의 적절한 조합이 이루어져야 한다.

반응표면법(RSM)은 물리적 시스템의 응답연구 중에서 “최적값”을 찾는 데 유용한 통계 및 수학적 방법이다. [1]

일반적으로 반응표면법(RSM) 내에서 설계변수와 출력간의 관계를 나타내기 위해 다항식 모델이 만들어지기 때문에 이 모델은 출력을 예상하는데 사용될 수 있고, 실제 최적화는 보다 더 쉽게 수행될 수 있다. 적합한 모델의 특성은 실험 데이터를 기초로 한 통계표를 확인함으로써 평가된다. [2]

이미 집중권선 SynRM에 관한 두 가지 논문이 발표 되었다.

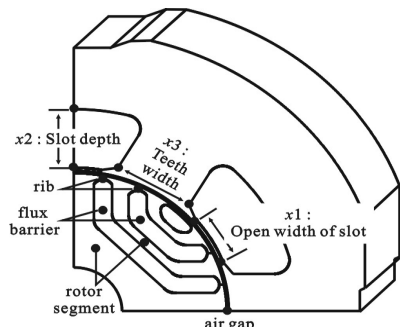
첫째, 24슬롯 SynRM의 회전자 최적설계 모델을 기초로 토크리플 저감을 위해 고정자의 치 폭, 슬롯 오픈 폭, 슬롯 깊이를 설계변수로 한 고정자 설계가 있다. [3]

둘째, [3]의 고정자 최적설계를 기초로 자속장벽 수, 자속장벽 폭을 설계변수로 하여 최적설계를 수행한 회전자 설계가 있다. [4]

본 논문은 SynRM의 생산비 절감과 성능 향상을 위해 회전자와 고정자의 설계변수를 기초로 토크리플을 저감하기 위한 최적설계를 수행하였고, 부하실험을 통한 집중권선형 SynRM과 분포권 SynRM의 특성분석을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 해석 모델



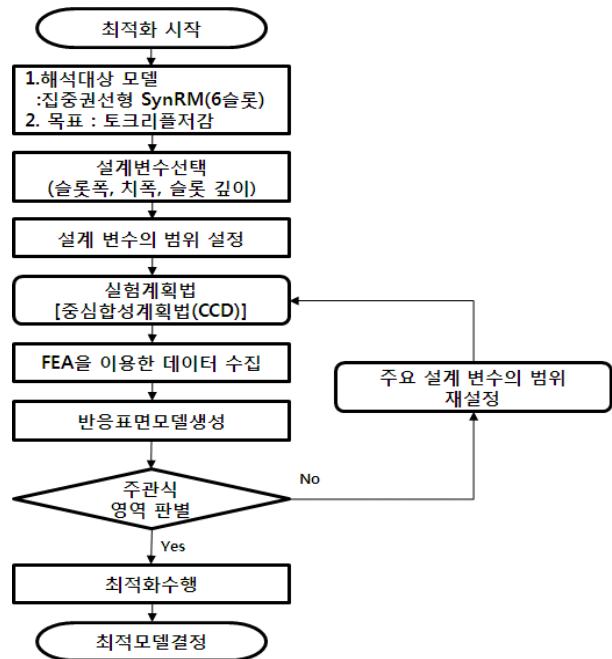
<그림 1> 6슬롯 SynRM의 초기 설계 모델 및 설계 변수

<표 1> 해석 모델의 사양

집중권선 동기형 릴럭턴스 전동기	
상수	3
극수	4
입력 전류 (A)	id=2.0 A, iq=2.5 A
속도 (rpm)	3600 rpm
출력 (W)	340 W
1차 저항 (Ω)	0.784 Ω
회전자 적층 길이 (mm)	77.0 mm
공극 (mm)	0.4 mm
자속 장벽 수	3개
권선 및 턴 수	집중권선형 (6슬롯 : 144턴/상) 분포권 (24슬롯 : 72턴/상)

그림 1은 연구대상으로 선정된 집중권선형 SynRM의 초기 설계 모델이고 집중권선형 SynRM의 토크리플에 영향을 주는 설계변수들을 나타낸다. 이 중 공극(Air gap), 회전자의 림(rib) 폭, 자속장벽 수 및 자속장벽 폭은 24슬롯 SynRM과 같은 조건을 가지며, 6슬롯 SynRM의 토크리플 저감을 위한 최적 설계변수는 슬롯 오픈 폭, 슬롯 깊이, 치 폭이다. 표 1은 해석모델의 기본 사양을 나타내었다.

2.2. 실험계획법



<그림 2> 설계 과정에 대한 흐름도

그림 2는 설계 흐름도를 보여준다. 본 논문의 최적설계 대상은 집중권선형 SynRM의 6슬롯모델로서 주 목적은 집중권선형 SynRM에 대한 토크 리플 저감에 있다.

3. 해석결과 및 분석

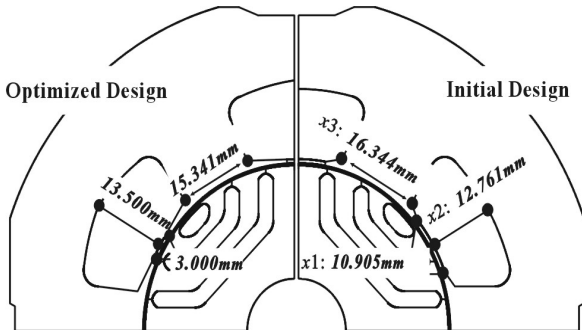
표 2는 최적 설계된 6슬롯 모델의 토크 리플은 109.8 %로 초기 6슬롯 모델의 토크 리플인 203.8 %보다 작은 값을 나타내고 최적 모델은 분포권선형 24슬롯 모델의 토크 리플인 48.2 %보다 큰 값을 확인할 수 있다. 그 이유는 집중권선형의 구조에 따라 인덕턴스의 변화가 크기 때문에 최적 설계된 집중권선형 SynRM은 기존의 24슬롯 모델보다 더 큰 토크 리플을 나타낸다.

그림 3은 6슬롯 모델에 대한 초기 모델과 최적 설계된 모델의 형상이다. 그림 4는 설계변수 설정에 따라 최적 설계된 모델의 토크 리플과 평균 토크를 보여준다.

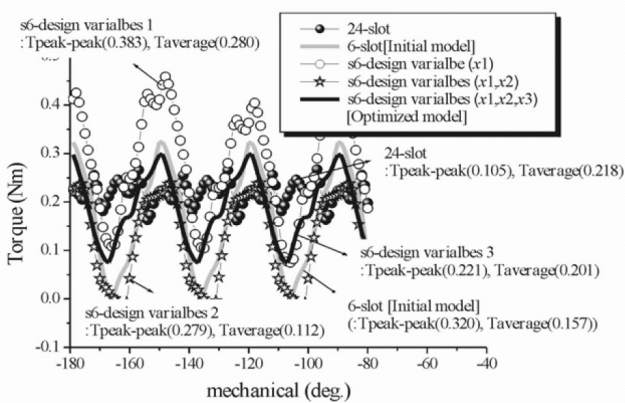
그림 5는 집중권 SynRM은 정격에서 82%이며, 최대효율 또한 82%이다. 그림 6는 분포권 SynRM은 정격에서 82~85%이며, 최대효율은 88%이다.

<표 2> 최적 설계 결과

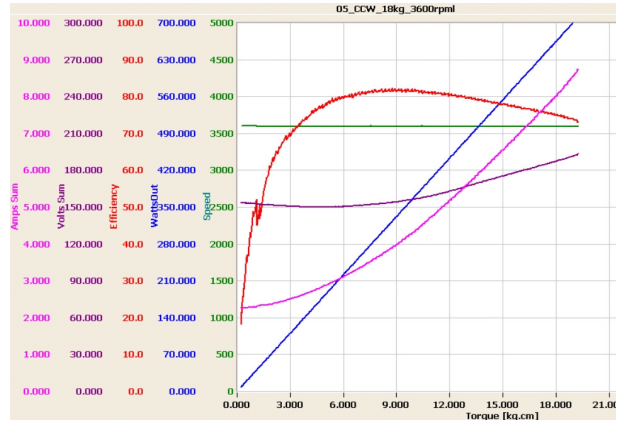
설계변수에 대한 최적해			관측값 (FEA)	관측값 (FEA)	최적값 (RSM)
			평균토크 (Nm)	토크리플 (%)	토크리플 (%)
6슬롯 최적 모델	x1	3.000 mm	0.201 Nm	109.800 %	111.000 %
	x2	13.500 mm			
	x3	15.341 mm			
6슬롯 초기 모델	x1	10.905 mm	0.157 Nm	203.800 %	·
	x2	12.761 mm			
	x3	16.344 mm			
24 슬롯 모델	x1	2.300 mm	0.105 Nm	48.17 %	·
	x2	13.699 mm			
	x3	3.770 mm			



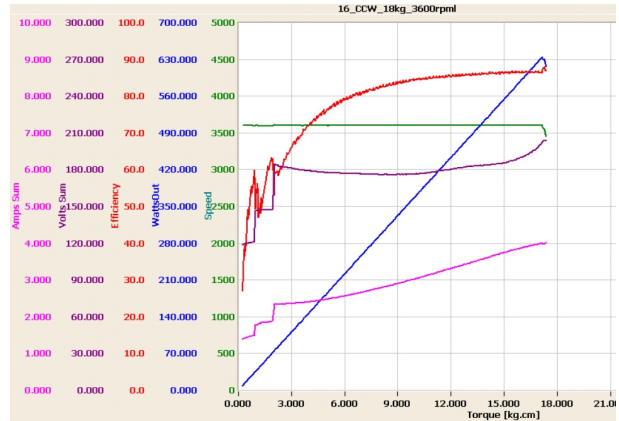
<그림 3> 6슬롯에 대한 초기 모델과 최적 설계 모델의 형상



<그림 4> 토크 리플의 해석결과



<그림 5> 집중권 실험 데이터



<그림 6> 분포권 실험 데이터

4. 결 론

본 논문에서는 집중권선형 SynRM에 대해 통계적 근사 방법인 RSM을 이용하여 집중권선형 SynRM의 토크 리플 저감을 위해 최적설계를 수행하였다.

본 논문에서 제안한 방법으로부터, 최적 설계된 모델은 초기 모델에 비해서 토크 리플은 94%의 감소를 가져왔다. 집중권선형 SynRM의 토크 리플 저감을 위한 최적설계에 있어서 RSM방법의 적용은 설계변수와 응답에 대한 관측 자료로부터 해석적인 근사모형을 제시함으로써, 제약조건을 가지는 실질적인 목적함수를 쉽게 만들 수 있었으며, 최적 해를 찾기 위한 계산시간도 많이 단축할 수 있다.

설계변수에 따른 집중권선형 SynRM의 토크 응답특성을 본 연구를 통하여 확인할 수 있다. 최적 설계된 6슬롯 모델의 토크 리플은 기존 24슬롯 모델보다 61.6 %가 크지만, 분포권선형 SynRM을 사용했을 때보다 집중권선형 SynRM으로 했을 때 공장 제조 시 권선 작업이 보다 단순해지면서 제조단가가 저감되므로 저가의 고성능 전동기를 확보할 수 있고 높은 산업 경쟁력을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. P. Tomas, *Statistical methods for Quality Improvement*. New York: Wiley, 2000.
- [2] J.T. Li, Z.J. Liu, M.A. Jabbar, X.K. Gao: Design optimization for cogging torque minimization using response surface methodology, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol 40, No 2, 2004, pp.1176-1179.
- [3] S. J. Park, S. J. Jeon, J. H. Lee, "Optimum design criteria for a synchronous reluctance motor with concentrated winding using response surface methodology", *Journal of Applied Physics(MMM)*, vol.99, issu 8, April. 2006.
- [4] J. M. Park, S. I. Kim, J. P. Hong, J. H. Lee, "Rotor design on Torque Ripple Reduction for a synchronous reluctance motor with concentrated winding using response surface methodology", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, No. 10, pp.3479-3481. Oct. 2006.