

RSM을 이용한 FSM의 로터 형상 설계와 특성 개선을 위한 새로운 권선 기법

전명진*, 장순명*, 이중호*
국립 한밭대학교*

Optimum Rotor Shape Design of Flux Switching Motor using RSM and Performance Improvement by New Type Winding Method

Myung Jin Jun*, Soon Myung Jang*, Jung-Ho Lee*
Hanbat National University*

Abstract - This paper deals with optimum design criteria for maximum torque density & minimum torque ripple of Flux Switching Motor (FSM) using RSM & FEM.

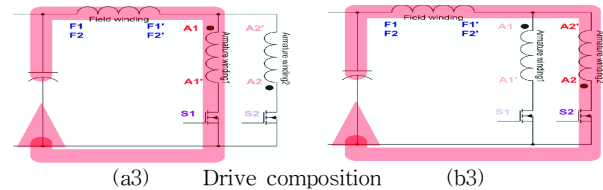
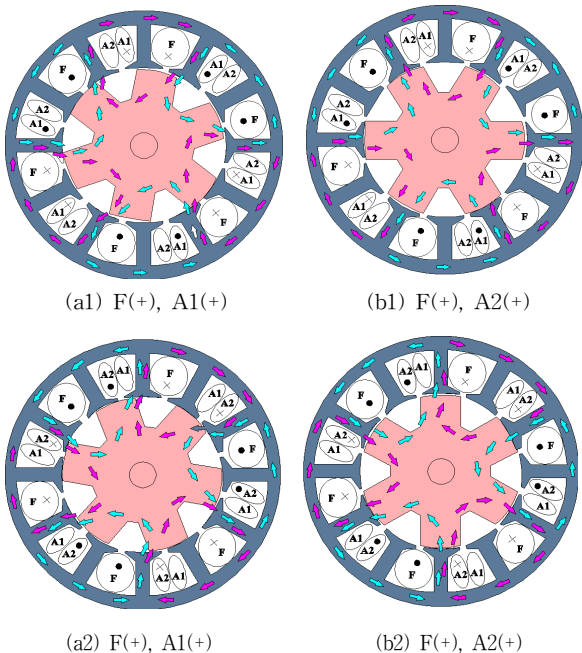
The focus of this paper is to find a design solution through the comparison of torque density and torque ripple according to rotor shape variations. And then, a central composite design(CCD) mixed resolution is introduced, and analysis of variance (ANOVA) is conducted to determine the significance of the fitted regression model.

1. 서 론

플럭스 스위칭 모터(Flux Switching Motor : FSM)는 스위치드 릴럭턴스모터(Switched Reluctance Motor : SRM)과 Inductor Alternator가 결합된 새로운 형태의 전동기 이다[1]. FSM의 구조는 돌극형 회전자와 돌극 또는 비돌극 형태의 고정자이다. 고정자 권선은 필드 권선과 아마추어 권선으로 구성되어 있다. FSM의 필드 권선에는 일정한 DC전류를 가하며, 아마추어 권선에는 전자적 제어를 통하여 duty ratio에 따라 두 아마추어 권선중 하나의 권선에만 DC전류를 흘린다는 특징이 있다[2]. FSM은 매우 저 비용으로 대량 생산할 수 있는 장점 있다. 또한, 전기적인 무정류 제어가 가능하며, 고수명, 매우 다양한 분야의 이용, 정밀한 토크, 속도, 위치 제어 등에 추가적인 비용이 들지 않는 장점이 있다. 효율과 토크 리플 등의 문제는 FSM의 성능 평가에 매우 중요하다. 이러한 특성들은 기기의 고정자와 회전자 형상에 의해 결정 되므로 수치적인 평가와 설계가 요구된다.

2. 본 론

2.1 기본 모델링과 구동 원리

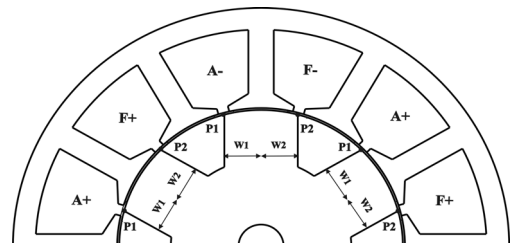


<그림 1>제안된 FSM의 기본 원리

플럭스 스위칭 전동기는 필드 권선(Field winding)과 아마추어 권선(Armature winding)에 흐르는 전류에 의해서 발생하는 자속의 상호 작용에 의해서 만들어진 릴럭턴스 토크에 의해서 구동되고, 필드와 아마추어 전류에 의해서 발생된 자속은 위의 그림과 같이 고정자와 회전자를 통하여 흐르게 된다.

2.2 설계알고리즘

최적 설계를 위한 기본 모델링은 그림3에서 보여준다. 돌극 에지 와 돌극 폭의 변화에 따른 회전자 형상 변화 방향을 나타낸다. FSM의 회전자 설계 변형은 최대 토크밀도와 최소 토크리플에 따라 결정된다. 그리고 분석 데이터는 유한요소해석에 따른 중심합성법에 의해 결정되며, 최적 포인트는 데이터의 분석에 의해 결정된다. W1에서 W6과 P1과 P6 포인트의 이동조건은 돌극 폭 변환을, G1에서 G6의 포인트는 고정되어 있으며 포인트 W1에서 W6은 ARC를 따라 이동되어 돌극 에지의 형상변환을 시킨다.



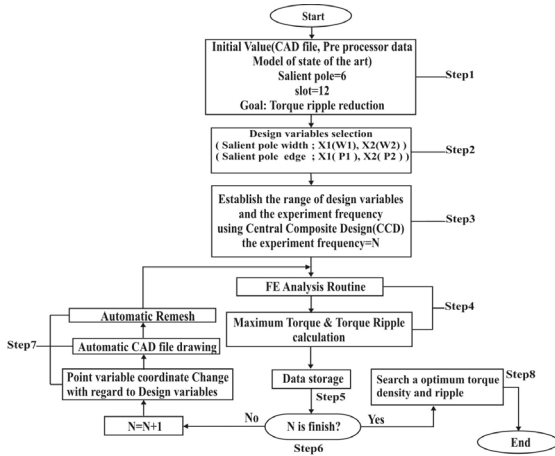
<그림 2> FSM의 초기 모델의 설계 변수와 변수 방향

2.3 반응표면법

요인	자유도	제공합	평균제공	F_0
회귀	k	SS_R	$SS_R/k = MS_R$	MS_R/MS_E
잔차	$n - k - 1$	SS_E	$SS_E/(n - k - 1) = MS_E$	
총	$n - 1$	S_{yy}		

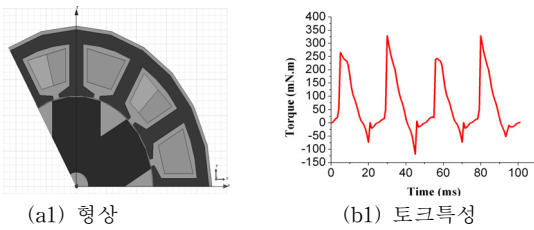
RSM에는 많은 실험적인 설계방법이 있다. 본 논문에서 추정된 근사함수의 정도를 확인하기 위해 중심합성계획법(Central composite design : CCD)을 이용하였으며 반응표면 설계에서 가장 일반적으로 사용되어지는 방법이다. 통계적인 근사방법인 RSM은 항상 오차를 포함하고 있으므로 추정된 근사함수의 정도를 확인해야만 한다. 본 논문에서 추정된 근사함수의 정도를 확인하기 위해 분산분석(Analysis of variance : ANOVA)을 이용하였으며 표 1에서 n 은 실험의 총계이고 k 는 적합한 모델에 대한 설계 변수의 수를 나타내었다.

2.4 최적 설계

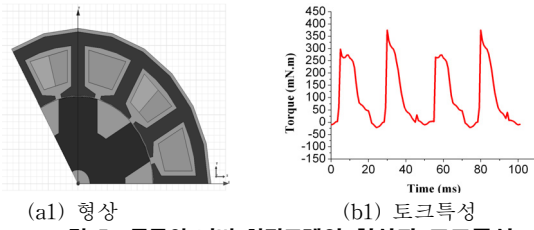


〈그림 3〉설계 흐름도

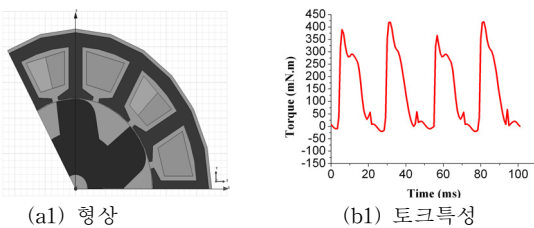
회전자의 형상 좌표는 돌극 폭과 돌극 에지의 변화에 따라서 그려졌다. 흐름도에 의한 디자인 절차는 위의 그림과 같다



〈그림 4〉초기모델의 형상과 토크특성

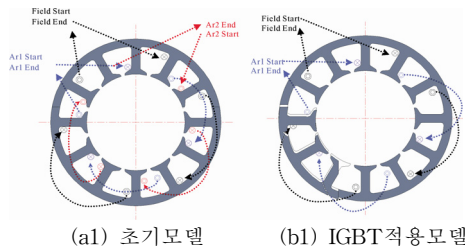


〈그림 5〉돌극의 너비 최적모델의 형상과 토크특성



〈그림 6〉돌극의 너비와 Edge 최적모델의 형상과 토크특성

2.5 권선법

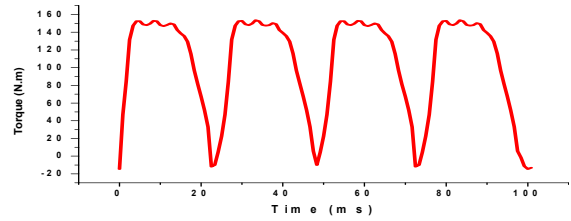


〈그림 7〉초기모델과 IGBT적용 모델의 권선법 비교

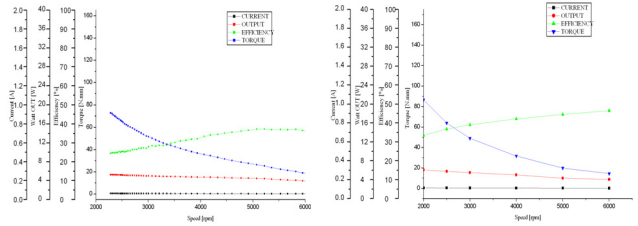
권선법은 모터의 효율과 가격적인 면에서 중요한 요소이다 그렇기 때문에 권선을 줄이기 위한 방법으로 기존의 두 개의 전기 자권선을 가지고 서로 스위칭 해주는 방식이 아닌 단일권선에 IGBT를 사용하여 전류의 방향을 변환 시켜 주는 방식을 선택하

였다. 이러한 방식을 사용할 경우 전체 권선의 1/3을 줄일수 있으며 효율도 개선된다.

2.6 휴지기 적용



〈그림 8〉휴지기가 적용된 토크특성



〈그림 9〉시작품 실험특성

〈그림 10〉시뮬레이션 특성

전류의 방향이 변화하는 순간 기준 방향에서 생성된 자속이 새로 생성된 자속에 영향을 주기 때문에 역 토크와 과형의 일그러짐이 발생된다는 것을 확인 하였다. 이를 방지하기 위하여 인위적으로 일정 비율의 휴지기를 주어 서로간의 간섭을 방지 해주었고 기존의 과형과 비교했을 경우 개선된 것을 확인할 수 있다. 그림 9와 10은 시작품의 실험치와 시뮬레이션치의 비교를 보여 준다.

3. 결 론

본 논문에서는 FSM 모터를 설계하고 최적화 시키는 부분에 주력하였다. 토크 및 출력조건에 영향을 미치는 슬롯, 권선 조건, Rotor 형상을 변수로 적용하여 시뮬레이션 함으로서 동일한 공간에서 최대토크 최대효율 특성을 얻을 수 있는 조건을 도출하였다. 설계 시 정확한 해석을 통한 특성분석을 위하여 자기적 비선형성 및 복잡한 형상의 전동기를 정확하게 해석할 수 있는 장점을 가지고 있는 유한요소법(Finite Element Method; FEM)을 이용하여 해석을 수행하였다.

연구 결과 저속대역에서 다른 형태의 모터 대비(특히 SRM, SynRM, 유도기등) 많은 장점을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 릴럭턴스형 모터의 한 형태임에도 불구하고 낮은 소음 특성(청감 특성)을 가지고 있음을 확인하였다. 따라서 다양한 연구를 통하여 저가의 고효율 형태로 상용화할 수 있다면 기존 BLDC 대비 낮은 가격과 보다 높은 신뢰성으로 다양한 분야에 적용될 수 있을 것이다

〔참 고 문 헌〕

- [1] C. Pollock and M. Wallace, "The Flux Switching Motor, A DC Motor without Magnets or Brushes", IEEE IAS Annual Meeting, October 1999.
- [2] K.F. Raby, "Inductor alternators for 10 KC/S", Technical Monograph, Engineering Department, The British Thomson-Houston Company Ltd., 27th April 1950.