

5상 3KW 내부장착형 영구자석 릴럭턴스 동기전동기 (PMA-RSM) 개발

정형우* · 김민회** · 김남훈** · 김동희****

*신한모터(주), **영남이공대학 전기자동화과, ***C&M(주)기술연구소, ****영남대학교 전기공학과
A Development for Permanent Magnet Assisted Reluctance

Synchronous Motor of 5-Phase 3.0Kw

(Haung Woo Jong · Min Huei Kim · Nam Hun Kim · Dong Hee Kim)
Shinhan Motor, Yeungnam College S&T, C&M, Yeungnam Univ.

요약 : 본 연구는 3상 농형 유도전동기 보다 많은 특성을 가지는 다상 교류전동기의 구동 시스템 연구를 위하여 개발된 5상 3.0Kw 내부장착 영구자석 릴럭턴스 동기전동기(PMA RSM)의 설계 및 제작에 대한 내용이다. 전동기 설계에는 Maxwell 2D/3D와 Simplorer의 EM Package 및 전동기 해석 프로그램을 활용하였다. 설계된 5상 PMA RSM의 고정자와 회전자 구조의 특성과 제작된 전동기의 형태를 보여준다. 또한 고정자 권선방식으로 채택된 집중권에 대한 자계의 FEM 해석 결과와 기초적인 운전특성을 보여 준다.

1. 서론

최근 5상 전동기를 비롯한 다상 전동기가 하이브리드 전기자동차나 우주항공분야 및 선박 추진시스템 등과 같은 분야에서 3상 전동기를 대체할 차세대 전동기로 관심이 고조되고 있으며 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

다상 전동기는 일반적인 단상 전동기에 비해서 추가적인 자유도를 가진다는 장점을 가지고 있으며, 산업분야에서 가장 많이 사용되고 있는 삼상 전동기에 비해서, (1) 같은 출력에서 상당전압의 변화 없이 상당 전류의 크기가 감소하며, (2) 토크의 맥동주파수를 증가시킴으로써 토크 리플을 감소할 수 있으며, (3) 전동기의 정격전력의 변화 없이 상당 토크 크기를 감소할 수 있으며, (4) 시스템의 신뢰성을 증가 시킬 수 있으며 자유도가 증가되고, 이를 통해 고조파 전류의 주입이 가능한 등의 장점을 가진다.

일반적으로 인버터에 의해 구동되는 다상전동기는, 공급전원의 고유특성과 호환성의 우수한 특성, 코어의 활용도 개선, 단위면적 당 출력 증가 및 제작의 편의성 측면에서, 고정자의 권선을 집중권의 형태로 제작한다. 5상 동기전동기에서 집중권의 고정자 권선 채택과 전동기로 유입되는 전류의 파형이 사다리꼴 형태를 가지는 확연한 차이를 지니고 있으므로, 고정자 권선이 집중권선 형태인 5상 전동기의 회전자 좌표기준의 벡터제어에 대한 연구도 이루어지고 있다.

따라서 5상 전동기의 특성은 일반적으로 분포권을 사용하지 않고 사용하며, 제 3차 공간 고조파 전류성분을 포함하고 있으므로 사다리꼴 형태의 역기전력을 나타내게 된다. 제3차 고조파 전류의 주입으로 인해서 높은 전력밀도를 가질 수 있으며, 15[%] 정도의 출력 토크 상승을 가져오게 된다.

본 연구에서는 다상 교류전동기의 제어알고리즘과 구동시스템에 대한 연구를 수행하기 위하여 동기전동기를 Maxwell 2D/3D와 전동기 해석용 프로그램을 사용하여 설계 제작한 연구 결과를 보여준다. 전동기는 5상, 3Kw, 4극, 220[V]의 특성을 가지는 것으로, 회전자의 철심내부에 영구자석을 장착하여 자기력과 릴럭턴스 토크를 제어 할 수 있는 동기전동기(Permanent Magnet Assisted Reluctance Synchronous Motor, PMA RSM)를 개발 기준으로 설정되었다.

2. 5상 교류기의 수학적 모델

2.1. 전압방정식

5상 2극 교류기 고정자 권선의 각 상은 공간적으로 72도의 위상차를 가진 N턴의 집중권으로 구성되는 경우, 그림 1과 같은 집중권 권선의 분포도에서, 역기전력은 사다리꼴 형태로, 전류의 파형은 제 3고조파 성분이 포함되고 있음을 알 수 있다.

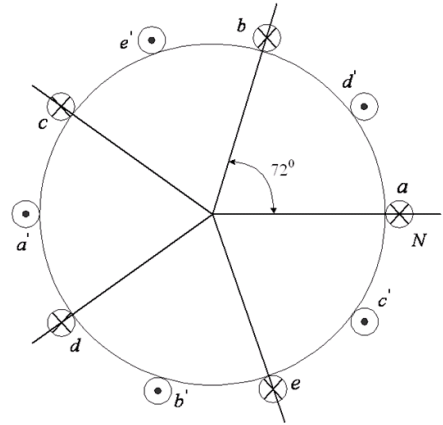


그림 1. 5상 전동기의 집중권선 분포도

5상 교류기의 좌표변환에서 기본과 성분은 동기속도로 회전하는 좌표계이고, 3차 공간 고조파 성분은 동기속도의 3배로 회전하는 좌표계이므로, 일반식으로 나타내면 식(1)과 (2)로 표현된다. $f_{dqe1dqe3}$ 은 회전좌표계에서 본 기본과 성분과 제3 고조파 성분을 나타내고, f_{abcde} 는 고정좌표계에서 본 성분을 나타낸다.

$$f_{dqe1dqe3} = T(\theta)f_{abcde} \quad (1)$$

$$T_e = \frac{P}{2} I_{abcde}^T \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta_r} I_{abcde} \quad (2)$$

2.2 고조파 해석

5상 교류기의 고조파 성분 해석에서, 정상상태에서 자계의 중첩 허용을 위해 포화현상과 포피효과를 무시하면, 권선함수는 식(3), 구형과 형태의 전류파형은 식(4)로 표시된다. 5상 전동기는 구조적으로 기본과 성분의 등가회로와 제3 공간 고조파 성분의 등가회로가 각각 존재한다. 따라서 제3 고조파 성분을 포함하고 있기 때문에 고조파 성분전류를 제어하지 않으면 고조파 전류성분이 전동기에 유입되고, 이러한 성분은 전류파형을 왜곡시킨다.

$$N(\phi) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{4}{n\pi}\right) \left(\frac{N}{2}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cos n(\phi + \alpha), n = 1, 2, 3 \dots \quad (3)$$

$$i_a(\theta) = \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{4}{m\pi}\right) I_m \cos(m\beta) \sin(m\theta + \delta), m = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

3. 개발된 5상 PMA-RSM 제작 결과

그림 2는 Maxwell 2D에 의한 5상 4극 내부장착형 영구자석 릴럭턴스 동기전동기(PMA RSM)의 설계된 고정자와 회전자 코아의 형태를 보여준 것이다. 표1은 설계 제작된 전동기의 특성 결과이다. 그림 3과 4은 고정자의 슬롯형태와 회전자 구조의 설계된 도면을 보여주고 있다. 그림 5, 6, 7, 8은 개발 제작된 전동기의 외형을 보여준다.

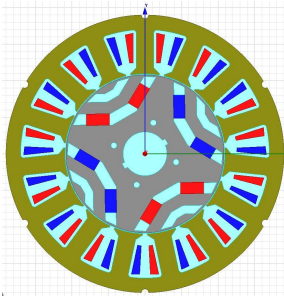


그림 2. Maxwell 2D에 의한 코아 설계

표 1 설계 제작된 PMA-RSM의 특성

구분	규격	구분	규격
정격출력	30[Kw]	고정자 외경	190[mm]
정격전압	220[V]	고정자 내경	109.4 [mm]
정격전류	15.2[A]	회전자 외경	108 [mm]
정격주파수	60[Hz]	회전자 내경	30 [mm]
극수	4[극]	고정자 슬롯 수	15[개]
정격회전수	[rpm]	고정자 접적율	40[%]
역율	0.98[%]	고정자 코일턴수	20[tum]
효율	97.3[%]	코일 배치	집중권
공극	0.7 [mm]	강판 두께	0.5[mm]
적층 두께	62[mm]	사용 코아 재질	S50
자성 재료	Nd2Fe14B	코일 도체	AWG 13[mm]
PM 자속	56.62[mWb]	회전자 손실	60.27[W]

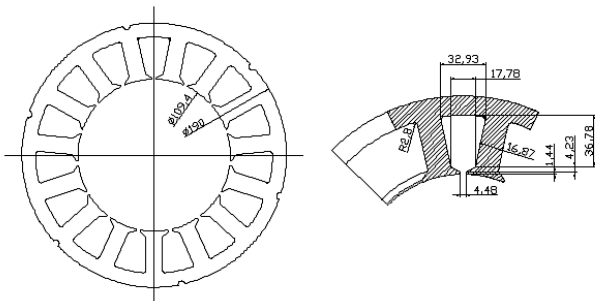


그림 3. 고정자 슬롯 설계 결과

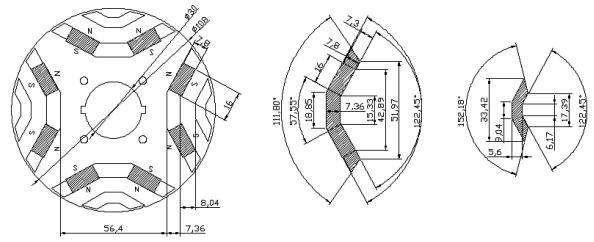


그림 4. 회전자 설계결과

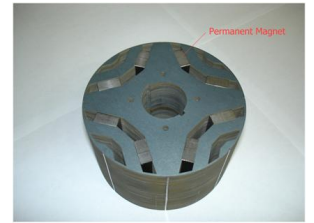


그림 5. 제작된 고정자 외형

그림 6. 제작된 회전자 코아



그림 7. 제작된 회전자

그림 8. 개발된 PMA RSM

5. 결론

일반적으로 많이 사용되고 있는 단상 및 3상 전동기 보다 많은 특성을 가지는 다상 교류전동기의 제작기술 개발을 위하여, Maxwell 2D/3D 및 전동기 해석 프로그램을 활용하여 설계 제작된 5상 3.0KW 내부장착형 영구자석 릴럭턴스 동기전동기(PMA RSM)의 개발 결과를 보여 준다. 앞으로 특성 개선을 위한 제작기술과 특성실험을 통해 개발된 전동기의 특성을 검토 연구할 예정이다..

참고 문헌

- [1] Min Huei Kim, Nam Hun Kim, Won Sik Baik, "A Five Phase Induction Motor Speed Control System Excluding Effects of 3rd Current Harmonics Component", Journal of Power Electronics, Vol. 11, No. 3, pp294 303, 2011. 05. 31
- [2] 정형우, 김민희, 김남훈, 김동희, "5상 5Kw 표면부착형 영구자석 동기발전기(SPMSG) 개발", 2012 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.267 269, 2012. 05. 03.