

5상 1.5KW 농형 유도전동기 개발

정형우* · 김민희** · 김남훈** · 김동희****

*신한모터(주), **영남이공대학 전기자동화과, ***C&M(주)기술연구소, ****영남대학교 전기공학과

A Development for Squirrel cage Induction Motor of 5-Phase 1.5Kw

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

요약 : 본 연구는 일반적으로 많이 사용되고 있는 단상 또는 3상 유도전동기 보다 많은 특성을 가지는 5상 1.5Kw 220V, 농형 유도전동기를 개발한 연구결과의 내용이다. 전동기 설계 방법에는 Maxwell 2D와 전동기 해석 및 설계 프로그램을 활용 하였다. 설계된 5상 농형 유도전동기의 고정자와 회전자 및 외형의 결과와 제작된 전동기의 형태가 제시 되었다. 5상 고정자 권선은 집중권을 채택하였으며, 이에 따른 제3 고조파 성분의 영향을 이론적으로 해석 하였으며, 시뮬레이션 결과와 실제 시스템의 운전특성을 보여준다

따라서 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 단상 또는 3상 유도전동기 보다 많은 특성을 가지는 5상 1.5Kw 농형 유도전동기를 개발하기 위하여 Maxwell 2D/3D 및 전동기 해석 프로그램을 활용하여 설계 제작하였으며, 개발된 5상 전동기의 고정자와 회전자 및 외형과, 제작된 전동기의 형태와 운전특성을 보여준다.

2. 5상 교류기의 수학적 모델

1. 서론

최근 다양한 전동기 제어기법의 개발로 인해 가변속 전동기 구동시스템에 주로 적용되던 직류전동기 대신 농형 유도전동기 또는 영구자석 동기전동기를 이용한 교류전동기를 사용하여 고성능 가변속 구동시스템에 적용하는 것이 보편화되고 있는 추세이다. 현재 보편화된 가변속 전동기 구동시스템에는 3상 농형 유도전동기가 적용되고 있으나, 최근 구동특성이 우수한 다상 전동기 제어시스템에 관한 관심이 고조되고 있다.

다상 교류 전동기 제어 시스템은 일반적으로 산업분야에서 가장 많이 사용되고 있는 삼상 전동기에 비해서 많은 장 단점을 가진다.

5상 전동기를 비롯한 다상 교류전동기는 하이브리드 전기자동차, 우주항공기, 선박 추진시스템, 군사용 장치 구동시스템 등의 분야에서 기존의 3상 전동기를 대체할 차세대 전동기에 대한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 인버터에 의해 구동되는 다상 전동기는 공급 전원의 고유특성과 호환성의 우수한 특성, 코어의 활용도 개선, 단위면적 당 출력 증가 및 제작의 편의성 측면에서, 고정자의 권선을 집중권의 형태로 제작한다. 집중권선을 가지는 전동기에서는 공극자속이 정현파 형태가 아닌 사다리꼴 형태의 파형으로 나타나게 되므로, 전동기에서 발생하는 역기전력도 고조파 성분이 많이 포함된다. 정현파 형태의 공극자속 분포를 지닌 전동기에서는 코어의 일부분에서만 포화현상이 나타나므로 공극의 자속밀도가 사다리꼴 형태의 파형을 가지는 경우에는 코어 활용도가 높아질 수 있다.

전동기의 설계와 제작에 있어서는 5상 유도전동기는 3상 전동기에 비해 구조적으로 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.

5상 유도전동기의 특성은 분포권을 사용하지 않고 집중권을 사용하며, 3차 공간 고조파 성분을 포함하고 있으므로 사다리꼴 형태의 역기전력을 나타내게 된다. 또한 제3 고조파 전류의 주입으로 인해서 높은 전력밀도를 가질 수 있으며, 15[%] 정도의 출력 토크 상승을 가져오게 된다.

2.1. 전압방정식

5상 2극 교류기 고정자 권선의 각 상은 공간적으로 72도의 위상차를 가진 N턴의 집중권으로 구성되는 경우, 권선의 역기전력과 전류파형은 그림 1에서 보는 바와 같이 역기전력은 사다리꼴 형태로, 전류는 제 3고조파 성분이 포함되고 있음을 알 수 있다.

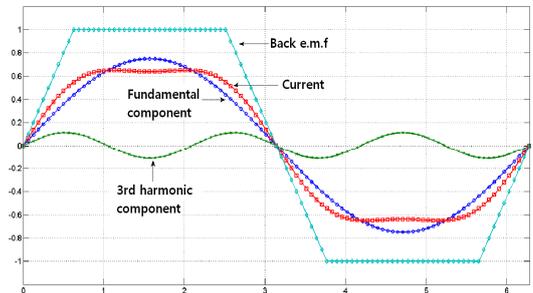


그림 1. 5상 유도전동기의 역기전압과 전류파형

5상 유도전동기의 수학적 모델은 기준 좌표계상에서 행렬 형태로 간략하게 표현하면, 일반적으로 식(1)으로 표시되며, 토크는 식(2)로 표시된다.

$$F_{dq1dq3} = T_{13}(\theta) F_{abcde} \quad (1)$$

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

2.2 고조파 해석

5상 교류기의 고조파 성분의 해석을 위하여, 정상상태에서 자계의 중첩 허용을 위해 포화현상과 표피효과를 무시하면, 3상 합성 기자력은 식(3)으로 표시된다.

$$F = N_a I_a + N_b I_b + N_c I_c + N_d I_d + N_e I_e \quad (3)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{1}{nm} \right) \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \left(\frac{N I_m}{2} \right) \cos \left(\frac{m\pi}{10} \right) \left((\cos(m\omega t - m\psi)) \right)$$

$$\left(\cos \frac{(m-n)2\pi}{5} + \cos \frac{(m-n)4\pi}{5} + \frac{1}{2} \right)$$

3. 개발된 5상 전동기 제작 결과

그림 3은 Maxwell 2D에 의한 5상 농형 유도전동기의 설계된 고정자와 회전자 코아의 형태를 보여준 것이다. 표1은 설계 제작된 전동기의 특성을 보여주며, 그림 5와 6은 고정자와 회전자의 설계된 슬롯 형태이며, 그림 7은 설계된 전동기의 특성 해석 결과이다. 그림 8, 9, 10은 개발 제작된 전동기의 외형을 보여준다. 또한 표2는 설계에서 계산된 T형 등가회로 나타내는 파라메타 값을, 표3은 설계에서 계산된 각 부분의 자속밀도를 정리한 것이다.

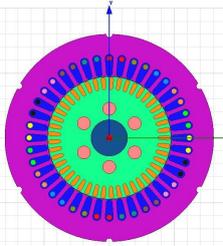


그림 3. Maxwell 2D에 의한 코아 설계의 기초



그림 4. 제작된 고정자

표 1 설계 제작된 농형 유도전동기의 특성

| 구분 | 규격 | 구분 | 규격 |
|-------|-----------|-----------|-------------|
| 정격출력 | 1.5[Kw] | 고정자 외경 | 160.00 [mm] |
| 정격전압 | 220[V] | 고정자 내경 | 95.00 [mm] |
| 정격전류 | 6.3[A] | 회전자 외경 | 94.40 [mm] |
| 정격주파수 | 60[Hz] | 회전자 내경 | 16.67 [mm] |
| 극수 | 4[극] | 고정자 슬롯 수 | 40 [개] |
| 정격회전수 | 1684[rpm] | 회전자 슬롯 수 | 45 [개] |
| 역율 | 80.3[%] | 고정자 코일 턴수 | 85 [turn] |
| 효율 | 78.26[%] | 코일 배치 | 집중권 |
| 공극 | 0.6 [mm] | 강판 두께 | 0.5[mm] |
| 적층 두께 | 85 [mm] | 사용 코아 재질 | S50 |

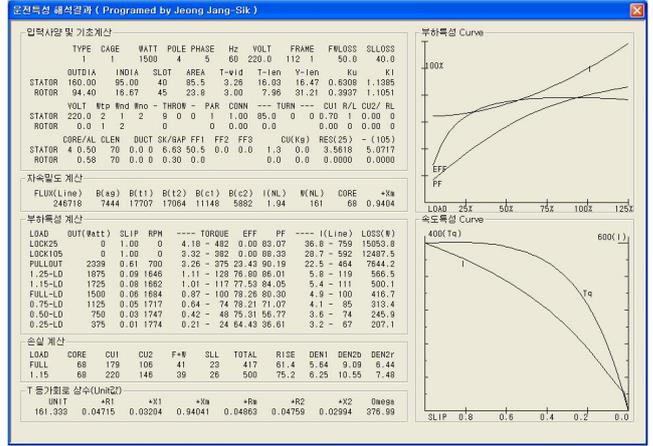


그림 7 설계된 전동기의 특성해석 결과

표 2 설계에서 계산된 T형 등가회로 상수

| 구분 | R1 | X1 | Rm | Xm | R2 | X2 | $\omega (2\pi f)$ [rad/sec] |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|
| 값 | 0.04715 | 0.03204 | 0.04863 | 0.94041 | 0.04863 | 0.2994 | 376.99 |



그림 8. 제작된 회전자



그림 9. 개발된 유도전동기

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 1.5KW 농형유도전동기의 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] 김민회, 최성운, "5상 유도전동기의 속도응답특성 개선을 위한 직접토크제어 시스템, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol. 26, No. 01, pp.66 74, 2012. 01. 31.
- [3] 정형우, 김민회, 김남훈, 김동희, "5상 5Kw 표면부착형 영구자석 동기발전기(SPMMSG) 개발", 2012 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.267 269, 2012. 05. 03.

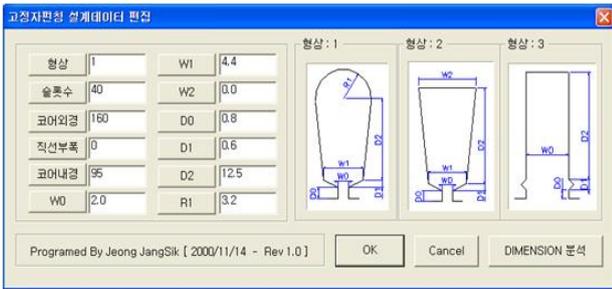


그림 5. 고정자 슬롯 설계

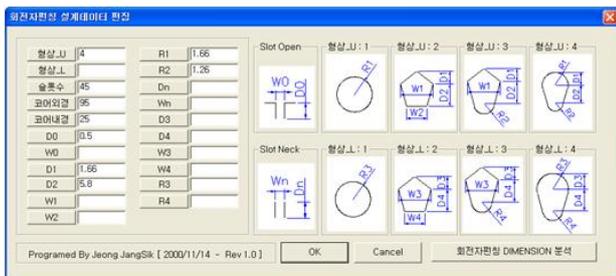


그림 6. 회전자의 슬롯 설계