

5상 1.5[KW] 농형 유도전동기의 특성개선

정형우* · 김민희** · 김남훈*** · 김동희**** · 송현직**

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

An Improvement Characteristics for Squirrel cage Induction Motor of 5-Phase 1.5KW

Hyung Woo Jung · Min Huei Kim · Nam Hun Kim · Dong Hee Kim · Hyun Jig Song
Yeungnam Univ. Graduate School, Yeungnam College S&T, C&M, Yeungnam Univ.

요약: 본 연구는 3상 보다 많은 장점을 가지는 다상 교류전동기를 연구하기 위하여 개발된 5상 1.5Kw 220V, 60Hz 농형 유도전동기의 특성 개선에 대한 연구결과이다. 연구용으로 개발된 5상 전동기는 정격운전에서 전압변동률, 속도변동률, 역률, 효율 및 운전특성 등이 많이 저하 되어 이에 대한 문제점의 개선을 요구하고 있었다. 이에 따라 기존에 개발된 고정자와 회전자의 철심 코아의 구조는 변화 하지 않고 그대로 고정된 상태를 유지하면서, 고정자 권선의 재설계와 제작을 되풀이하는 시행오차 법에 의해 최적의 전동기를 설계 제작하여 정밀 시험을 통하여 운전특성이 개선된 연구결과를 보여준다. 제시되는 특성시험 결과는 무부하시험, 구속시험, 부하특성시험, FFT 고조파 분석, 전동기의 정수 결정 및 등가회로이다.

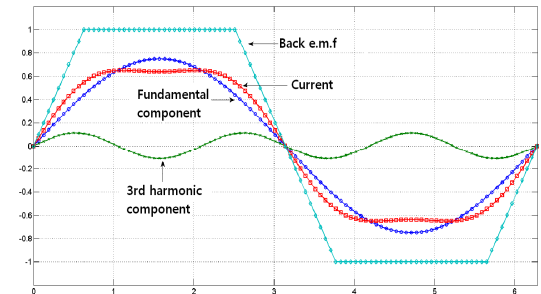


그림 1. 5상 유도전동기의 역기전압과 전류파형

1. 서론

다양한 전동기 제어기법의 개발로 인해 가변속 전동기 구동 시스템에 주로 적용되던 직류전동기 대신 교류전동기를 사용하여 고성능 구동시스템에 적용하는 보편화된 가변속 전동기 구동시스템에 운전특성이 우수하고 많은 장점을 가지는 다상 전동기 제어시스템에 관한 관심이 고조되고 있으며, 11상 (eleven phase) 농형 유도전동기에 관한 연구 결과도 보고되고 있다[1 2].

5상 전동기를 비롯한 다상 교류전동기는 하이브리드 전기자동차, 항공기, 선박 추진시스템, 군사용 장치 구동시스템 등의 분야에서 기존의 3상 전동기를 대체할 차세대 전동기에 대한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다[1 4].

5상 유도전동기의 특성은 분포권을 사용하지 않고 집중권을 사용하며, 3차 공간 고조파 성분을 포함하고 있으므로 사다리꼴 형태의 역기전력을 나타내게 된다. 또한 제3 고조파 전류성분의 주입으로 인해서 높은 전력밀도를 가질 수 있으며, 15[%] 정도의 출력 토크 상승을 가져오게 된다[2].

다상 교류전동기의 연구를 위하여, 개발된 5상 1.5Kw, 220V, 60Hz 농형 유도전동기는 전압변동률, 속도변동률, 역률, 효율 및 운전특성 등이 많이 저하 되어, 이에 대한 문제점의 개선에 대한 연구를 요구하고 있었다[3].

따라서 본 연구에서는 기존에 개발된 고정자와 회전자의 철심 코아의 구조는 변화 하지 않고 그대로 고정된 상태를 유지하면서, 고정자권선의 재설계와 제작을 되풀이하는 시행오차 법에 의해 최적의 전동기를 설계 제작하여 정밀 시험을 통하여 운전특성이 개선되는 연구결과를 고찰한다.

2. 5상 농형유도전동의 수학적 모델

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

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

$$T_e = \frac{P}{2} I_{abcde}^T \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta_r} I_{abcde} \quad (1)$$

5상 교류기의 고조파 성분의 해석을 위하여, 정상상태에서 자계의 중첩 허용을 위해 포화현상과 포피효과를 무시하면, 3상 합성 기자력은 식(2)로 표시된다[2].

$$F = N_a I_a + N_b I_b + N_c I_c + N_d I_d + N_e I_e \quad (2)$$

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

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

3. 개발된 5상 전동기 제작 결과

재설계하여 개발된 5상 220[V], 60[Hz], 1.5[Kw]의 규격과 특성은 표 1과 같다[4].

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	9.475[A]	회전자 외경	94.40 [mm]
정격주파수	60[Hz]	회전자 내경	16.67 [mm]
극수	4[극]	고정자 슬롯 수	40 [개]
정격회전수	1720[rpm]	회전자 슬롯 수	45 [개]
역률	78.0[%]	고정자 코일 턴수	0.8[mm]x85 [T]
효율	90.01[%]	코일 배치	집중권
공극	0.6 [mm]	강판 두께	0.5[mm]
적층 두께	85 [mm]	사용 코아 재질	S-50

4. 실험장치 구성

개발된 전동기의 운전특성을 측정하기 위하여 그림 2와 같은 시험장치를 구성하였다. 안정된 5상 전원을 얻기 위하여 실험용으로 220[V], 60[Hz], 5.0[Kw] 표면부착형 동기전동기 (SPMSG)를 개발하여 사용하였다[3]. 한 상당의 상전압, 선전

류, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 역율을 측정하기 위하여 전력분석기인 PM3000을 사용한다. 전동기의 부하제어는 FFT10(I5+CAP) 파워더 브레이크를 사용하여 제어하며, 전동기 출력의 전력과 토크 및 속도를 측정한다.

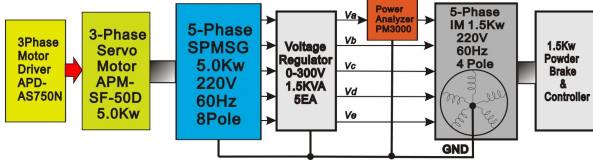


그림 2 실험장치 블록도

5. 개발된 전동기의 특성

5.1. 고정자 권선특성 측정

고정자(1차) 권선 저항: $R_{s23} = 6.450[\Omega]/23^\circ C$

고정자(1차) 누설 인덕턴스: $L_{ls} = 68.88[mH]$

5.2. 무부하 시험 결과

무부하 시험으로 얻어진 결과는 무부하 전압 220[V], 무부하 전류 5.010[A], 한 상당 무부하 전류 1.002[A], 무부하 공급 전력: 79[W], 피상전력 1,098[VA]으로 결정 되었다.

5.3. 구속 시험 결과

구속 시험에서 얻어진 결과는 구속전압 48.1[V], 정격(구속) 전류 9.571[A], 한 상당 정격(구속)전류 1.914[A], 구속전력: 268[W], 피상전력 464[VA], 역율 0.58[%]로 결정 되었다.

5.4 전동기의 부하 특성

그림 2와 같은 실험 장치에서 파워더 브레이크를 제어하여 부하를 가면하면서 한 상당 전동기에 공급되는 전류와 전압, 3상 부하전력, 전동기 토크, 전동기의 회전수 등을 측정할 결과는 표 2와 같다.

표 2. 전동기의 가변 부하시험에서 운전특성 결과

전 동 기 부 하	공 급 전압 [V]	A상전 류 [A]	공 급 전 력 [W]	역율 [%]	출 력 [W]	회 전 수 [rpm]	슬 립 [%]	토크 [N.m]	효 율 [%]
무 부 하	220.04	5.001	267.75	0.073	0	1792	0.40	0/0	0
1 / 4 부하	219.90	5.328	445.26	0.360	365	1780	1.11	1.961	81.97
1 / 2 부하	219.86	6.391	832.18	0.580	741.0	1761	2.17	4.021	90.24
3 / 4 부하	220.09	7.753	1,201.64	0.700	1,089	1740	3.33	5.982	90.63
정 격 부하	220.16	9.328	1,567.30	0.780	1,412	1720	4.44	7.845	90.01
110% 부하	219.72	10.488	1,808.00	0.810	1,552	1690	6.11	9.022	85.84
120% 부하	220.28	11.466	2,027.70	0.820	1680	1681	6.61	10.00	83.04

6. 전동기 정수 산정

저항측정에서 얻어진 고정자 권선의 임피던스 $Z_1 = R_r + jX_{l1} = 7.752 + j25.97$ 와 무부하 시험 및 구속시험에서 얻어진 전동기의 정수는 표 3과 같다.

표 3. 결정된 전동기 정수

R_s [Ω]	R_r [Ω]	R_m [Ω]	L_m [mH]	L_{ls} [mH]	L_{lr} [mH]	X_m [Ω]	X_{ls} [Ω]	X_{lr} [Ω]
7.752	6.868	7.769	511.81	68.88	13.18	192.95	25.97	4.97

7. 개발된 전동기의 검토

재설계하여 제작된 5상 농형 유도전동기의 운전특성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

설계 개발된 전동기의 특성은 표 2와 같다.

5상 교류전동기의 시험용으로 개발된 발전기의 유도기전력은 전원주파수가 5[Hz]에서 65[Hz]까지 선형적으로 잘 제어되므로 전동기의 특성 실험에 있어서 문제점이 없는 것으로 사료된다.

개발된 전동기의 속도변동률은 4.6[%] 이다.

무부하 시험에서 역기전력의 전압파형에 포함된 제3 고조파 성분은 3.41[%]이며, 부하전류에 포함된 제3 고조파 성분은 22.61[%]임을 알 수 있다.

구속시험에서 전압파형에 포함된 THD 1.25[%]이며, 전류에 포함된 THD는 10.00[%]임을 알 수 있다.

부하특성 시험결과로 정격에서 역율은 78.0[%]이며, 효율은 90.01[%]가 됨을 알 수 있다.

전동기의 특성시험 결과를 사용하여 개발된 전동기의 정수는 표 3과 같은 값으로 결정된다.

본 연구에서 제시된 전동기 설계에 의해 5상 농형 유도전동기를 제작하여 운전특성 실험을 통하여 타당함을 알 수 있다. 계속하여 특성 개선에 대한 연구를 할 예정이다.

8. 결론

일반적으로 많이 사용되고 있는 단상 및 3상 전동기 보다 많은 특성을 가지는 5상 1.5[KW] 농형 유도전동기를 Maxwell 2D과 전동기 해석 프로그램을 활용하여 설계 제작하여 개발하였다. 개발된 전동기는 시작품이므로 특성개선이 요구됨에 따라 개선을 위한 제작기술과 특성실험을 통해 개선된 전동기의 운전특성을 고찰 하였다. 개선된 전동기는 속도변동률 4.6[%], 역율 78.0[%], 효율 90.01[%]의 특성을 가진다. 따라서 개발된 5상 농형 전동기를 사용하여 전동기 연구에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Ayman S, Abdel Khalik, Mahmoud I. Masoud, and Barry W. Williams, "Improved Flux Pattern With Third Harmonic Injection for Multiphase Induction Motor", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 27, No. 3, pp. 1563 1758, March 2012.
- [2] 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, pp.294 303, 2011. 05. 31
- [3] 정형우, 김민회, 김남훈, 김동희, "5상 5Kw 표면부착형 영구자석 동기발전기(SPMSG) 개발", 2012 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.267 269, 2012. 05. 03.
- [4] 정형우, 김민회, 김남훈, 김동희, "5상 1.5Kw 농형 유도전동기 개발", 2012 전력전자학회 하계학술대회 논문집, pp.85 86, 2012. 07. 03.