

기전연성된 전기기기의 동특성 및 전자기적 특성 분석

Electromechanical Analysis of an Electric Machine with Mechanical and Electromagnetic Interaction

임 형 빈* · 정 진 태†
Hyungbin Im and Jintai Chung

1. 서론

BLDC 모터는 기계적이고 전기적인 소음이 적고, 고회전 및 높은 신뢰성을 가지고 있다. 이런 이유로 인해 BLDC 모터는 여러 분야에 사용되고 있다. 최근에 BLDC 모터는 자동차 및 산업분야에서도 널리 사용되고 있다. 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 개발은 친환경과 고효율에 초점을 맞추기 때문에 BLDC 모터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

많은 연구자들이 전기모터의 동특성에 대해서 연구했다. 하지만, 대부분의 연구들은 진동에 의하여 발생된 모터 코일 인덕턴스를 고려하지 않았다.

본 연구에서는 전기모터의 기전연성 효과를 고려하였다. 연구대상은 기전연성효과를 고려한 8 극 3상 BLDC 모터이다. 운동에너지, 위치에너지 그리고 자기 에너지를 구한 후에, Lagrange 방정식을 이용해 운동방정식을 유도하였다. Newmark 시간적분법을 이용하여 변위 및 전류의 시간응답을 구하였다.

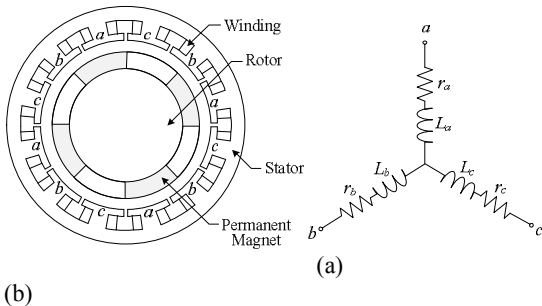


Fig. 1. Eight-pole, twelve-slot, three-phase BLDC motor: (a) the mechanical structure and (b) the Y-connection.

2. 모델링

Fig. 1 은 8 극, 12 슬롯, 3 상 BLDC 모터의 개략도이다. Fig. 1(a) 에서 보는 바와 같이, 영구자석을 가진 회전자는 회전운동을 가지고 있고, 베어링에 지지된 축에 고정되어 있다. 고정자는 코일이 감긴 권선을

가지고 있다. 회전자는 질량 m 이고 질량관성모멘트 J 이고 축과 베어링 시스템은 등가강성 k 를 가지고 있다. 해석의 단순화를 위해서 축과 베어링의 댐핑은 무시한다. Fig. 1(b)에서는 3 상 Y-연결을 나타내고 있다. 권선 a, b 그리고 c 는 자기인덕턴스 L_a, L_b 그리고 L_c , 저항 r_a, r_b 그리고 r_c 를 가지고 있다.

3. 운동방정식

BLDC 모터의 운동에너지와 위치에너지는 다음식과 같다.

$$T = J\dot{\theta}^2/2 + m \mathbf{v}_G \cdot \mathbf{v}_G/2. \quad (1)$$

$$V = k(x^2 + y^2)/2. \quad (2)$$

모터의 댐핑에 의한 Rayleigh 감쇠함수는 다음과 같다.

$$F_d = c(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)/2. \quad (3)$$

고정자 a, b 그리고 c 에 의한 자기에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$W_c = (S/2)(\dot{q}_a^2 + \dot{q}_b^2 + \dot{q}_c^2) + M(\dot{q}_a\dot{q}_b + \dot{q}_b\dot{q}_c + \dot{q}_c\dot{q}_a) + \lambda_m[\dot{q}_a \sin p\theta/2 + \dot{q}_b \sin(p\theta/2 - 2\pi/3) + \dot{q}_c \sin(p\theta/2 + 2\pi/3)] + W_0 \quad (4)$$

모터 고정자의 저항에 의한 Rayleigh 감쇠함수는 다음과 같다.

$$F_r = r_s(\dot{q}_a^2 + \dot{q}_b^2 + \dot{q}_c^2)/2, \quad (5)$$

전압에 의한 비보존력은 다음과 같이 표현된다.

$$W_n = v_a q_a + v_b q_b + v_c q_c \quad (6)$$

BLDC 모터의 지배 운동방정식은 다음과 같은 Lagrange 방정식에 의해 유도된다.

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial(T+W_c)}{\partial \dot{\xi}_k} \right] + \frac{\partial F}{\partial \dot{\xi}_k} - \frac{\partial(T-V+W_c)}{\partial \xi_k} = Q_k, \quad (7)$$

BLDC 모터의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m\ddot{x} - me\ddot{\theta} \sin \theta - me\dot{\theta}^2 \cos \theta + c\dot{x} + kx \\ - (S_x/2)(\dot{q}_a^2 + \dot{q}_b^2 + \dot{q}_c^2) - M_x(\dot{q}_a\dot{q}_b + \dot{q}_b\dot{q}_c + \dot{q}_c\dot{q}_a) \\ - \lambda_{m,x}[\dot{q}_a \sin(p\theta/2) + \dot{q}_b \sin(p\theta/2 - 2\pi/3) \\ + \dot{q}_c \sin(p\theta/2 + 2\pi/3)] = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} m\ddot{y} + me\ddot{\theta} \cos \theta - me\dot{\theta}^2 \sin \theta + c\dot{y} + ky \\ - (S_y/2)(\dot{q}_a^2 + \dot{q}_b^2 + \dot{q}_c^2) - M_y(\dot{q}_a\dot{q}_b + \dot{q}_b\dot{q}_c + \dot{q}_c\dot{q}_a) \\ - \lambda_{m,y}[\dot{q}_a \sin(p\theta/2) + \dot{q}_b \sin(p\theta/2 - 2\pi/3) \\ + \dot{q}_c \sin(p\theta/2 + 2\pi/3)] = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} (J + me^2)\ddot{\theta} - me\ddot{x} \sin \theta + me\dot{y} \cos \theta \\ - (p/2)\lambda_m[\dot{q}_a \cos(p\theta/2) + \dot{q}_b \cos(p\theta/2 - 2\pi/3) \\ + \dot{q}_c \cos(p\theta/2 + 2\pi/3)] = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S\ddot{q}_a + M(\ddot{q}_b + \ddot{q}_c) + r_s\dot{q}_a + (S_x\dot{x} + S_y\dot{y})\dot{q}_a \\ + (M_x\dot{x} + M_y\dot{y})(\dot{q}_b + \dot{q}_c) + (p/2)\lambda_m\dot{\theta} \cos(p\theta/2) \\ + (\lambda_{m,x}\dot{x} + \lambda_{m,y}\dot{y}) \sin(p\theta/2) = v_a \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} S\ddot{q}_b + M(\ddot{q}_a + \ddot{q}_c) + r_s\dot{q}_b + (S_x\dot{x} + S_y\dot{y})\dot{q}_b \\ + (M_x\dot{x} + M_y\dot{y})(\dot{q}_a + \dot{q}_c) \\ + (p/2)\lambda_m\dot{\theta} \cos(p\theta/2 - 2\pi/3) \\ + (\lambda_{m,x}\dot{x} + \lambda_{m,y}\dot{y}) \sin(p\theta/2 - 2\pi/3) = v_b \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} S\ddot{q}_c + M(\ddot{q}_a + \ddot{q}_b) + r_s\dot{q}_c + (S_x\dot{x} + S_y\dot{y})\dot{q}_c \\ + (M_x\dot{x} + M_y\dot{y})(\dot{q}_a + \dot{q}_b) \\ + (p/2)\lambda_m\dot{\theta} \cos(p\theta/2 + 2\pi/3) \\ + (\lambda_{m,x}\dot{x} + \lambda_{m,y}\dot{y}) \sin(p\theta/2 + 2\pi/3) = v_c \end{aligned} \quad (13)$$

4. 결과 및 고찰

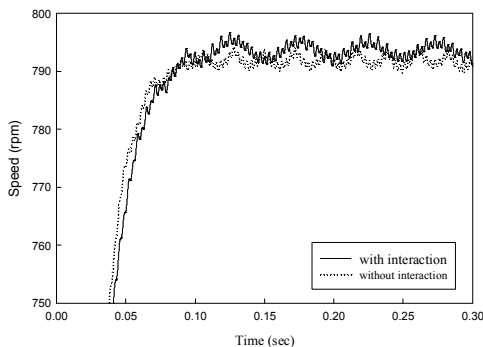


Fig. 2. Velocity profiles with and without interaction in the transient state.

Fig. 2는 회전자의 기전연성된 경우와 연성이 되지 않은 경우의 회전속도이다. 기전연성된 경우가 더

정확한 결과를 나타낸다.

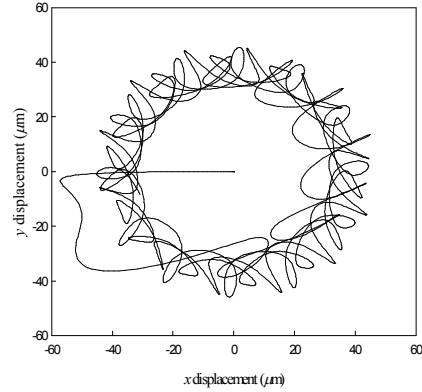


Fig. 3. Locus of the rotor center with electromechanical interaction in transient state.

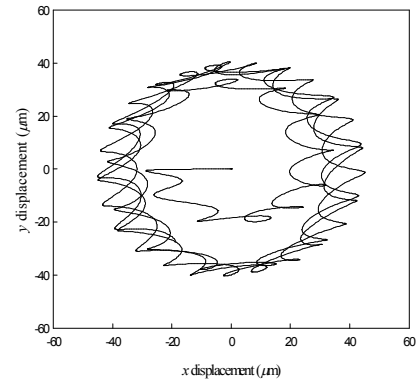


Fig. 4. Locus of the rotor center due to mechanical eccentricity in transient state.

Fig. 3은 기전연성된 상태에서의 회전자의 거동을 나타내고, Fig. 4는 기계적인 편심만을 고려한 회전자의 거동을 나타낸다. 기전연성된 회전자의 거동이 더 불규칙적이고 그 거동의 크기도 크다.

5. 결론

본 논문에서는 기전연성된 BLDC 모터의 동특성 및 전자기적 특성을 분석하였다. 모터의 진동은 모터의 파손이나 소음을 유발할 수 있다. 따라서 그 정확한 거동의 예측은 모터 분석에서 중요하다 할 수 있다. 정확한 거동을 예측하기 위해서는 본 연구에서 제시한 바와 같이 기전연성효과를 고려해야만 한다.

후기

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-521-D00020). 여기에 후기를 입력해 주십시오.