2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

소형 BLDC 전동기의 영구자석 형상 변화에 따른 코깅토크해석

정현구, 우성현, 정희준, 신판석
홍익 대학교 전자전기 공학과

Characteristic Analysis of A small BLDC Motor considering various Magnetic shapes

Hyun-koo Chung, Sung-Hyun Woo, Hee-Joon Chung, Pan-seok Shin
Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University

Abstract - 본 논문에서는 기존 사용 중인 24V, 10W, 300rpm, 4극, 6슬롯의 사양을 갖는 소형 전동기를 해석하였다. 영구자석이 회전자에 부착되어있는 내전형 소형 BLDC 전동기를 모델로 하였다. 고정자 측 외경은 그대로 유지하면서 전동기에서 발생되는 코깅토크를 감소시키기 위하여 영구자석의 형상을 변화 시켰다. 내부 회전 자석계자는 강한 자력으로 인하여 높은 토크를 발생시키는 희토류(rare earth magnet)자석을 사용하고, 자속분포와 코깅토크를 해석하였다. 코깅토크는 자석구조에 의해 변화하기 때문에 영구자석의 형상과 크기를 최적화 하여 코깅토크를 최소화 하였다.

1. 서 론

BLDC 전동기는 회전자측에 영구자석이 부착되어 자석에 의하여 여자를 수행하는 동기 전동기의 일종이며, 기존 DC전동기에 비하여 보수성이 우수하고 소음이 적고 속도제어가 용이하며 영구자석에 의한 자기적 에너지 밀도가 높아 효율이 좋기 때문에 광학기기, 의료기기, 컴퓨터 주변기기 등에 널리 사용되고 있다.

BLDC 전동기는 구성방식에 따라 원판형(Axial type) 및 원통형(Radial type)으로 나눌 수 있으며, 원통형은 외전형(Outer-rotor type)과 내전형(Inner-rotor)으로 나눌 수 있다. 일반적으로 회전자측은 계자자속을 만들어주기 위한 영구자석과 자속의 경로를 구성해주기 위한 회전자 철심부로 구성된다.

원판형 전동기는 회전율을 저감시킬 필요가 있는 곳에서 많이 사용되고 내전형은 외전형에 비하여 회전자의 외경이 작아지므로 관성모멘트를 작게 할 수 있어 제어상 용이하고 구조를 비교적 간단하게 구성할 수 있고 비교적 민감한 제어성이 요구되는 곳에 사용되고 외전형은 모터 내측에 회전자계를 형성하고 관성모멘트가 크고 정속도에 유리한 특징을 갖는다.

일반적으로 구동시스템에 들어가는 BLDC 전동기를 설계하려면 외형의 크기에 제약이 있으므로 고정자의 형상은 용량, 토크, 극수가 정해지면 구조변경에 한계가 있기 때문에 구동시스템의 요구특성을 만족하는 BLDC 모터를 설계하기 위하여 고정자는 일반적인 사양을 적용하고, 회전자는 자석계자의 형상을 조정하면서 그 때의 특성이 어떻게 나타나는지를 알아보았다. 영구자석은 잔류자속밀도가 높은 희토류자석을 사용하였다. 높은 잔류자속밀도는 큰 코깅토크를 발생시켜 전동기에 on-off 시 맥동을 일으키는 요인으로 작용을 한다. 또한 자속밀도 제곱에 비례하는 큰 자력과 이에 의한 진동이 큰문제로 작용한다.

본 논문에는 24V, 10W, 300rpm BLDC 전동기를 선정하여 계자극 각도의 변화를 주면서 코깅토크의 변화 되어진 값들을 보고 가장 코깅토크가 낮은 계자극을 확인하였다. 전동기의 특성을 해석하기 위하여 FLUX2D를 이용하였다.

2. 소형 BLDC 전동기 특성 해석

2.1 전동기 특성 방정식

일반 DC전동기와 같이 플레밍의 왼손법칙에 따라 토크를 발생한다. 필드 안에 놓인 코일을 전류 i_a가 통하게 되면 , 식(1)과 같이 도체에 작용하는 힘이 발생한다.

$$F \propto i_a \cdot B \cdot l \tag{1}$$

일반적 BLDC 특성방정식은 다음과 같다.

$$V_a = E_a + R_a \times i_a \tag{2}$$

$$E_a = \frac{ZP}{2\pi a}\Phi\omega = K_e\Phi\omega \quad , K_e = \frac{PZ}{2\pi a} \tag{3}$$

$$T = \frac{ZP}{2\pi a}\Phi i_a = K_t\Phi i_a \quad , K_t = \frac{PZ}{2\pi a} \tag{4}$$

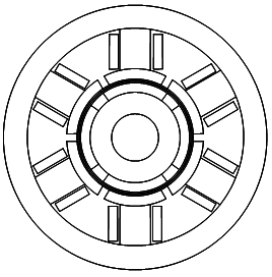
위의 식에서 P는 극수, a는 병렬도체수, Φ는 유효자속, i_a는 코일전류, Z는 1코일당 도체수, V_a는 인가 전압, E_a는 코일의 유기전압, ω는 각속도이다.

2.1.1 BLDC 전동기 사양

해석 모델로 사용한 BLDC 전동기의 사양을 표 1에 나타내었다. 이 해석 모델은 현제 시중에 사용되고 있는 모델이다.

전원[V]	24	극수	4
공극[mm]	1	슬롯수	6
고정자외경[mm]	28	고정자내경[mm]	13
자석두께[mm]	2	축방향길이[mm]	23
슬롯개구폭[mm]	1.6	회전자외경[mm]	12
잔류자속밀도[T]	1.1	속도[rpm]	3000

〈표 1〉 전동기 사양



〈그림 1〉 해석모델 단면도

2.1.2 자석특성

종류	최대 에너지적	잔류 자속밀도	보자력
NdFeB	23~50	1.1~1.45	11~30
단위	MGOe	T	kOe

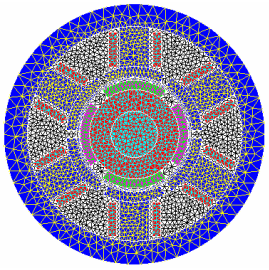
〈표 2〉 영구자석 특성

기존 사용 중인 모델은 저가의 Ferrite magnet을 사용했는데 희토류자석을 사용함으로 소형화를 할 수 있고 고효율의 전동기를 설계할 수 있다. 하지만 코깅토크의 증가 등의 여러 문제점이 발생하는데 이를 줄이

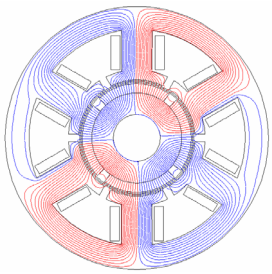
고자 공극 길이 증가, 슬롯/극 수 증가, 고정자 또는 회전자의 skew, 자극모서리의 변화, 자석의 자화방향등의 방법이 있다.

2.2 자계 해석

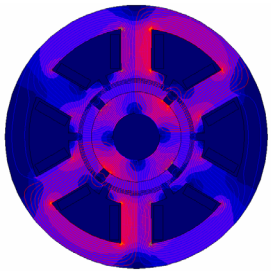
전동기 시뮬레이션을 위해 해석 모델을 11683node 로 요소분할을 하였다. 자석계자의 각도는 72°, 74°, 76°, 78°, 80° 의 변화를 주면서 해석을 하였다. 그림 2는 요소분할 된 모습을 나타내고 있다. 자석의 방향성은 Radial 방향으로 해석을 하였고 FLUX2D를 이용하였다.



〈그림 2〉 요소분할 해석



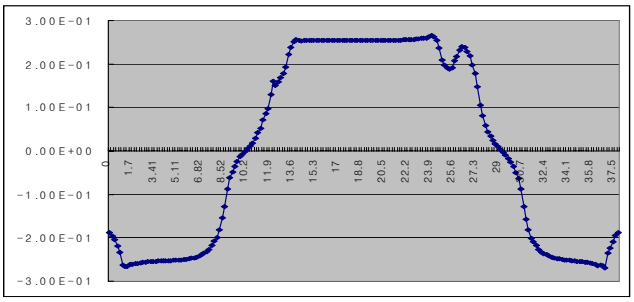
(a) 자속선도



(b) 자속밀도

〈그림 3〉 자속 선도와 자속 밀도

그림 3은 외부회로가 없을 때의 자속선도와 자속밀도를 나타내는 그림이다. 자속의 형상과 집중도를 알 수 있다. 아래의 그림 4는 공극자속밀도의 크기와 방향성을 알 수 있는 그래프이다. 한 주기만의 결과를 확인하도록 하였고



〈그림 4〉 공극의 자속밀도(초기모델)

2.2.1 코깅 토크 해석

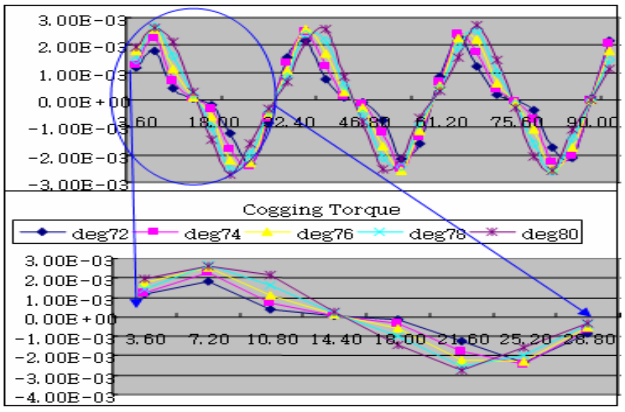
코깅토크의 주기는 360°를 극수와 치수의 최소공배수로 나눔으로 구할 수 있다. 코깅토크의 주기가 작아질수록 코깅토크의 크기가 작아질 가능성이 많음을 알 수 있다. 해석 모델의 경우 4극 6슬롯이고 주기는 30도가 된다.

해석은 총 90°의 각을 설정하고 1°씩의 변화를 주면서 시간에 따라 회전하는 공극 부분의 자속과 코깅토크의 값을 하였다. 총 3주기 동안의 값이며 그중 한주기 부분의 값을 그림 5의 아래 부분과 표 3에 나타내었다.

토크는 영구자석과 치 부분에서의 에너지 변화가 공극의 경우에 비해서 무시할 수 있을 정도로 작으므로 공극에 저장된 자기 에너지의 회전각에 대한 변화율을 계산함으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T = -\frac{\partial W}{\partial \theta} = -\frac{\Delta W}{\Delta \theta} = -\frac{\Delta W_{airgap}}{\Delta \theta} \qquad (5)$$

코깅토크는 계자석과 전기자 구조사이의 상호작용으로 공극에 쌓인 자기에너지가 회전자의 이동과 함께 생기는 것으로, 공극이 증가하면 자속량의 감소만큼 줄어들고 코깅토크에 큰 영향을 미치는 것은 자기저항의 변화요인 자석의 폭과 슬롯에 주로 있는데 실험에서는 자석 폭의 영향을 줄 수 있는 자석계자의 각도 변화를 주었다. 자석계자 72° . 즉 자석 폭이 3.0035mm 일 때 코깅토크가 가장 적음을 알 수 있었다. 본 실험에서는 70에서 80사이의 5개의 값만을 해석하였지만 다른 변수들과의 같이 복합적 계산을 한다면 사용 중 전동기보다



〈그림 5〉 각도에 따른 코깅토크 변화

계자극 각도(deg)	자석 폭[mm]	코깅토크평균[g.cm]
72	3.004	3.69
74	2.672	4.74
76	2.339	5.91
78	2.007	6.03
80	1.673	7.49

〈표 3〉 계자각에 따른 코깅토크 해석 결과

3. 결 론

기존의 소형 전동기를 성능 향상을 위해 희토류 자석으로 대체하고 그에 대한 문제점 중에 하나인 높은 코깅토크를 해결하기 위하여 코깅토크의 감소방법 중 자석의 형상을 변화시켜 코깅토크가 가장 낮게 나오는 결과를 확인해 보았다. 70deg~80deg 사이의 계자극 각도에서 각도가 작아질수록, 즉 자석 폭이 커질수록 코깅토크가 작아짐을 볼 수 있다.

자석형상뿐 아니라 공극의 길이, 자석 양끝 부분의 형상 변화, skew 등의 여러 요인들을 변수로 두어 최적화되는 결과를 찾는다면 보다 좋은 특성을 갖는 전동기를 설계 할 수 있을 것이다.

본 논문은 산업자원부 전력산업기반조성센터에서 지원한 대학전력연구센터 (과제번호2006-0273)의 사업으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 김한들, “Response Surface Method를 이용한 대용량 BLDC 전동기의 영구자석 형상 최적화 연구”, 홍익대학교 석사논문, 2006.
[2] J. R. Hendershot Jr. and T. J .E. Miller, “Design of brushless permanent-magnet motor”, Oxford University, 1994.
[3] 신판석, 안진우, 우정일 공역, “전기기기 4e”, McGraw-Hill KOREA, 2004.
[4] 장건희, “blushless DC Motor의 자력과 토오크의 해석 및 관한 연구”, 한국과학재단, 1997