

IPM 모터의 코깅토크 저감을 위한 노치 최적화

한광규*, 강규홍**, 안영규*, 이동엽*, 김규탁*

*창원대학교 전기공학과, **모터넷

Optimizing Notch to reduce Cogging Torque of IPM motor

Han Kwang-Kyu*, Kang Gyu-Hong**, Ahn Young-Gyu*, Lee Dong-Yeup*, Kim Gyu-Tak*

*Changwon National University Electrical Engineering, **Motor-Net Int. CO, LTD

Abstract - By reason of variation magnetic field, cogging torque is generated. Cogging torque of IPM is bigger than other type permanent magnet motor. So, this paper presents a Optimizing notch to reduce cogging torque of interior type permanent magnet(: IPM) motor. Through Fourier formulation of magnetic field on rotor, we found position of notch and manufactured armature that is designed by optimizing analysis. The validity of the proposed design is confirmed with experiments.

1. 서 론

산업의 고도화에 따른 생산장비와 제품의 구성에도 고성능 모터를 요구하고 있다. 최소한의 부피와 정밀한 제어가 가능한 모터의 필요성이 커지자 이에 부합할 수 있는 영구자석 전동기가 대세적으로 사용되고 있다. 모터의 출력은 토크와 회전수에 비례하므로 영구자석을 이용한 토크향상과 제어를 통한 회전수의 향상이 출력을 높일 수 있는 방법이다. 하지만 높은 회전으로 인해서 회전자에 고정되는 영구자석의 접착력이 회전에 따른 원심력을 이기지 못해 영구자석이 분리되는 문제점이 발생할 수 있다. 접착재료의 발달이 크게 도움이 되고 있지만 수만 rpm이 넘는 회전수를 가지는 모터의 구동환경에 따라서 모터 내부 온도가 접착재의 화학적 변화를 일으킬 수 있는 고온으로 치닫게 되기 때문에 영구자석이 사용된 회전자의 구조적 견고함을 신뢰하기 어렵다. 매입형 영구자석 전동기는 이러한 문제점을 해결하기 위해 회전자 내에 영구 자석을 설계 하여 제작함으로써 어떠한 고속 회전 운전에서도 접착력에 따른 문제점을 해결 할 수 있는 구조를 가진다[1][2].

그러나 IPM의 구조는 축방향 길이와 기계적 공극, 자기적 공극이 같은 다른 형태의 모터와 비교 할때 높은 코깅 토크가 발생한다. 이로 인하여 전동기 운전시 진동과 소음이 발생하게 되어 보다 폭넓은 유용성이 떨어지게 된다. 현대의 전동기는 고정밀 제어를 요구하는 곳이나 실생활에 밀접하게 관련 되어있는 가전 제품에 많이 응용 되는 만큼 이러한 진동과 소음은 IPM의 가용성에서는 큰 단점이 된다.

영구자석과 자성체로 구성된 전동기의 코깅 토크를 저감시키기 위한 방법으로는 자석의 자화 영역을 조절하는 방법, 영구자석을 불균일하게 배치하는 방법 등이 많이 시행 되어왔다[3]. 이러한 방법들은 회전자 표면에 영구자석이 설계되어 있는 구조에서만 적용 할 수 있지만 IPM과 같이 영구자석이 자성체의 회전자 내에 설계 되어 있는 경우는 해당 되지 않는다[4].

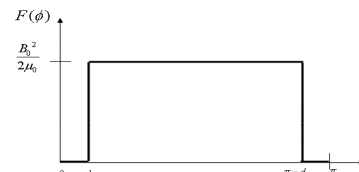
따라서, 본 논문에서는 영구자석의 자화 영역이나 고정자의 치모양을 변화시키는 방법대신 영구 자석을 감싸고 있는 회전자의 표면을 변화 시켜 공극의 자화분포를 조절하는 방법을 제안 하고 FEM을 통하여 계산 과정에서 고려할 수 없는 변수들 포함해 최적화를 수행하였다. 해석결과는 시작기를 제작해 실험과 비교하여 타당성을 입증 하였다.

2. 본 론

2.1 노치 설계

코깅 토크는 전동기내의 비균일 토크로, 전동기 시스템의 자기 에너지가 최소인 위치로 이동하려는 접선방향의 힘이다. 부하 진류와는 상관없이 회전자 영구자석과 고정자 슬롯의 상호작용에 의해 발생한다. IPM의 경우 영구자석을 포함 하는 설계 구조상

회전자 표면의 자화 분포의 변화가 매우 크기 때문에 코깅 토크가 크게 발생 하게 된다. 코깅 토크는 회전자 표면의 자화 분포의 영향으로 발생하기 때문에 공극의 자화분포에 의한 에너지 분포를 푸리에 급수 전개 방법으로 해석하여 코깅 토크를 상세 할 수 있는 노치의 위치 α 와 노치의 너비 γ 를 계산 할 수 있다.



(a) 기본모델



(b) 노치적용모델

〈그림 1〉 공극의 에너지 분포

$$F_m(\theta) = X_0' + \sum_{k=1}^{\infty} X_k \sin(kP\phi + \frac{\pi}{2}) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\gamma)}{\sin(kd)} \cdot X_k \sin(kP(\phi - \alpha) + \frac{\pi}{2}) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{2k\pi}{3n}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\left\{ (2k+1)\pi + \frac{\pi}{2} \pm \left(\frac{\pi}{2} - 3nq \right) \right\}}{3n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

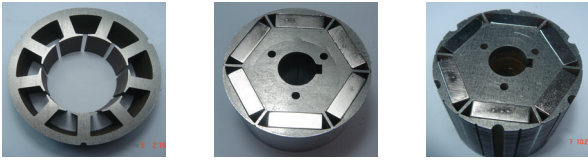
그림 2는 기본 모델과 노치 적용 모델(수식), 최적화 모델(FEM)의 코깅 토크 비교이다.

기본 모델 코깅 토크의 pk-pk 값이 5.68[kg·cm]에 비해 노치를 적용한 모델이 3.62[kg·cm]로 23%가 감소되었다. 코깅 토크 감소가 기대치에 미치지 못하였다. 수식에서 치와 철심의 포화현상을 고려하지 않았기 때문이며 이를 위해 FEM을 통한 노치 최적화가 필요하다. 3, 6고조파성분의 코깅토크를 저감하기 위한 노치의 위치를 고정하고 크기를 변화시켜 노치의 최적화를 수행하였다.

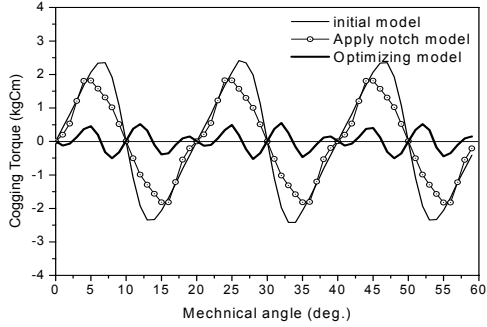
위의 수식에 의하여 3고조파 성분의 코깅 토크를 저감하기 위한 노치의 폭은 8.5°에서, 6고조파 성분의 코깅 토크를 저감하기 위한 노치의 폭은 2.0°, 노치의 깊이는 2[mm]로 노치에 관한 최적 파라미터를 결정하였다. 최적화 모델의 코깅 토크는 기본모델과 비교하여 87%가 저감되었다.

해석의 타당성을 위해 기본 모델과 최적화 모델을 제작하여 실험치와 비교 하였다.

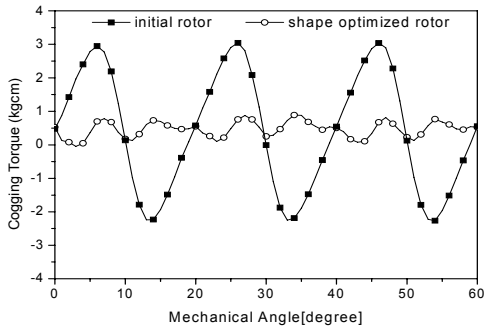
그림 3은 해석모델의 시작기이다.
그림 4는 기본모델과 최적화 모델의 코깅 토크 실험치를 나타낸다.



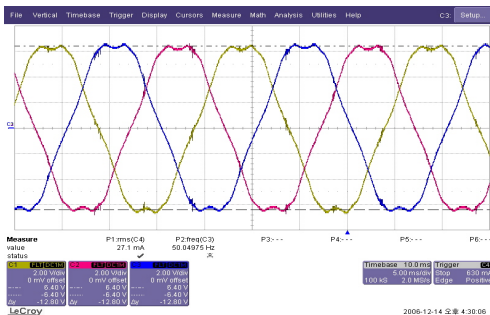
<그림 3> 시작기



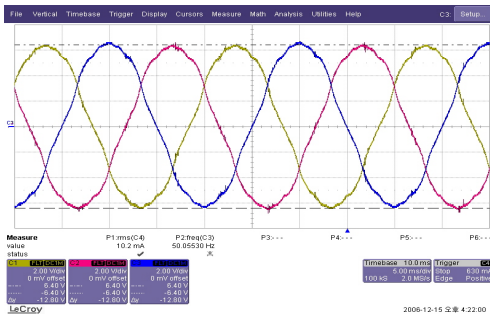
<그림 2> 모델에 따른 코깅토크 비교



<그림 4> 코깅 토크 실험치



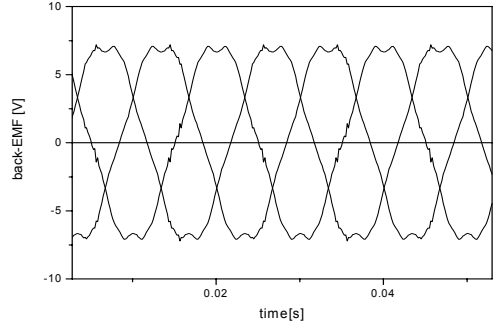
a. 기본모델



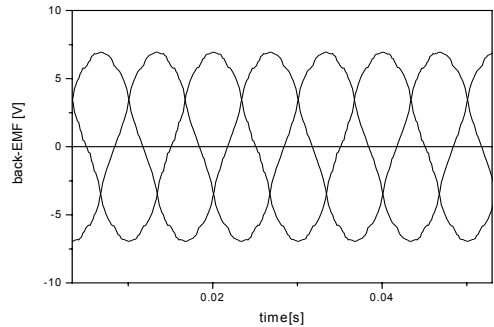
b. 최적화모델

<그림 5> 역기전력 실험치

FEM을 이용한 해석결과에서 최적화 모델이 기본 모델에 비하여 코깅 토크가 87% 저감되었지만 두 모델의 실험 결과에서는 코깅 토크가 84.5% 저감되는 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 부분적인 포화 현상과 재료의 불균일성으로 판단된다. 하지만 수치해석 방법으로 노치의 설계 변수를 이끌어내고 FEM을 이용해 노치를 최적화하는 본 논문의 내용이 실제 현상에서 그대로 나타나는 것을 입증 해줄 수 있는 충분한 결과이다.



a. 기본모델



b. 최적화 모델

<그림 6> FEM을 이용한 역기전력 해석치

3. 결 론

본 논문에서는 IPM 전동기의 코깅 토크 최소화를 연구하였다. 기본적인 수식에 의하여 유도한 노치의 설계를 FEM을 이용하여 코깅 토크가 발생하는 환경을 최대한 고려하여 노치 설계 변수를 최적화 하였다. 최적화 모델은 노치에 의해 평균 공극이 커져 출력 저하를 우려하였지만 기본모델과 비교하여 역기전력이 98.6%로 출력 변화가 크지 않고, 오히려 역기전력 파형의 고조파 성분이 제거 되어 기본모델 보다 더욱 안정한 출력을 낼 수 있다. 논문의 최적화 방법은 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

공극에 분포하는 자속밀도를 정확하게 전개 하는 연구를 진행하면 수치적으로 계산하지 못했던 노치의 너비와 깊이에 대한 최적화 방법을 명확히 결정 할 수 있으리라 사료되어 진다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, Design of Brushless Permanent Magnet Motor, Clarendon Press, Oxford,1994.
- [2] Gyu-Hong Kang, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim, and Jung-Woo Park, "Improved Paramater Modeling of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Finit Element Analysis", IEEE Trans. on Magnetics, vol. 36, no. 4, pp. 1867 ~ 1870, 2000.
- [3] Chang Seop Koh, and Jin-Soo Seol, "New Cogging-Torque Reduction Method for Brushless Permanent-Magnet Motors", IEEE Trans. on Magnetics, vol. 39. no. 6, pp. 3503 ~ 3506, 2003.
- [4] Dong-Hun Kim, Il-HanPark, Joon-HoLee and Chang -Eup Kim,"Optimal Shape Design of Iron Core to Reduce Cogging Torque of IPM Motor",IEEE Trans. on Magnetics, vol. 39, no. 3, pp. 1456 ~ 1459, 2003