

IPM 전동기의 코깅토크 저감을 위한 회전자 형상설계

김형규*, 강규홍**, 허진*
 울산대학교*, 조선기자재연구원**

The barrier shape design for reduction of cogging torque in IPM type motor

Hyung-Gyu Kim*, Gyu-Hong Kang**, Jin Hur*
 University of Ulsan*, Korea Marin Equipment Research Institute**

Abstract - This paper presents the rotor study on the deal with the shape design with a flux barrier to minimize the cogging torque of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor(IPMSM). In order to consider the notch effect, the torque characteristics according to the shape of notch is performed and analyzed. From the this results, we found that an optimal location and radius of the notch effectively suppresses the torque pulsation of the IPM drive. The rotor shape design also shows improvement in the average torque

1. 서론

전장 시스템의 고효율화 요구가 증가되면서 내일형 (Interior Permanent Magnet: IPM) 전동기의 연구 및 응용분야에 대한 접목은 괄목할 만 한 성장을 이루었다. IPM 전동기의 연구결과로부터 전장 시스템에서의 응용분야는 증가 추세이지만 대부분이 고효율, 고효율 및 넓은 약계자 영역에서의 우수성을 강조하고 있다.[1]

전장 시스템의 동력원인 전동기는 고효율과 고효율뿐만 아니라 시스템에 악영향을 주는 전자기적 소음과 진동 저감의 관점에서 연구가 이루어져야 하지만, 현재까지의 연구에서 전자기적 소음과 진동에 대한 연구결과는 상대적으로 매우 미미하다. 전동기의 진동은 압축기와 같은 1회전당의 부하토크가 변동하는 경우와 가진원과 전동기 구조물의 공진 등에 의한 기계적 요인으로부터 발생한다. 전동기 진동을 저감하기 위해서 대부분의 연구가 전동기 구조물의 형상과 중량 등을 변경하여 저감하고 있지만 이는 본질적으로 가진원의 분석과 저감을 고려하지 못하는 결과들이었다.[2],[3]

IPM 전동기의 전자기적 가진원으로는 회전자 편심에 의한 normal force의 불균일, 축방향 편심에 의한 축방향 추력 변동, 구동방식에 따른 commutation torque ripple과 코깅토크로 대별되어진다. 특히 IPM 전동기는 기계적 공극과 자기적 공극의 길이가 동일하므로 높은 공극자속밀도를 확보할 수 있어 고효율화는 가능하지만 상대적으로 매우 높은 코깅토크를 발생하므로 진동저감을 위해서 코깅토크의 저감은 매우 중요한 연구과제이다. IPM 전동기의 코깅토크 저감을 위해서 회전자 flux barrier의 각도와 위치 변경이나 회전자에 air hole이나 notch를 형성하여 자속의 경로 변화 및 등가자화 분포 특성 변화에 대한 연구결과가 이미 발표가 되었지만 이는 회전자 각 부위의 자기포화를 종합적으로 고려한 결과는 아니다. 또한 회전자 flux barrier 영역은 매우 극심한 자기포화가 발생하는 영역으로 flux barrier를 설계변수로 선정할 경우 코깅토크의 해석결과와 실험치가 일치하지 않는 경우가 발생하므로 자기포화와 등가자화의 분포 특성 변화를 종합적으로 고려한 설계가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 4극 6슬롯의 돌극 집중권 IPM 전동기의 코깅토크 저감을 위해서 그림 1에서와 같이 영구자석에 의한 자속의 공간적 분포 특성을 변화시키는 구조를 선정하였다. 특히 이에 따른 자기포화를 고려하기 한 극에서의 자속 변화 영역의 넓이, 깊이 및 공간적 위치 변화에 따른 코깅토크 특성을 분석하여 IPM 전동기의 코깅토크 저감을 위한 최적의 회전자 형상을 제시하였다.

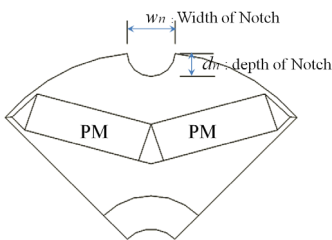
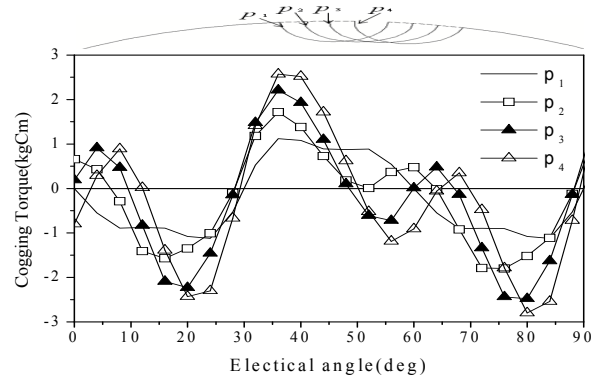


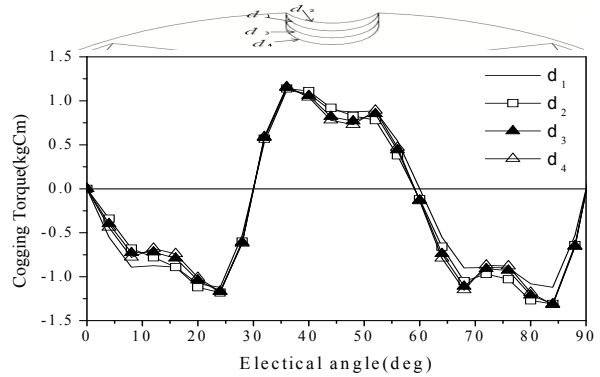
그림 1. 코깅토크 저감을 위한 IPM 전동기 설계변수

2. 코깅토크 저감을 위한 IPM 전동기 회전자 형상설계

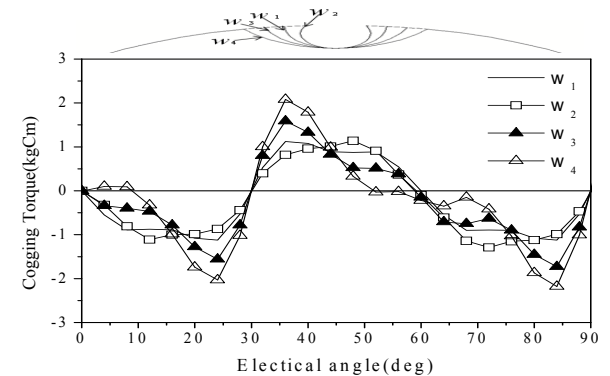
돌극 집중권 전동기는 분포권 전동기에 비해 end coil 감소에 의해 체적이 감소하는 장점이 있어 대부분의 전장 시스템 동력원으로 사용하지만 상대적으로 매우 큰 코깅토크를 발생한다. 회전자에 notch를 시행한 경우 코깅토크 특성에 연구결과[1]로 부터 notch의 공간적 위치에 대한 코깅토크 특성 해석결과를 그림 2에 나타내었다.



(a) Notch의 공간적 위치(p)에 따른 코깅토크



(b) Notch 깊이(d)에 따른 코깅토크



(c) Notch 폭(w)에 따른 코깅토크
 그림 2. Notch 깊이에 따른 코깅토크 특성특성

해석결과 회전자 중심에 notch를 시행하는 것이 공간적 위치에서는 코깅토크가 가장 저감함을 알 수 있다. 또한, 그림 2(b)에서 Notch의 변화에 따른 해석결과로부터 회전자 중심에 notch를 시행한 후 깊이에 따른 코깅토크 특성을 나타내었다. Notch의 깊이가 깊어질수록 코깅토크는 저감하는 것으로 나타나나, Notch의 넓이의 변화에 따라서는 상대적으로 유효공극의 증대 폭이 커져, 코깅토크가 저감됨을 확인하였다. 해석결과로부터, 본 IPM 전동기에서 중심의 위치에서 d_1, w_1 모델이 코깅토크의 저감에 좋은 특성을 가짐을 확인하였다.

3. IPM 전동기의 회전자 형상설계에 따른 해석결과

그림 3과 4는 notch의 형상에 따른 정토크 특성 및 코깅토크의 저감에 가장 효과적인 d_1, w_1 모델에 대하여, notch가 없는 기존의 모델과의 정토크 및 코깅토크의 비교결과를 나타내고 있다.

본 논문에서 설계된 Notch의 형상은 유효공극의 증대를 가져오나 q -축 인덕턴스의 변화에는 영향이 적으며 직접적으로 d -축 인덕턴스의 저감을 가져오는 유효공극의 증대를 가져와 평균토크에 있어서도 개선된 효과가 있다. 그림3에서와 같이 d_1, w_1 모델이 개선된 코깅토크 특성을 가지면서도 평균토크에서 좋은 특성을 가짐을 볼 수 있다.

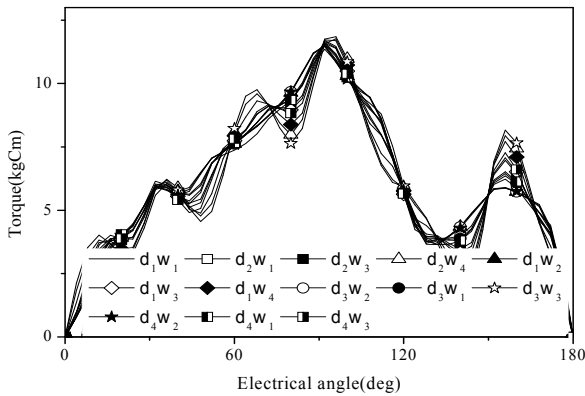
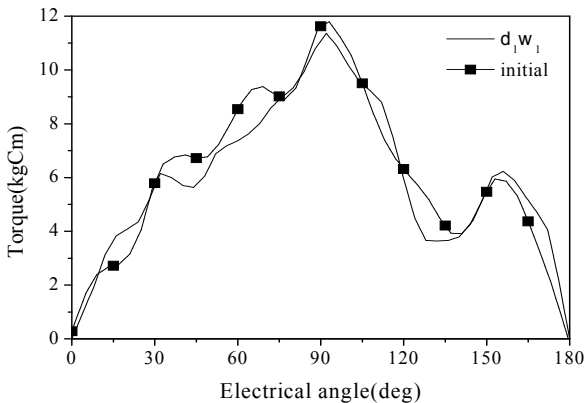
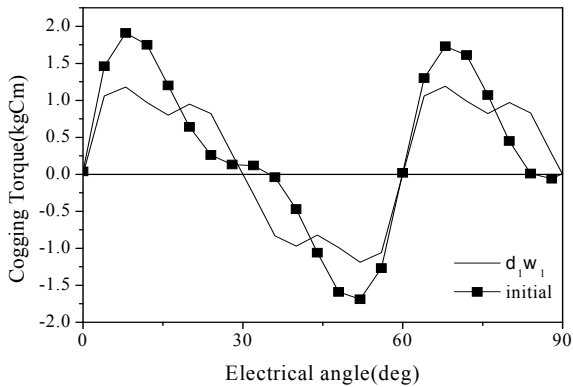


그림 3. Notch의 변화에 따른 평균토크 특성



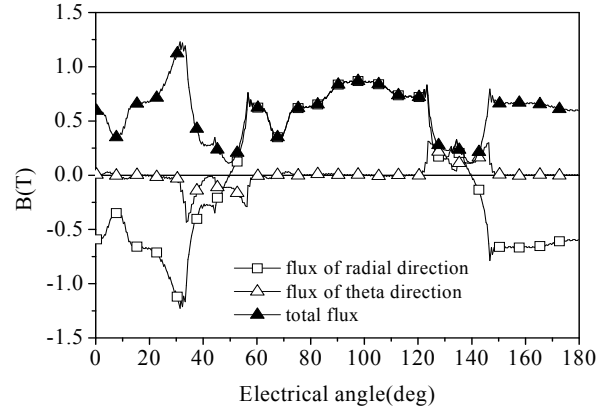
(a)회전자 notch를 갖지 않는 model



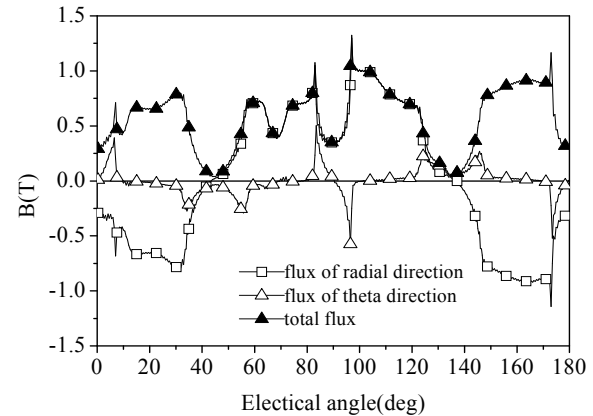
(b)회전자 notch를 갖는 model

그림 4. Notch가 없는 모델과 Notch 모델의 정토크 특성

또한 그림 4에서 보는 바와 같이 notch의 형상설계에 의한 코깅토크가 크게 감소하였음에도 불구하고, 평균토크에서는 비슷한 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 평균토크에서는 자속의 공간적 분포 특성에서 radial 성분은 notch 영역에서는 감소한 반면 notch에 인접한 슬롯 opening 영역에서의 radial 성분이 증가한 결과이며, 코깅토크는 notch 모델의 자극 사이에서 자속의 theta 성분이 좌우 대칭성을 확보하는 결과로써 그림 5에 나타내었다.



(a)회전자 notch를 갖지 않는 model



(b)회전자 notch를 갖는 model

그림 5. Notch가 없는 모델과 Notch 모델의 공극자속밀도 비교

4. 결 론

IPM 전동기의 코깅토크에 있어서 회전자 notch의 효과는 연구·발표 되었지만 notch에 의한 자기포화 현상이나 notch와 slot 고조파와의 상호관계를 종합적으로 연구하지는 못했다. 본 논문에서는 이러한 문제를 notch의 공간적 위치, 깊이 및 넓이 등을 종합적으로 고려하여 코깅의 저감뿐만 아니라 평균토크 특성까지 분석하였다. 4극 6슬롯의 IPM 전동기는 notch의 위치 및 형상이 notch에 인접한 슬롯 opening에 자계의 theta 성분이 대칭성을 갖도록 해준다. 따라서 notch의 위치는 자극의 중심에 존재해야하며 자기포화를 고려한 notch 형상설계의 설계법을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gyu-Hong Kang, Young-Dae Song, Gyu-Tak Kim and Jin-Hur, "The Novel Cogging Torque Reduction Method for Interior Typ Permanent Magnet Motor", IEEE Trans. on. AE, vol. 45, No 1, pp 161~167, 2009
- [2] A. Kisoumarsi, M. Moalle, and B. Fashimi, "Midigation of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motors by Optical Shape Design", IEEE Trans. on magnetics, vol. 42, NO. 11, pp. 3706~3711, 2005.
- [3] Jin Hur, "Characteristic Analysis of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor in Electro-Hydraulic Power Steering System", IEEE Trans. on. IE, vol. 55, No 6, pp 2316~2322, 2008.