Spoke type IPM 모터의 토크리플 저감을 위한 회전자형상 최적설계

이 현, 장기봉, 김규탁
창원대학교 전기공학과

The optimal design of stator shape for reducing cogging torque in spoke type IPM motor.

Lee hyun, Jang ki-bong, Kim gyu-tak
Department of Electrical Engineering, ChangwonNationalUniversity

Abstract - Spoke type 영구자석 전동기는 자속이 집중되어 높은 공극자속밀도를 가지는 이점이 있으나 코깅토크가 비교적 크다는 단점이 있다. 소음 진동의 원인이 되는 코깅 토크를 저감하기 위해 모델1, 모델 2를 통해 회전자의 형상을 변화시키는 일반화 계수를 찾고 이를 모델3에 적용시켜 확인하고자 한다.

1. 서 론

Spoke type의 영구자석 전동기는 영구자석을 회전자 내부에 설치하는 매입형 영구자석 전동기의 한 형태이다. Spoke type 모터는 영구자석의 자화방향이 대칭으로 설계되어 있어 양측 영구자석의 자속이 중첩되어 공극에 높은 자속밀도를 가지게 된다. 그리고 d축과 q축의 자기저항 차가 매우 크므로 릴럭턴스 토크가 더해짐으로써 높은 토크를 발생하게 된다.높은 자속밀도와 릴럭턴스 차이에 의해 코깅토크가 다른 형태의 모터에 비하여 상대적으로 매우 크게 발생하여 전동기의 운전특성에 리플로 작용하고 전동기의 진동과 소음의 원인이 되는 단점을 가진다.

토크리플을 저감하는 방법으로 공극의 자속밀도를 정현적으로 만드는 방법, 영구자석의 자화영역을 조절하여 자속분포를 비등방성으로 구성하거나 영구자석 형상, 배치를 변화시키고 고정자 치의 형상을 변화 시키는 방법들이 발표되어 왔다. 그러나 Spoke type 모터와 같이 회전자 내부에 위치하는 매입자석형 전동기에서는 적용하기에 매우 까다로운 방법들이다.

지금까지 회전형 모터에적용하도록 알려진 많은 방법들은 Spoke type 모터의 특성상 제약을 받게 됨으로 Spoke type 모터의 구조를 적절하게 이용할 수 있는 방법을 본논문에서 연구하였다.

따라서 본 논문에서는 Spoke type 모터에 발생되는 코깅토크를 저감시키기 위해 회전자 표면의 형상을 조절하는 Arc 설계 방법을 제안 하였다. 회전자 자극의 중심 일부분은 기존과 같이 공극이 동일하도록 하고 양측 가장자리의 공극 길이를 증가 시킴으로서 구형적인 공극 자속밀도에 정현적 자속분포를 첨가 함으로써 급격하게 변하는 자속밀도에 의한 에너지를 원만한 변화가 나타날 수 있게 변화 하였다. 회전자 뿐 아니라 고정자 측에 notch 설계를 통하여 Spoke type 모터에 적용이 용이한 설계법을 연구하였다.

논문에서 제안한 방법은 고정자에 노치를 설계하는 방법과 회전자에 Arc를 설계하는 방법이다. 고정자 슬롯에 의한 공극의 에너지 변화를 최소화하기 위하여 슬롯구조를 푸리에 급수로 전개하여 함수화 하였다.

회전자의 공극부가 철심으로 이루어진 구조를 가장 적절히 이용하는 Arc 설계는 이전부터 그 효과를 입증받으며 연구되어 왔지만 어느 Spoke type 모터에서나 적용할 수 있는 일반 설계 계수에 대한 연구는 미미하였다. 따라서 Arc 설계의 일반적으로 적용할 수 있는 계수를 연구하였다.

2. 본 론

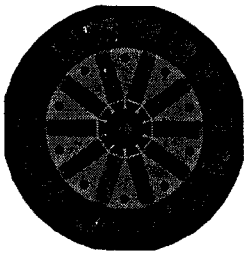
2.1 코깅토크 저감

Spoke type 모터는 회전자측 자속이 다른 타이브이 모터보다 철심 이용율이 높기 때문에 영구자석의 위쪽 상부 베리어의 폭과 높이, 그리고 아래쪽 샤프트와 인접한 부분의 폭에 의하여 특성이 크게 변화된다. 따라서 기본모델을 선정하는데도 상부 베리어 파라메터와 영구자석 하단의 샤프트로부터의 이격거리에 대한 특성을 해석하였다.

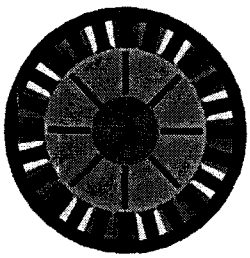
표1. 파라메터

	Model 1	Model 2	Model 3
Pole / slot	8/24	10/15	4/24
Air-gap[mm]	1	0.5	1
diameter of rotor (R)[mm]	106	100	70
자극 각(D)[]	45	36	90
height of upper barrier (H)[mm]	2	1.5	2
Height of PM / Width of PM(Hm /Wm)[mm]	28/4	27/9	24.5/ 10.5

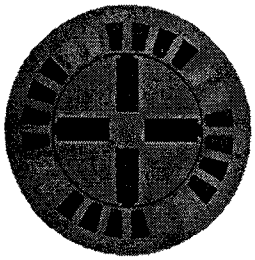
코깅토크를 저감하는 방법으로 가장 먼저 노치를 적용하였다. 고정자의 노치설계는 수식1과 같이 슬롯에 의한 에너지 함수와 노치에 대한 에너지 함수를 합하여 그 값이 0이 되는, 즉 노치에 의하여 슬롯 에너지 함수가 상쇄될 수 있도록 하는 함수에서 노치의 위치와 크기를 계산한 값임으로 정확한 파라메타가 되지만, 노치의 폭은 철심 재질에 따라서 크게 변화될 수 있기 때문에 이를 최적화 하기 위하여 철심의 포화현상을 고려할 수 있는 FEA를 시행하였다.



(a)Model 1



(b)Model 2



(c)Model 3

그림1. 적용모델

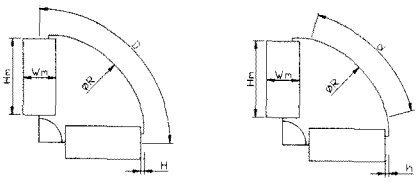
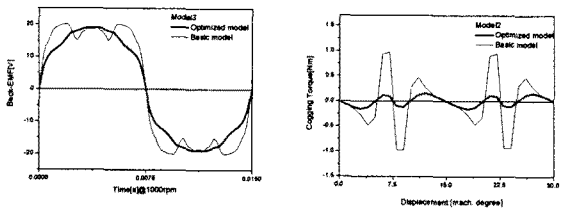
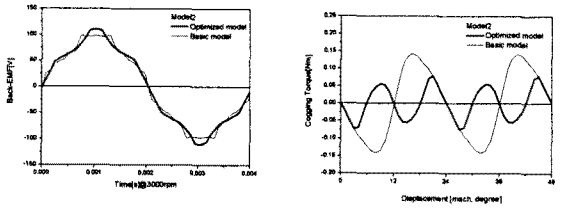


그림 2. Arc 설계 변수

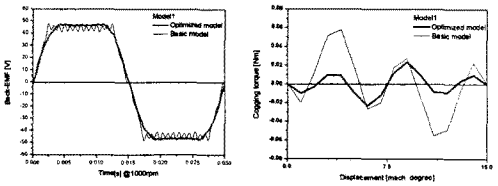
Arc 설계를 일반화 하는 방법으로 기본모델 2 가지 (Model 1, Model 2)를 선정하여 Arc 형상에 따른 코깅 토크 특성을 해석하였다. 그리고 역기전력에 따라서 모터의 출력이 좌우됨으로 코깅토크와 역기전력에 대한 최적화를 진행하였다. 그 파라메타를 일반화 하기 위하여 회전자에 고정되어 지는 각도와 상부베리어 높이를 비율화 하여 나머지 두 모터에 적용하였다.



(a)Model 1



(b)Model 2

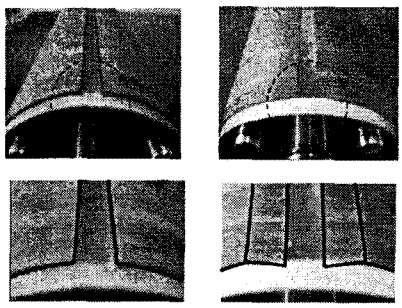


(c)Model 3

그림3. 본 연구에서 적용한 방법에 의한 코깅토크와 역기전력 비교

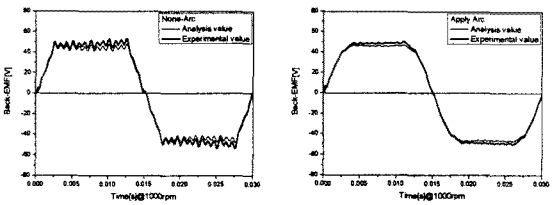
최적화 된 일반계수는 상부베리어 높이가 2/3, 회전자 표면 고정각도가 5/9, 6/9 으로 나타났다. 이를 모델 3에 적용하여 일반화 된 계수를 증명토록 하였다.

해석 결과에서 일반계수가 Spoke type 모터에 아주 적절한 설계법으로 입증되었다. 해석결과 코깅 토크는 크게 감소하고 역기전력이 유지되면서 고조파 성분이 크게 저감되었다.

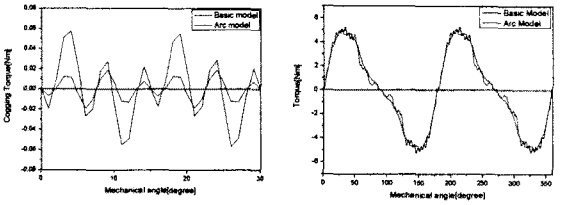


basic model　　Optimal model

(a) Prototype Machine



(b) basic model　　(c) Optimal model



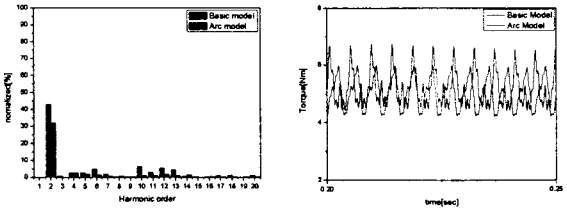


그림 3. 역기전력 및 특성 비교

3. 결 론

Spoke type 모터의 유용성을 높이기위하여 가장 큰 단점으로 지적되어온 코깅토크를 저감하였다. 회전자에 arc 설계를 적용하여 코깅토크를 감소하고 역기전력의 고조파를 크게 감소시켰다. 그리고 arc 설계의 일반화를 이끌어 매입형 영구자석 전동기에 적용할 수 없는 skew와 같은 효과를 얻음으로써 어떠한 Spoke type의 모터에서도 적용가능한 arc 설계 파라메터를 완성하였다. 이러한 연구결과는 Spoke type의 자속집중으로 인해 얻어지는 큰 코깅 토크를 저감함으로써 고출력 고효율의 Spoke type 모터에 대한 연구 진척을 한걸음 높이는 결과가 된다.

[참 고 문 헌]

[1] Kyu-Yun Hwang, "Rotor Pole Design in Spoke-Type Brushless DC Motor by Response Surface Method" IEEE Tans. on Magnetics, vol. 43, on. 4, pp. 1833~1836, 2007

[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 Finiti Element Analysis", IEEE Trans. on Magnetics, vol. 36, no. 4, pp. 1867 ~ 1870, 2000.