

저속영역에서 최대 토크 발생이 가능한 대용량 BLDC 모터의 설계

조승현, 김철우, 빈재구*, 조수억**, 최 철**
부산대학교, 국방과학연구소*, OTIS-LG**

The design of high-capacity BLDC motor with maximum torque in low speed

S.H. Cho, C.U. Kim, J.G. Bin*, S.E. Cho**, and C. Choi**
Pusan National University, *ADD, **OTIS-LG

ABSTRACT

Recently, Development of Rare Earth Permanent magnet with the high remanence, high coercivity allow the design of brushless motors with very high efficiency over a wide speed range. Cogging torque is produced in a permanent magnet by magnetic attraction between the rotor mounted permanent magnet and the stator teeth. It is an undesired effect that contributes to the machines output ripple, vibration, and noise. This cogging torque can be reduced by variation of magnet arc length, airgap length, magnet thickness, shifting the magnetic pole and varying the radial shoe depth and etc.

In this paper, Some airgap length and magnet arc that reduce cogging torque are found by FEM(Finite element method). The SPM type of high-capacity BLDC motor is optimized as a sample model.

1. 서 론

근래에 들어 고성능 영구자석 재료의 개발로 넓은 속도 영역에서 높은 효율을 가지는 회토티 영구자석 전동기가 산업현장에 널리 보급되고 있으며, 이는 정기적인 보수, 점검이 필요 없고 높은 효율과 출력 밀도를 가진다는 장점을 가진다. 선박 추진 장치 분야에서는 수십년동안 사용되어 오던 기계적인 추진 장치 분야에서 전기적 추진 장치 분야로 변화되고 있는데 전기적 추진 장치분야에서 기존의 직류기 및 유도 전동기를 대신하여 저속에서 큰 토크를 발생할 수 있고 유지 보수가 필요 없는 영구 자석 동기 전동기로의 대체 연구가 활발하다.^{[1],[3]} 일반적으로, 영구 자석 동기전동기는 기동

시 사다리꼴 형태 기동으로 인해 토크 리플이 발생하게 되는데 이는 소음 및 진동이 발생하게 되는 원인이 된다. 저속영역에서의 코깅 토크는 큰 영향을 미치게 된다.^[6]

본 논문에서는 선박 추진 장치용 영구 자석 동기 전동기의 기동시와 마그네트와 슬롯의 자기저항의 관계에 의하여 발생하는 맥동 토크 및 소음, 진동 저감을 위해, 이를 고려한 선박 추진용 대용량 동기 전동기의 형상을 최적 설계 하고, 전자계 해석을 통해 이를 검증해 보려고 한다.

2. 본 론

2.1 설계모델의 극수와 슬롯수 결정

Cogging torque는 영구자석 PM (Permanent Magnet)과 슬롯(Slotted iron) 구조사이의 상호 작용에서 발생하며 공극이 일정하지 않은 거의 모든 영구자석 모터들에서 명백히 발생함을 알 수 있다. 저속에서의 코깅 토크는 소음 및 진동으로 심각한 영향을 초래 할 수 있으므로 초기 설계모델의 선정

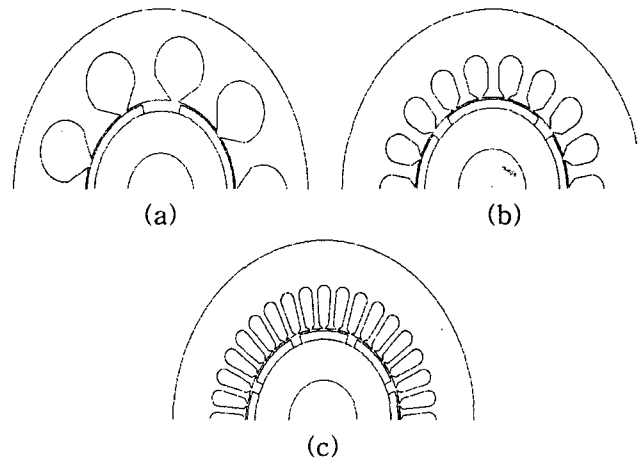


그림1. 해석 모델

시부터 이를 고려한 설계 모델을 선정한다. 일반적으로 코깅 토크의 주파수는 전동기의 고정자 슬롯수와 회전자 극수의 최소공배수에 의해 영향을 받는다. 주파수가 높으면 상대적으로 진폭은 줄어들어 코깅 토크의 영향은 줄어들게 된다. 초기 모델 선정시 극당 4.5슬롯수를 가지는 극수와 슬롯수를 변화시킨 해석 모델의 코깅 토크 해석 모델의 코깅 토크 주파수를 보면 표1과 같다.

표1. 모델의 코깅토크 주파수

해석 모델	2극9슬롯	4극18슬롯	8극36슬롯
코깅토크 주파수	18	36	72

표 1.에서 슬롯수와 극수와의 최소공배수를 가지는 모델들을 살펴본 결과 극당 슬롯수가 같을 때 8극 36슬롯을 가지는 모델의 경우에 최대공약수가 72로서 주파수가 높은 것을 알 수 있다. 주파수가 높음에 따라 진폭이 줄어들어 코깅 토크의 영향은 줄어들게 되므로 따라서, 회전자 8극 고정자 36슬롯을 가지는 전동기를 초기 모델로 선정하였다.^[2]

2.3 회전자 형태 결정

회전자의 형태로는 내부 로터형과 외부 로터형이 있는데 여기서는 내부 로터형을 취하고 SPM (Surface Permanent Magnet) type일 때와 Inset type일 때의 토크를 비교 한다. 이를 분석하여 최고 토크를 내기 위한 회전자 형태를 결정 한다. 비교 시 각각 총 슬롯수와 회전자 극수를 같게 놓고 회전자와 슬롯의 길이를 같게 놓고, 자석의 착상 상태를 바꾸어 각 type일 때의 토크를 비교한다.

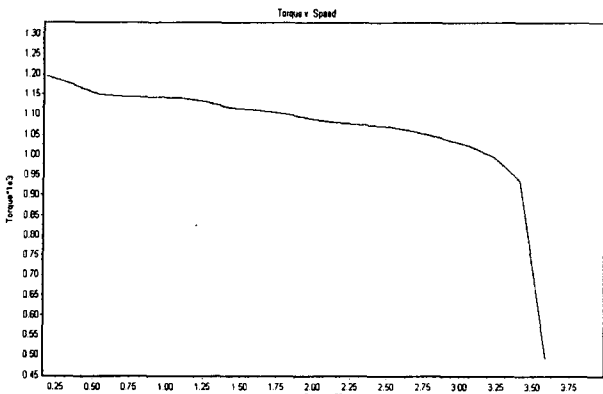


그림2. SPM type일때 토크곡선

그림 2와 그림 3에서 각각의 토크는 SPM type 일때 1140[Nm] Inset type 일때 1082 [Nm] 임을 알 수 있다. 각 그림들에서 보면 SPM 일때 토크가 큰 것을 알 수가 있다. 정격속도 300[rpm]일때 SPM type 일때 1000[Nm]를 넘음을 알 수 있다. 따라서, 회전자 형태는 SPM 형태로 초기 모델 설계를 시작을 하였다.

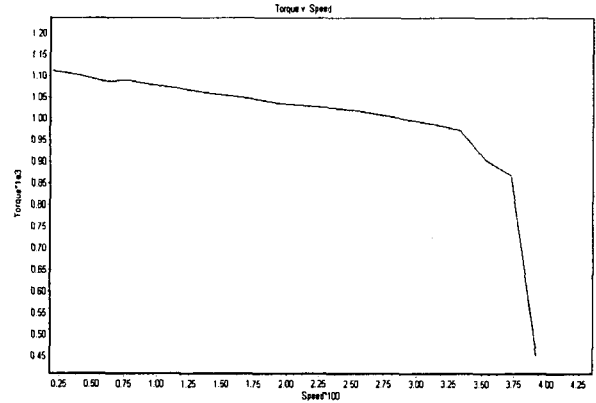


그림3. inset type일때의 토크파형

2.4 회전자 형상변화에 따른 코깅 토크 저감

표2. 초기설계모델의 제원

Rated output	300 [kW]
Rated speed	300 [rpm]
Terminal voltage	1000 [V]
Number of phases	3
Number of poles	8
Number of stator slots	36
Turn/ph	60
Magnet thickness	21[mm]
remanence	1.14 [T]

표 2에서와 같이 36slots 8 pole SPM type의 초기모델을 이용하여 FEM(Finite-Element Method) 해석을 통해 고정자의 슬롯과 회전자의 극에 따른 삼각요소 분할도와 등 자속선 분포를 그림4와 그림 5에 각각 나타내었다.

위의 제원과 같이 정해진 36slots 8pole SPM type의 초기모델을 이용하여 코깅 토크 저감을 위한 자극각과 공극 길이 두 가지의 설계변수를 취하고,

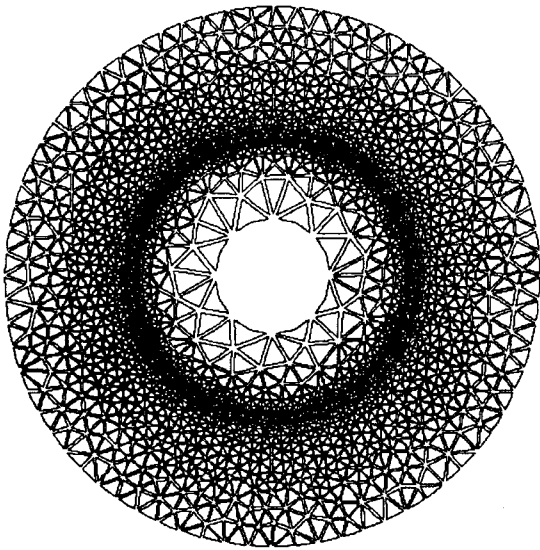


그림4. 해석모델의 삼각요소 분할도

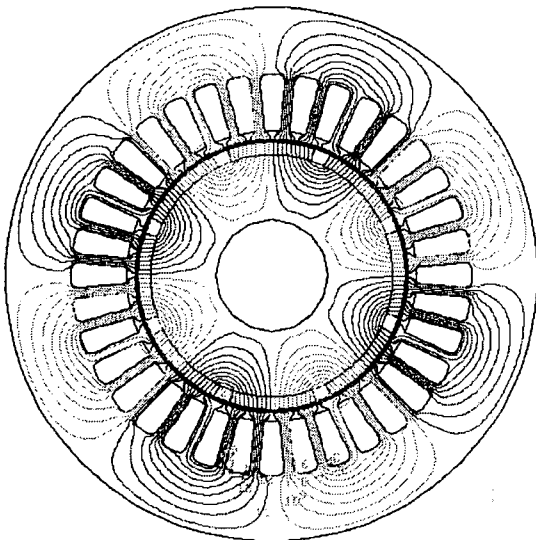


그림5. FEM에 의한 등자속곡선

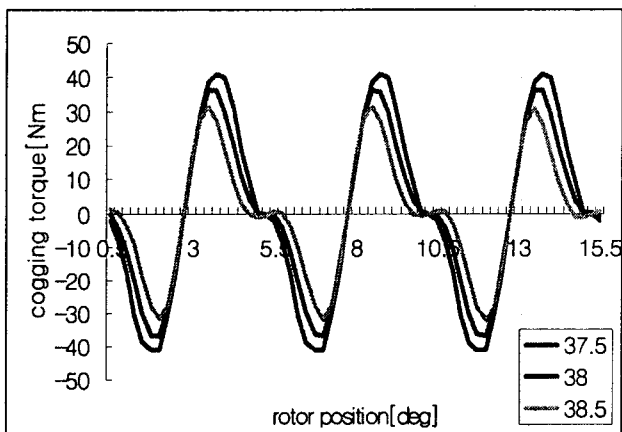


그림6. 자극각 변경에 따른 코깅 토크

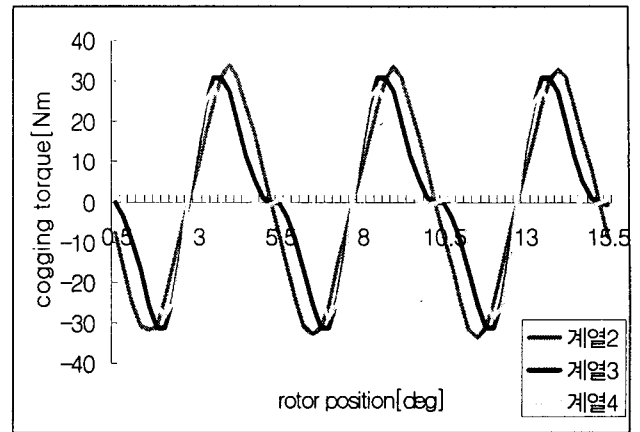


그림7. 공극 변경에 따른 코깅 토크

이를 변화 시켜가면서 나타나는 코깅 토크를 살펴 보았다. 회전자의 자석의 자극 각을 37.5° 에서 0.5° 씩 증가 하여 38.5° 까지 증가하였을 때 얻은 코깅 토크결과를 그림 6에 나타내었다.

코깅 토크는 계자 자석과 전기자 슬롯구조사이의 상호 작용으로 인하여 공극에 쌓인 자기 에너지가 회전자의 이동과 함께 생기는 것이므로, 공극이 증가하면 자기저항의 크기가 증가하여 유효 자속량이 적어진다. 코깅 토크는 자속량의 감소만큼 줄어들게 된다. 자극 각 38.5° 일 때 공극의 길이를 조정하여 코깅 토크 저감에 대하여 살펴보았다. 공극 $5[\text{mm}]$ 에서 $0.5[\text{mm}]$ 씩 증가시켜서 $6[\text{mm}]$ 까지 증가하여 나타난 코깅 토크 파형을 그림 7에 도시 하였다.^[5]

3. 결 론

본 논문에서는 초기모델 선정을 위해 slots/pole 비 등을 고려 초기모델을 선정 하고, 코깅 토크의 영향으로 인하여 발생하는 진동 및 소음의 영향을 줄이고자 설계변수 2가지를 선택, 이의 적절한 변화에 의해 최저의 코깅 토크를 발생하는 회전자의 형상을 설계하여, 최저 코깅 토크를 가지며 저속영역에서 고효율을 가지는 BLDCM을 설계 하고 전자장 해석으로 이를 해석 검증하였다. 향후 코깅 토크 저감을 위하여 더 많은 설계변수를 취하여 코깅 토크의 저감을 위한 전자장 해석을 통해 최적의 설계 모델을 얻어 이를 통한 prototype을 제작하여 실험을 통해 이를 검증 할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Parker, D.S "The electric warship [electric propulsion]," Electrical Machines and Drives, 1997

International Conference on. Conf. Publ. No. 444,
pp. 319-325, 1997

- [2] H.S. Cho "Effect of pole to slot number ratio on back-EMF constant of BLDC motor with nonoverlapping stator winding," International Conference IEMD '99 , May 1999 pp. 54 -56, 1999.
- [3] Jacek F.Gieras Mitchell Wing "Permanent Magnet Motor Technology design and applications", Marcel Dekker, 1997.
- [4] J. R. Hendershot Jr. & T. J. E Miller "Design of Brushless Permanent-Magnet Motor", MagnaPhysics& Oxford, 1994.
- [5] Benarous, M. "The effect of the distribution of the magnetisation in brushless DC machines on cogging torques," Electrical Machines and Drives, 1999. International Conference on. Conf. Publ. No. 468 pp. 151-153, 1999.
- [6] S.M.. Hwang "Various design techniques to reduce cogging torque by controlling energy variation in permanent magnet motors," IEEE Trans. Magn., vol. 37, no. 4, pp. 2806-2809, Jul 2001.