

C type 영구자석을 갖는 BLDC 모터의 특성 해석

류세현*, 임태빈*, 정중기*, 하근수*, 이성호*, 이병호**
 *전자부품연구원, **창원기화기공업(주)

Characteristics Analysis of BLDC Motor with C type Permanent Magnet

S.H. Rhyu*, T.B. Im*, J.K. Chung*, K.S. Ha*, S.H. Lee*, B.H. Lee**
 *KETI, **Changwon Carburetor Industrial Co.,Ltd

Abstract - The BLDC(Brushless DC) motor with the permanent magnet has many merits such as high efficiency and efficiency. These characteristics of the BLDC motor makes them one of the most popular motors in the world today. The C type ferrite magnet is many used in BLDC motor for high performance, especially low price. Many papers have been written on the analysis of the BLDC motor with C type ferrite magnet. But, most of these target models are contained symmetric distribution of permanent magnet. In this paper, investigations are made on different distribution of permanent magnets for a understanding of the effects of unequal permanent magnet location on the unbalanced cogging torque. Motor torque and cogging torque are obtained by using the 2 dimensional finite element method

1. 서 론

최근에 고성능 영구자석의 개발에 힘입어 정보·통신기기를 비롯한 가전기기, 산업용기기 및 자동차전장용 등에 BLDC 모터의 수요가 급증하고 있다. 이에따라 영구자석을 갖는 BLDC 모터에 대한 연구도 많은 부분에서 진행이 되어지고 있다.[1][2] 실제로 BLDC 모터는 고 에너지적용을 갖는 영구자석을 사용함으로써 효율이 높고 기존에 브러시를 갖는 DC 모터와 달리 반도체 소자를 이용한 스위칭을 하기 때문에 전기적 노이즈가 적고 장수명의 특징이 있어 많은 응용기기에 사용이 확대되고 있다. 특히, 페라이트 영구자석은 가격적으로 저렴하고 특성이 우수하기 때문에 많은 종류의 BLDC 모터에 폭 넓게 이용되고 있다.

본 논문에서는 자동차 분야에 사용되어지고 있는 C형 페라이트 영구자석을 갖는 외전형 BLDC 모터 성능향상에 관한 연구의 일환으로써 2차원 유한요소 해석용 소프트웨어(FLUX2D)를 이용하여 영구자석의 배열에 따른 모터의 전반적인 특성해석을 행하였다. 이로부터 소음 및 진동의 원인이 되는 코깅 토크 저감책을 고려해 볼 수 있었다.

2. C형 영구자석을 갖는 3상 BLDC 모터

2.1 구조 및 제원

그림 1은 본 논문의 연구대상 모델인 3상 BLDC 모터의 구조도를 보인다. 그림을 보아 알 수 있듯이 해석대상 모델은 회전자가 외부에서 회전하는 외전형 BLDC 모터로써 회전자는 4부분의 페라이트 영구자석로 구성된다. 극수는 12극으로써 영구자석 편당 3극의 pole을 이루고 있다. 제조상의 편의를 위하여 영구자석 편과 편사이

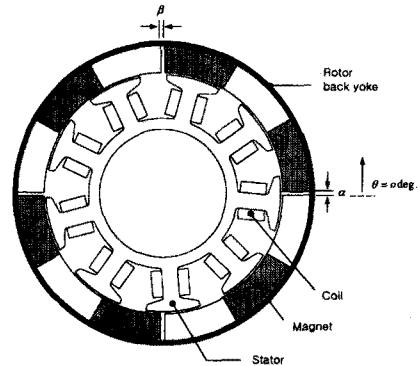


그림 1. 해석모델 구조도
 Fig. 1 Configuration of analysis model

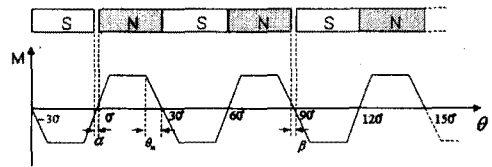


그림 2. 자화분포-각도 분포도
 Fig. 2 Distribution of magnetization vs. angle

그림 2는 회전자 영구자석의 배열에 따른 각도별 자화분포도를 나타낸다. 여기서는, 착자요크의 균일한 형상을 가정하여 영구자석의 각도에 따른 배열에 관계없이 자화분포는 일정한 크기와 분포를 주었다. 본 연구대상 모델의 영구자석이 균일한 간격을 가지고 배열할 경우 각각의 영구자석 편사이의 거리는 1[mm]이다. 또한, 자화분포도에서 θ_m 은 약 3[deg.]이다.

본 논문에서는 영구자석의 배열에 따른 해석대상 모델의 특성을 고찰하고자 동일한 체적을 갖는 4편의 C형 영구자석을 다음과 같은 간격으로 배열을 하여 모델을 구분하고 각각의 특성을 고찰하였다.

표 1. 해석모델 분류
 Table 1 Classification of analysis model

모델명	구분	α [mm]	β [mm]
Model I		1	1
Model II		0.5	1.5
Model III		0	2

표 1. 해석모델 사양

Table 1 Specification of the motor

구분	사양	단위
구동전압	12	V
정격속도	2000	rpm
고정자 외경	44.2	mm
고정자 적층폭	28	mm
권선수/상	36	turns/phase
코일 경	0.85	mm
영구자석 두께	5.1	mm
영구자석 Br	0.38	T
회전자 외경	56.8	mm
회전자요크 두께	0.8	mm

3. 특성해석

3.1 코깅 토크(cogging torque) 특성

다음의 그림 3은 회전자도에 따른 코깅 토크(cogging torque) 특성을 나타낸다. 그림을 보아 알 수 있듯이 균일한 영구자석의 배열을 갖는 모델 1에 비하여 비대칭의 배열을 갖는 모델 2와 3의 주기가 바뀌게 됨을 알 수 있다. 모델 1은 매 주기가마다 크기가 일정한 양상을 보이지만, 비대칭 배열을 갖는 모델 2는 11[%], 모델 3은 25[%]의 크기 감소율을 가지며 크기 감소의 양상을 보임을 알 수 있다.

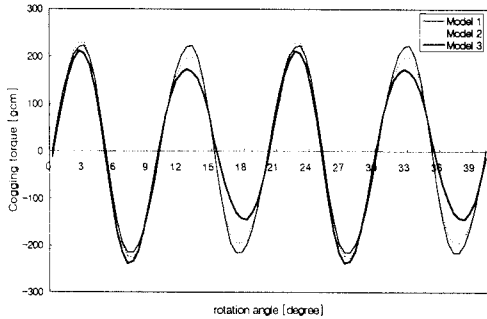


그림 3. 코깅 토크 특성

Fig. 3 Characteristics of cogging torque

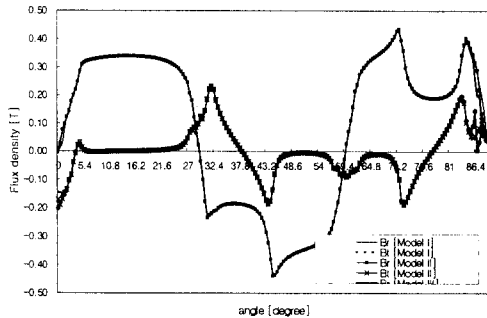


그림 4. 공극자속밀도 분포도

Fig. 4 Distribution of flux density in air-gap

그림 4는 코깅 토크의 회전자가 기준 위치로부터 13° 회전하였을 경우의 공극 자속밀도 분포특성을 나타낸다. 또한, 그림 5는 그림 4의 수직성분에 대한 주파수분석

특성을 보인다. 영구자석이 균일한 배열을 갖을 경우에 비하여 비대칭의 배열을 갖는 모델이 영구자석 접합부에서 다소 다른 특성의 분포도를 보이고 있다.

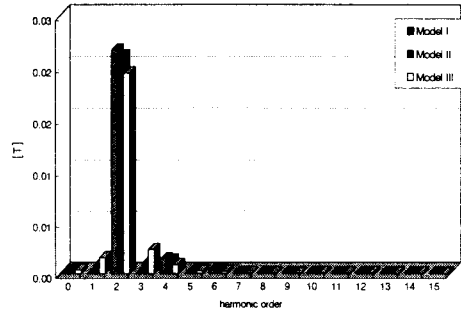


그림 5. 공극 자속밀도 Normal 성분의 주파수 특성

Fig. 5 Spectra of normal component of air-gap flux density

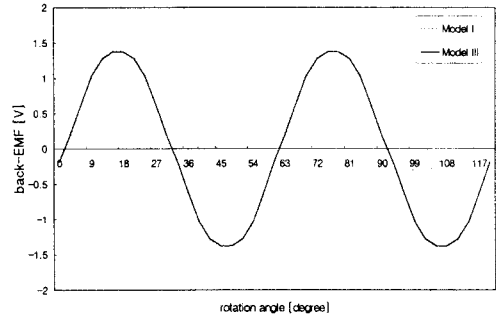


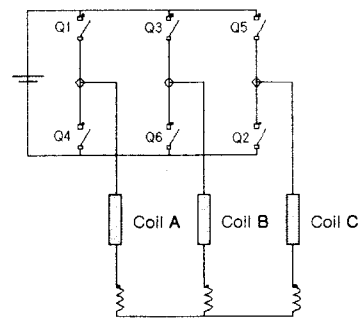
그림 6. 역기전력 파형

Fig. 6 back-EMF waveform

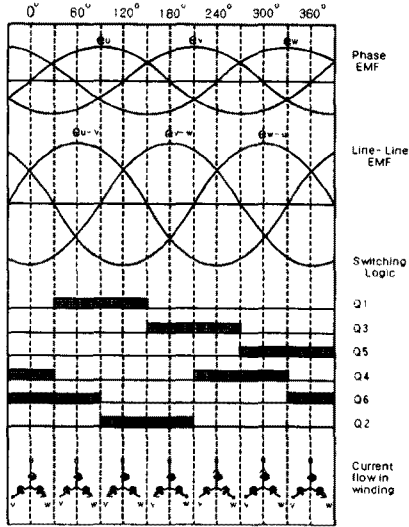
그림 6은 코깅 토크 파형의 양상에서 많은 차이를 보인 모델 1과 3에 대한 속도 500rpm 에서의 순간 역기전력 특성을 보이고 있다. 두 모델 모두 최고치 약 1.5[V]의 크기를 가짐을 알 수 있고 양상 또한 거의 일치함을 알 수 있다. 이로부터, 해석대상 모델은 영구자석이 비대칭 배열을 가져도 영구자석로부터 발생하는 자속량은 거의 동일함을 알 수 있다.

3.2 동특성 분석

다음의 그림 7은 동특성 해석을 위한 외전형 3상 BLDC 모터의 구동회로도 및 스위칭에 따른 각상 코일에 대한 여자 순서도를 나타낸다.[3]



(a) 구동회로도



(b) 여자 순서도

그림 7. 구동 회로도 및 여자 순서도
Fig. 7 Sequence of excitation and operating circuit

연구모델인 3상 외전형 BLDC 모터는 구형과 전압을 구동원으로 한다. 구동시 항상 2상이 여자가 됨을 알 수 있다. 또한, 상간 120°의 위상차를 가짐을 보여주고 있다. 전기자의 전기각 180°에 대하여 발생 토크가 큰 중앙부 120°의 구간만을 골라 각 상을 스위칭하는 방법으로 실제로 연구모델의 동특성 해석시 그림 7의 여자순서도에 따라 각상에 전압을 인가하였다.

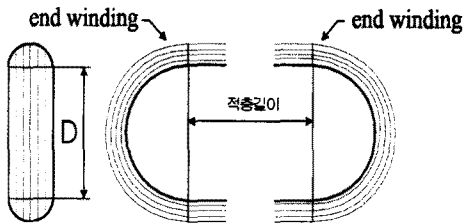


그림 8 코일단부의 권선도
Fig. 8 Configuration of end-winding

그림 8은 코일 단부의 누설리액턴스를 구하기 위한 코일 단부의 권선도를 나타낸다. 이로부터, 다음의 식(1)와 같이 코일단부의 인덕턴스를 구할 수 있다.

$$L_o = \frac{\mu_o N_c^2 D}{2} \ln\left(\frac{4D}{GMD} - 2\right) \quad (1)$$

여기서, D : end-winding의 직경
 N_c : 상당 권선수
 $GMD = 0.447\sqrt{\text{코일단면적}}$
 를 나타낸다.

다음의 그림 9와 10은 실제 스위칭 순서를 고려하여 전압원 해석을 시행한 속도 2000[rpm]에서의 토크 리플 특성과 상전류 특성을 나타낸다.

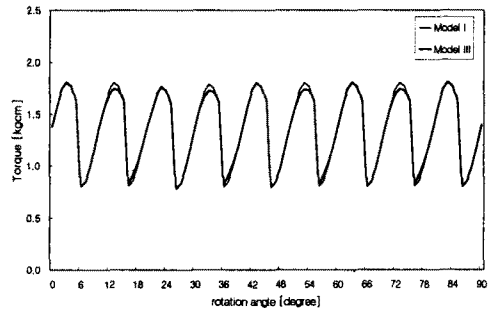


그림 9. 토크 리플 특성(2000rpm)
Fig. 9 Characteristics of torque ripples

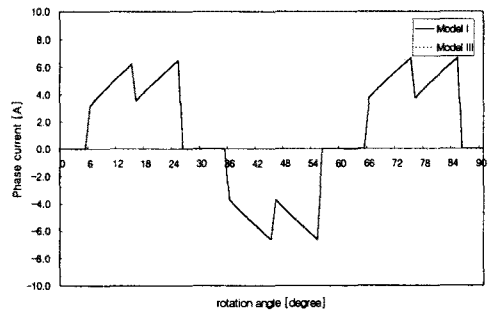


그림 10. 상전류 특성(2000rpm)
Fig. 10 Characteristics of phase current

그림 9에서 보여주듯이 속도 2000rpm에서 균일한 영구자석 배열을 갖는 모델 1과 비대칭 배열을 갖는 모델 3은 비슷한 크기의 평균치 토크 1.4[kgcm]과 약 1[kgcm]의 토크 리플을 가짐을 알 수 있다. 또한, 그림 10의 회전각도에 따른 상전류 특성은 크기 및 양상이 거의 일치함을 보이고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 제조상의 편의를 위하여 일정한 간격을 갖는 4편의 C형 페라이트 영구자석을 회전자로 하는 외전형 3상 BLDC 모터의 영구자석 배열에 따른 특성해석을 행하였다. 영구자석의 균일한 배열에 비하여 비대칭성의 조합을 이용할 경우 코깁 토크의 저감을 이룰 수 있었으며, 또한 동특성 해석결과 토크 및 상전류 특성이 균일한 배열을 갖는 모델의 특성에 준하는 성능을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.C.Park, T.H.Yoon, B.I.Kwon, Y.S.Jin, "Finite Element Analysis of a Two-Phase Brushless DC Motor", SMIC'99, 1999
- [2] 정인성 외, "영구자석의 자화분포를 고려한 내전형 BLDC 모터의 유한요소 해석", 2000년도 전기기기연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 208-211
- [3] TJE Miller, Design of Brushless Permanent Magnet Motors, OXFORD, 1994
- [4] 임달호, 전기계의 유한요소법, 동명사, 1992