

소형모터 설계를 위한 극이방 페라이트 사출자석의 특성 고찰

정인성, 성하경, 백수현*

전자부품연구원 정밀기기연구센터, *동국대학교 전기공학과

Characteristic Analysis of Polar Anisotropic Ferrite-Bonded Magnet for Design of Small Motors

In-Soung Jung, Ha-Gyeong Sung, and Soo-Hyun Baek*
Korea Electronics Technology Institute, Dongguk University

Abstract - The magnetization directions of a polar anisotropic ferrite-bonded magnet are analyzed by finite element method (FEM). The influence of the width of Sm-Co magnets for magnetic field generation is investigated. The surface flux densities of the polar anisotropic magnets are analyzed and compared according to the pole number and thickness of the magnets. And the electromotive force (EMF) values of brushless DC motors with the magnets are investigated.

1. 서 론

저토크 특성을 가지는 소형 BLDC 모터 등에는 저가 격화를 위하여 페라이트 자석 등의 저특성 영구자석이 주로 사용되고 있다. 페라이트 소결 영구자석은 바륨(Ba)을 첨가한 등방성 재료와 스트론튬(Sr)을 첨가한 이방성 재료로 세분되는데, 이방성 페라이트의 경우에는 저가격이면서도 특성이 무난하여 많은 소형 영구자석모터에 많이 채용되고 있다. 그러나, 극수가 많은 경우에는 다극을 일체형으로 제작하기가 어려워 세그먼트(segment)형으로 제작하여 조립하고 있다. 이 과정에서 불량요인 및 많은 공정이 소요되기 때문에 최근에는 많은 경우에 이방성 페라이트 자석 분말을 수지에 혼합하여 사출하는 자석(일명 플라스틱 자석)을 많이 사용하는 추세에 있다 [1],[2]. 이 자석은 수지를 혼합함에 따라 기본적인 잔류자속밀도는 낮아지게 되나 자석의 자화분포를 아크형으로 형성시키는 극이방(polar anisotropy) 방식으로 이방화/자화시킴으로서 그 특성을 높여 사용할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 극이방 페라이트 사출자석의 특성을 수치해석법을 이용하여 고찰하고자 한다. 자석 내부의 자화분포가 통상 해석상에서 고려하는 평행방향 또는 방사방향에 아니기 때문에 이를 고려하기 위하여 초기 자석의 사출 공정상에서의 이방화 과정을 고려하여 영구자석의 자화분포를 결정하는 과정을 거치며, 이를 이용하여 2차원 유한요소법을 이용하여 자석의 극수, 자극폭, 두께 등의 주요변수 변화에 따른 표면자속밀도, 역기전력 특성의 변화를 고찰하고자 한다. 이를 통하여 본 이방성 영구자석을 채용한 소형 영구자석형 모터의 설계시 고려할 수 있는 참고자료를 확보하고자 한다.

2. 본 론

2.1 특성 고찰을 위한 해석모델

극이방 페라이트 사출자석을 이용하여 모터를 설계하는 경우에 모터의 극수에 따라 적절한 설계인자의 변화가 있을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 사항을 고려하기 위하여 그림 1과 같이 영구자석의 극수가 다른 5가지 해석모델을 정하였다.

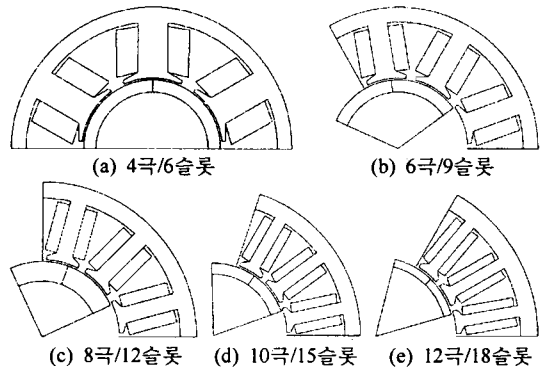


그림 1. 영구자석의 극수 및 두께에 따른 해석모델

해석모델은 내전형 BLDC 모터로 하였으며, 극수/슬롯수의 비를 일정하게 하였다. 고정자 철심의 치폭, 슬롯개구폭들은 슬롯수에 비례하여 변경하였으며, 역기전력 특성의 비교검토를 위하여 각 모델의 총 권선수를 동일하게 해석하였다. 영구자석의 두께에 따른 특성은 다른 치수들은 유지시키면서 영구자석의 내경을 변화시킴으로써 고찰하였다.

표 1. 해석모델의 상세 제원

| 구분 | 항목 | 값 | 구분 | 항목 | 값 |
|-----|-----|--------|-----|--------|--------|
| 고정자 | 외경 | 76mm | 회전자 | 외경 | 37mm |
| | 내경 | 38mm | | 축방향길이 | 6mm |
| | 적층폭 | 6mm | | 잔류자속밀도 | 0.298T |
| | 슬롯수 | 가변 | | 두께 | 가변 |
| 공극 | | 0.5 mm | 극수 | 가변 | |

2.2 극이방 페라이트 사출자석의 제조공정

등방성 자석의 경우에는 자성분말을 원하는 형상으로 프레스 금형으로 성형하는 공정으로 제조된다. 그러나 이방성 자석의 제조에 있어서는, 분말의 성형시에 원하는 이방화 방향으로 자장을 인가하여 주어야 한다. 따라서 원하는 자장의 방향에 따라 금형의 구조가 달라지게 되며, 링형 자석의 제조에 있어서는 이방화에 필요한 자장을 확보할 수 있는 크기의 한계에 의하여 작은 크기일수록 제조가 어려워지게 된다.

그림 2는 Radial 및 Polar 방향으로 이방화를 시키는 구조의 사출금형의 개략적인 구조를 나타내고 있다. 자장의 발생은 그림 2(a)와 같이 전자석으로 구현할 수도 있으며, 플라스틱 자석과 같이 저특성의 경우에는 그림 2(b)와 같이 강력한 영구자석으로 자장을 발생시킬 수 있다. 현재 링형의 소형 플라스틱 자석의 경우에는 실용적으로 대부분 영구자석(Sm-Co 자석)을 사용하고 있다.

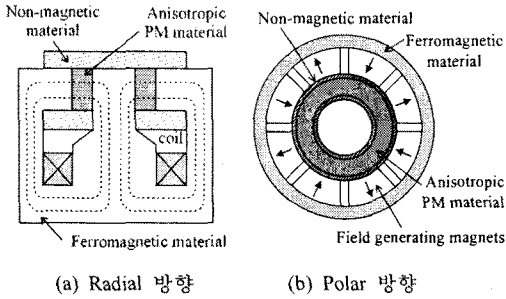


그림 2. 사출자석의 이방화 종류에 따른 금형의 구조

이러한 금형에 의해 자석의 형상이 완성이 되면 이방화에 의해 자화가 된 상태가 된다. 이후 그림 3과 같이 필요한 자화 분포를 얻기 위하여 탈자후 재착자의 과정을 거치게 된다. 극이방 사출자석의 경우에는 그대로 사용하는 것도 가능하나 특성의 안정화 및 운송상의 이물질의 부착 방지를 위하여 실용적으로 탈자후 재착자의 과정을 거치게 된다.

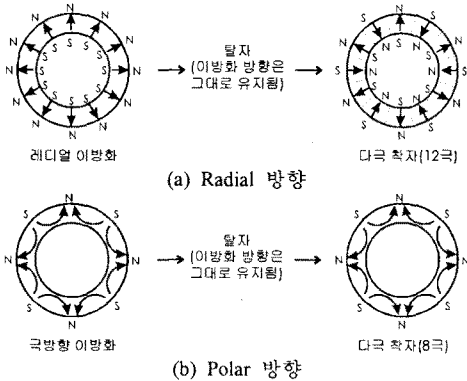


그림 3. 이방화 방향에 따른 이후의 다극 착자과정

2.3 영구자석의 극이방성을 고려한 유한요소해석

영구자석의 자화분포는 영구자석의 이방화 사출시에 결정되어진다. 따라서 이를 고려하기 위하여 모터의 특성해석 이전에 영구자석의 이방화 금형에 대한 자계 해석을 수행하여 자화분포를 결정하고, 얻어진 자화분포를 가지고 이후 BLDC 모터의 특성해석을 수행하였다.[3] 이방화 금형에 대한 자계해석을 위한 2차원 지배방정식은 식(1)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) = -J_0 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial M_y}{\partial x} - \frac{\partial M_x}{\partial y} \right) \quad (1)$$

그림 4(a)와 같이 극이방 금형에 대한 정자계 해석을 행한 후에는 플라스틱 자석 영역의 각 요소에 대하여 자속밀도의 각도를 식(2)와 같이 계산한다.

$$\theta^{(e)} = \tan^{-1} \frac{B_y^{(e)}}{B_x^{(e)}} \quad (2)$$

이후 본 자석을 채용한 BLDC 모터의 특성해석시에는 각 요소에서 식(2)에 의해 결정된 각도로 자화방향을 가지며, 자화의 크기는 식(3), (4)와 같이 결정되는 것으로 하여 해석을 하였다.

$$M_{pm}^{(e)} = B_r \quad \text{in case of } |B^{(e)}| \geq B_r \quad (3)$$

$$M_{pm}^{(e)} = |B^{(e)}| \quad \text{in case of } |B^{(e)}| < B_r \quad (4)$$

2.4 특성해석 결과의 고찰

그림 4는 극이방 사출금형을 해석모델로 하여 플라스틱 자석의 자화(이방화) 방향을 결정된 상태를 나타내고 있다. 그림 5는 자화방향을 단순히 Radial 방향으로 가정한 경우와 전술한 바와 같이 Polar 방향으로 고려한 경우에 대하여 영구자석 단면에 대한 자속분포를 나타내고 있다. 자속의 분포 및 양이 서로 다를 수 있음을 확인할 수 있다.

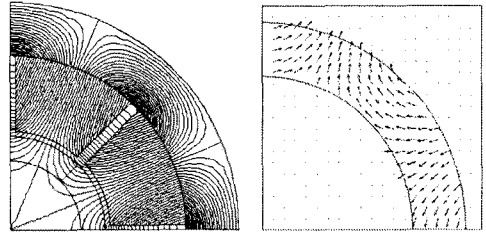


그림 4. 영구자석의 극이방 사출과정 및 사출후의 자계분포 해석결과 (8극의 경우)

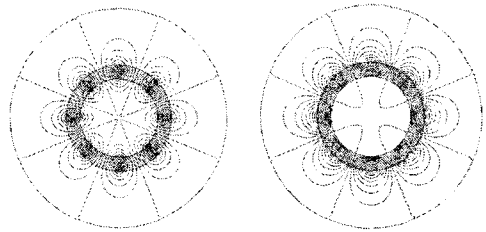


그림 5. 자화방향에 따른 공기중에서의 자속분포

그림 6은 극이방 금형 내에서 자장을 형성시키기 위한 Sm-Co 영구자석의 치수 변화에 따른 모터의 특성변화를 예측한 그림이다. 자극 피치에 대한 Sm-Co 영구자석의 자극폭의 비는 약 0.8~0.9 정도가 가장 좋은 결과를 보여준다.

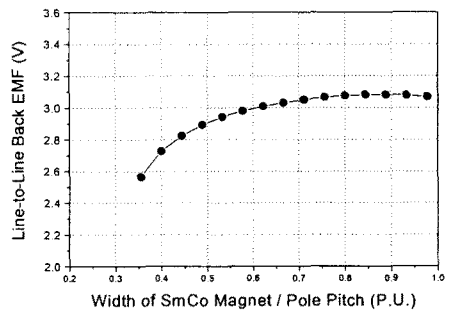
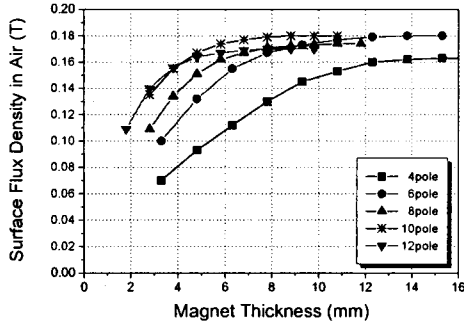
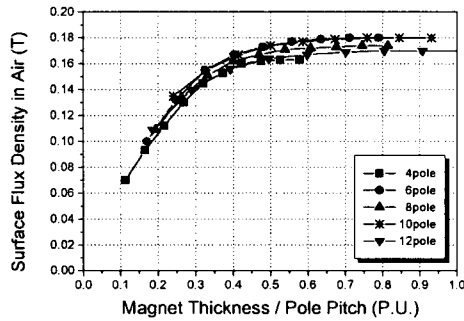


그림 6. 금형상의 Sm-Co 영구자석의 자극폭 변화에 따른 모터의 역기전력 특성

그림 7은 극이방 영구자석의 극수 및 두께 변화에 따른 공기중에서의 표면자속밀도값을 나타내고 있다. 자석의 두께 증가에 따라 표면자속밀도가 증가하다가 일정 두께 이상에서는 증가가 둔화됨을 알 수 있으며, 자극수가 증가함에 따라 값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 이를 두께/자극폭의 비율에 대하여 다시 그려보면 그림 7(b)와 같이 극수에 관계없이 거의 일정한 결과를 나타내었으며, 두께/자극폭의 비율이 약 0.5 근방에서 두께 증가에 따른 자속밀도의 증가가 급격히 둔화되었다.



(a) 영구자석의 두께에 따른 결과



(b) 두께/자극폭의 비율로 환산한 결과

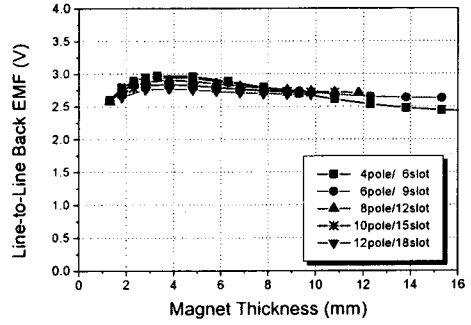
그림 7. 극이방 영구자석의 극수와 두께에 따른 공기중에서의 표면자속밀도

그림 8은 그림 1에 도시한 BLDC 모터에 대하여 역기전력 특성을 해석한 결과를 나타내고 있다. 영구자석의 자화방향을 radial로 가정한 경우에는 자극/슬롯수에 관계없이 거의 일정한 결과를 나타내었으며, 영구자석의 두께가 증가하여도 역기전력이 증가하지 않았다. 반면 극이방의 경우에는 영구자석 단체의 표면자속밀도 그래프(그림 7(a))와 유사한 양상을 나타내었다. 본 해석에서는 잔류자속밀도를 동일하게 두었는데, 실제 레디얼 페라이트 소결자석의 잔류자속밀도가 0.4T 정도임을 고려하면 극이방 플라스틱 자석의 특성이 약 90% 내외임을 예측할 수 있다.

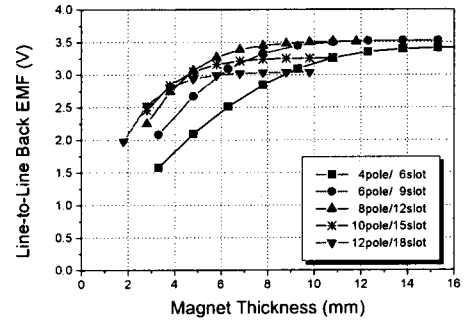
이를 자극폭에 대한 비율로 환산하여 다시 그리면 그림 9와 같이 나타나며, 이를 통하여 실제 모터에 적용시에도 극이방 영구자석의 두께/자극폭의 비율은 자극의 수에 상관없이 약 0.4-0.5가 적절함을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 소형모터용으로 다양하게 사용되고 있는 페라이트 사출자석의 특성을 고찰하였으며, 이를 위하여 영구자석의 극이방 급형에 대한 정자계 해석을 통하여 영구자석의 자계분포를 결정하는 방법을 사용하였다. BLDC 모터에의 적용을 가정하여 다양하게 해석한 결과 극이방 사출자석의 두께는 자극수에 상관없이 자극폭 대비 약 0.4-0.5 정도로 설계하는 것이 적절함을 알 수 있었다.



(a) 방사방향 영구자석의 경우 (내측에 철심 존재시)



(b) 극이방 영구자석의 경우 (내측은 공기인 경우)

그림 8. 영구자석의 종류 및 두께에 따른 BLDC 모터의 역기전력 특성

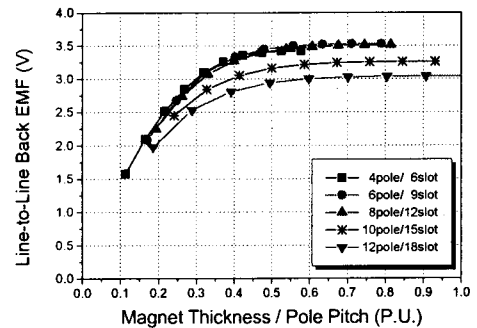


그림 9. 그림 8(b)의 결과를 영구자석 두께/자극폭의 비율로 환산한 그림

[참 고 문 헌]

- [1] J. Ormerod, and S. Constantinides, "Bonded permanent magnets: current status and future opportunities," *J. Appl. Phys.*, vol. 81, no. 8, pp. 4816-4820, 1997.
- [2] T. Sakai, K. Nakamura, and A. Morii, "Plastics magnet injection molding process: mixing/kneading and injection molding," *ANTEC'89*, pp. 244-252, 1989.
- [3] 장홍순, 정인성, 백수현, "회전자 철심이 없는 내전형 B LDC 모터의 유한요소 해석", 대한전기학회 논문지, Vol. 49, No. 10, pp. 652-658.