

다극착자기에서 착자전류가 잔류자속밀도에 미치는 영향

박관수 · 이항범 · 배동진 · 한송엽

서울대학교 공과대학 전기공학과

최홍순 · 홍정표 · 주관정

삼성전기(주) 종합 연구소 CAD/CAM실

(1992년 3월 27일 받음, 1992년 5월 18일 최종 수정본 받음)

영구자석의 착자상태는 영구자석이 사용된 기기의 특성에 큰 영향을 미친다. 따라서 영구자석기에서 원하는 특성을 얻기 위해서는 영구자석의 착자상태를 정밀하게 해석할 필요가 있다. 본 논문에서는 비선형과 이방성 특성이 고려된 유한요소법으로 착자기를 해석하였다. 착자전류가 변함에 따른 자화량의 분포와 그 자화량에 의하여 공극에 발생하는 자장의 값을 각도가 서로 다른 2가지 착자요크에 대하여 구한 결과, 착자요크의 형상에 따라 과도한 착자전류는 자화량의 분포를 왜곡시키고, 이에따라 발생하는 공극에서의 자장의 값은 오히려 줄어들음을 알 수 있었다. 따라서 영구자석을 자화시키기 위한 착자기를 설계할때 원하는 착자분포를 얻기 위해서는, 착자요크의 각도에 따라 적절한 착자전류의 값이 있음을 알 수 있다.

I. 서 론

제조된 영구자석은 착자과정을 거쳐서 자화량을 갖게 되는데, 이러한 영구자석이 사용된 기기의 특성은 자석의 착자상태에 따라 크게 좌우된다. 따라서 영구자석기에서 원하는 특성을 얻기 위해서는 자석의 착자상태에 대한 올바른 해석이 필요하다. 일반적으로 영구자석을 착자하기 위하여 자석의 보자력의 3~5배에 해당하는 자계의 세기를 가해주고 있으며, 완전착자를 위하여 실제로 더 많은 전류를 흘려주기도 한다. 그러나 정밀한 작동이 요구되는 기기를 다극착자하여 사용할 경우 착자요크의 형상이나 착자전류가 자화량의 분포에 미치는 영향에 대하여 보다 정확한 해석이 필요하다[1, 2].

영구자석을 착자할때 착자기에는 대전류가 흘러 착자요크가 포화되므로 해석시에는 철의 포화특성을 고려해 주어야 하며, 자기 이방성을 갖는 영구자석을 착자할 때는 이방성도 고려해 주어야 한다[3].

세그먼트(segment)형의 자석을 착자할 때는 착자전류에 의한 자속이 자석의 전 영역에서 일정하게 통과하기 때문에 착자전류의 크기를 선정하는데 큰 문제가 없다.

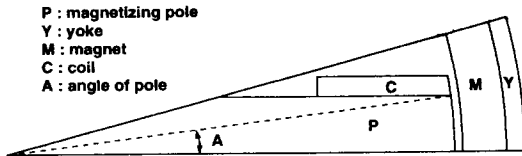
그러나 링(ring) 형태의 자석을 다극착자할때는 착자요크의 중앙에서는 자속이 자석의 자화용이축과 평행으로 통과하나, 인접한 착자요크의 폴(pole)과 폴 사이에서는 자속이 자화용이축과 거의 수직으로 통과한다. 따라서 이 부분에서 원하는 자장의 분포를 얻기 위해서는 착자요크의 형상 및 착자전류가 자화분포에 미치는 영향에 대한 정밀한 해석이 필요하다[4].

본 논문에서는 자기 이방성과 비선형성이 고려된 유한요소법을 사용하여 다극착자기에서 착자요크의 폭과 착자전류를 변화시켰을 때 자석이 착자되는 과정을 해석하고 착자요크를 제거하고 철심코어를 넣었을때 공극에서의 자장의 분포를 구하여 착자전류 및 착자요크의 폭이 착자특성에 미치는 영향을 해석하였다.

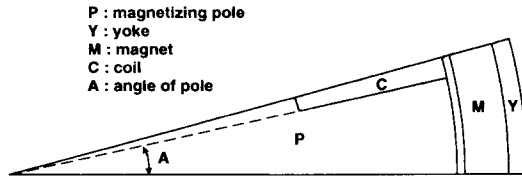
II. 다극착자기의 모델링

링 형태의 자석을 다극으로 착자시키기 위한 착자 시스템에서 한 폴의 반을 보면 그림 1과 같다. 착자요크는 돌출형(salient pole)이고 여기에 착자코일이 감겨져 있으며 바깥쪽에 링형의 착자될 자석이 있고 그 바깥쪽에 다시 자속의 귀로를 형성해 주는 귀로요크가 있다.

착자전류가 흐를때 이 시스템의 자속 분포를 해석하기 위하여 유한요소법을 적용하였다. 착자요크 및 귀로요크는 등방성 재료이므로 자기 포화만을 고려하고, 영구자석은 이방성과 자기 포화를 함께 고려하였다. 이때 이방성은 그림 2와 같이 자화용이축과 자화곤란축으로 모델링한다. 자화용이축은 히스테리시스 특성을 고려하였고, 자화곤란축은 선형으로 가정하였다.



(a) Pole angle 7°



(b) Pole angle 12°

Fig. 1. Models of magnetizer.

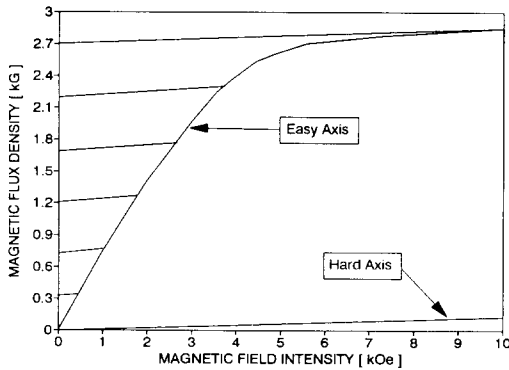


Fig. 2. B-H curves for permanent magnet

전류밀도 J , 자화량 M 과 자기 벡터 포텐셜 A 간에 성립하는 식을 Maxwell 방정식으로부터 구하면 아래식을 얻는다[4].

$$-\nabla^2 A = \mu_0 (J + \nabla \times M) \quad (1)$$

여기서 μ_0 는 자기 투자율이다. 착자시스템에 이방성이 고려된 유한요소법을 적용하면 다음식을 얻는다[5].

$$[K_{ii}] [A_i] = [F_i]$$

$$K_{ii} = \int \left\{ \nu_{xx} \frac{\partial N_i}{\partial Y} \frac{\partial N_i}{\partial Y} - \nu_{xy} \frac{\partial N_i}{\partial Y} \frac{\partial N_i}{\partial Y} - \nu_{xy} \frac{\partial N_i}{\partial Y} \frac{\partial N_i}{\partial Y} + \nu_{yy} \frac{\partial N_i}{\partial Y} \frac{\partial N_i}{\partial Y} \right\} da$$

$$F_i = \int J N_i da \quad (2)$$

여기서 ν 는 자기저항율, N 은 형상함수이다. 링 형태의 자석을 전체좌표계(global coordinate)에서 해석하면 자석의 자화용이축 e 와 자화곤란축 h 는 전체좌표계로 변환해야 한다. 자화용이축과 자화곤란축의 국부좌표계(local coordinate)에서의 자기저항율 ν' 는 아래와 같다.

$$\nu' = \begin{bmatrix} \nu_e & 0 \\ 0 & \nu_h \end{bmatrix} \quad (3)$$

이것을 전체좌표계로 변환하면

$$\nu = \begin{bmatrix} \nu_{xx} & \nu_{xy} \\ \nu_{yx} & \nu_{yy} \end{bmatrix} \quad (4)$$

이고, 국부좌표계와 전체좌표계의 각도를 θ 라 하면 식(4)의 자기저항율 ν 의 요소는 아래식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \nu_{xx} &= \nu_e \cos^2 \theta + \nu_d \sin^2 \theta \\ \nu_{yy} &= \nu_e \sin^2 \theta + \nu_d \cos^2 \theta \\ \nu_{xy} &= \nu_{yx} = (\nu_e - \nu_d) \cos \theta \sin \theta \end{aligned} \quad (5)$$

Table I. B-H data of magnetizing pole, return yoke and iron core.

B [kG]	H [kOe]
0.00E+00	0.0000E+00
2.40E+00	1.2566E-03
7.20E+00	3.7699E-03
1.27E+00	1.2566E-03
1.42E+00	3.7699E-02
1.50E+00	1.2566E-01
1.59E+00	3.7699E-01
1.79E+00	1.2566E+00
2.08E+00	3.7699E+00
2.10E+00	3.9699E+00

식 (3)에서 자기 저항율은 자기포화를 고려할 경우 비선형이므로 식(2)는 비선형 대수 방정식이 된다. 그러므로 식 (2)는 Newton-Raphson 법을 이용한 반복계산으로 해를 구한다[6].

III. 계산모델

내 반경이 21 mm, 두께 2.2 mm의 링 형태의 고무자석을 12극으로 착자시키기 위한 착자기의 전체그림은 그림 3과 같다. 착자요크에 대하여 주기성을 가지며 한개의 요크에 대한 대칭성까지 고려하면 전체 12극의 1/24만을 해석해도 된다. 착자요크의 각도에 따라 그림 1의 (a)는 착자요크의 각도가 7°, (b)는 각도가 12°인 경우이다. 고무자석의 자화특성은 그림 2와 같으며, 착자요크 및 귀로요크는 일반 규소강판으로 표 1과 같은 포화 특성을 갖는다. 그림 1에서 착자코일의 권선수는 10회이며 권선의 직경은 1 mm이다.

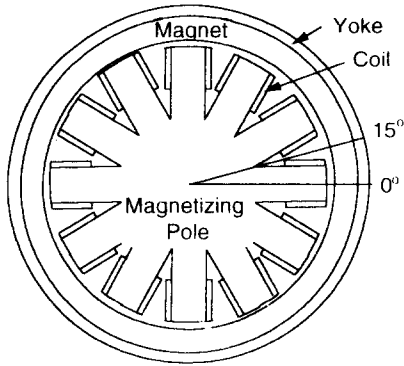
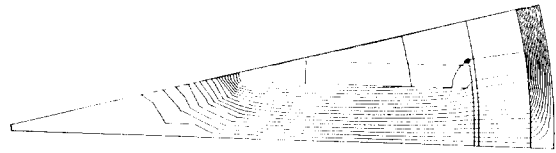
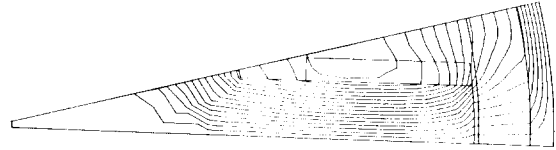


Fig. 3. Magnetizing system for 12 pole ring-type magnet.



(a) Magnetizing current 50 A

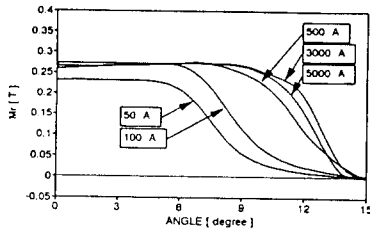


(b) Magnetizing current 5000 A

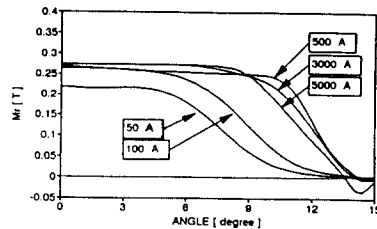
Fig. 4. Flux pattern of magnetizer with pole angle 7° .

그림 4는 착자과정에서 착자전류가 각각 50 A 및 5000 A 일때의 자속분포이다. 그림에서 착자전류가 50 A 일때는 자속이 경방향(radial direction)의 자화용이 축과 평행으로 지나가지만, 착자전류가 5000 A 일때 착자요크사이에서의 자속은 귀로요크의 포화로 인하여 귀로요크와 거의 수평으로 지나감을 볼수 있다.

착자전류를 50, 100, 500, 3000, 그리고 5000 A 까지 변화시키면서 착자 후 자석의 잔류자속밀도 분포를 구하였다. 그림 5 및 그림 6은 각각 착자요크의 각도가 7° 및 12° 인 경우인데 (a)는 공극쪽, (b)는 귀로요크쪽의 자석표면부분의 잔류자속밀도분포를 나타낸 것이다. 예측된 바와 같이 착자요크의 각도가 큰 경우가 작은 경우의 잔류자속밀도분포보다 더욱 구형파에 가까운것을 알 수 있다. 그리고 착자전류 500 A (자석 H_c 의 약 4 배)정도 이상이되어야 원만한 착자가 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 그림 5와 그림 6의 (b)를 보면 그 이상 전류가 증가함에 따라 자석의 위치가 10° 에서 15° 사이의 잔류자속밀도는 오히려 줄어들고, 착자요크의 각도가

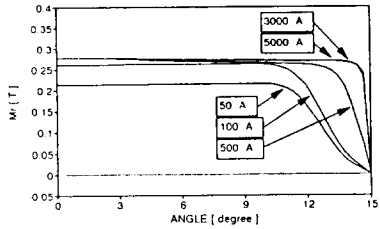


(a) At the inner side of magnet

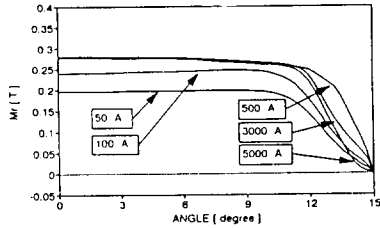


(b) At the outer side of magnet

Fig. 5. Distribution of remanence for pole angle 7°



(a) At the inner side of magnet



(b) At the outer side of magnet

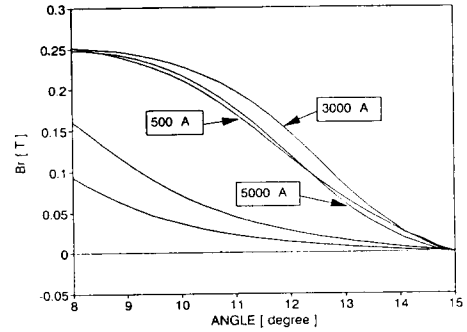
Fig. 6. Distribution of remanence for pole angle 12°

7° 일때 전류가 5000 A 에서는 반대방향으로 착자되는 부분도 생긴다. 이와같은 현상은 이 부분이 그림 4의 (b)에서 보듯이 대전류에서 자석의 자화용이축과 가해지는 자장의 값이 수직이 되고 착자요크 및 쿼로요크 부분이 크게 포화됨에 따라 자화용이축 성분의 자장의 값에 음의 성분이 발생하기 때문이다.

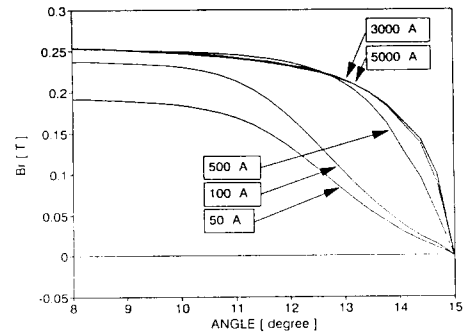
그림 7은 그림 1에서 착자요크를 빼내고 공극을 제외한 전 부분에 철심코어를 넣었을때 착자된 자석에 의하여 공극에서 발생하는 자속의 분포를 각도 8° 에서 15° 까지 그린 것이다. 착자요크 12° 로 착자된 자석은 착자시 착자전류가 500 A 이상일때 자석이 발생하는 자속의 양은 거의 같으나, 착자요크의 각도 7° 로 착자된 자석은 착자시 착자전류가 5000 A 일때 그림 5의 (b)에서와 같이 잔류자속밀도가 적어짐에 따라 공극에서의 자속의 양도 오히려 줄어들음을 볼 수 있다.

IV. 결 론

다극착자에 있어서는 착자요크의 폭과 착자전류의 크기에 따라 착자후 자석내의 잔류자속밀도 분포가 크게 달라짐을 알았다. 착자전류가 너무 크면 자기회로가 포화되어 누설자속이 많아지는데 이와같은 현상은 착자자극의 폭이 작을수록 심하게 나타난다. 이 누설자속이 많아지면



(a) Pole angle 7°



(b) Pole angle 12°

Fig. 7. Flux density at the air gap after magnetizing.

극성이 바뀌는 부분에서의 자화특성이 나빠지며 따라서 착자후 공극에서의 자속의 양도 줄어들음을 알 수 있다. 따라서 영구자석을 자화시키기 위한 착자기를 설계할때 원하는 착자분포를 얻기 위해서는 착자요크의 폭에 따라 적절한 착자전류의 값을 주어야 함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 삼성전기 주식회사의 연구비와 한국 과학재단 특정과제 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] J. P. A. Bastos and G. Quichaud, IEEE Trans. on Magnetics, **MAG-21**, No.6, 2366(1985).
 [2] A. Konrad, J. Appl. Phys. **53**(11) 8408(1982).

- [3] S. Pissanetzky, IEEE Trans., **MAG-18**, No. 2, 346(1982).
[4] T. Nakata, N. Takahashi, G. Kawashima and K. Fujiwara, IEEE Trans., **MAG-22**, No.5, 1072 (1986).
[5] M. Saeb and R. M. Saunders, IEEE Trans., **MAG-23**, No. 5, 3860(1987).
[6] J. M. Dedulle, G. Meunier, A. Foggia, J.C. Sabonnadiere and D. Shen, IEEE Trans., **MAG-26**, No. 2, 524(1990).

Effects of Magnetizing Currents on Remanent Flux Density in Multipole Magnetizer

Gwan-soo Park, Hyang-beom Lee, Dong-jin Bae, and Song-yop Hahn

Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University

Hong-soo Choi, Jung-pyo Hong, and Kwan-jeong Joo

Central Research and Development Center, Samsung Electro-mechanics

(Received 27 March 1992, in final form 18 May 1992)

The characteristics of electromagnetic devices with permanent magnet depends greatly on the remanence pattern of permanent magnet. So, it is necessary to analyze the pattern of remanence in permanent magnet. This paper presents a finite element analysis of magnetizer considering the nonlinearity and anisotropy of yoke and magnet in magnetizer. The distributions of magnetizations are obtained according to the variations of magnetizing currents for two kinds of magnetizers with different magnetizing poles. It is found that the excessive magnetizing current results in the reduction and polarity reversion of magnetization in the multi-pole magnetizing system where the pole angle is too small. During the design and analyzing of multi-pole magnetizer, it must be considered that there exists an optimal value of magnetizing current and pole angle of magnetizer.