

이방성 영구자석의 착자 특성 해석

이항범* 한송엽
서울대학교 전기공학과

홍정표 최홍순
삼성전기

Analysis of the Magnetizing Characteristics on Anisotropic Permanent Magnet

Hyang-Beom Lee Song-Yop Hahn
Dept. of Electrical Engineering
Seoul National University

Jung-Pyo Hong Hong-Soon Choi
SAMSUNG Electro-Mechanics

ABSTRACT

The characteristics of magnetizing system considering the anisotropy and the nonlinearity are analyzed using FEM in this paper.

The case of magnetizing the ferrite magnet with 12 poles is analyzed. The anisotropy characteristic is considered when ferrite magnet which is widely used as permanent magnet is magnetized. The Nonlinear characteristic of magnetizing yoke and ferrite is considered because the current is in the saturation region.

When the magnetizing current value is over the optimum value, the magnet is magnetized with 24 poles. This is not the case of our expectation. Thus, for the case of our expected magnetizing form, it is the conclusion that the optimum magnetizing current value is selected.

1. 서론

영구자석을 사용하는 모터의 특성은 다른요인에도 많은 영향을 받지만, 영구자석에 의한 영향도 상당히 크다. 영구자석에 의한 자장의 분포 및 과전류시의 영구자석의 감자특성을 고려하여 영구자석의 제질 선정 및 적절한 착자를 고려하여야 한다.

영구자석은 사용영역에 따라 회로류계나 알니코, 페라이트를 사용한다. 회로류자석은 다른 자석에 비하여 에너지적(積)이나 보자력의 성능이 월등하다. 그러나, 가격문제와 자원의 제한성때문에 페라이트자석에 비하여 용도가 제한되어 있어 특정한 분야에서만 많이 사용되고 있다. 알니코자석은 잔류자화량은 크지만 보자력이 낮은게 단점이다. 페라이트 자석의 경우는 잔류자화량은 알니코에 비하여 낮지만 보자력이 커서 감자계(減磁界)의 작용에 강하고 가격이 싸기 때문에 많이 사용되고 있다.

적절한 착자를 위해서는 착자시스템의 설계가 잘 되어야 한다. 즉, 요오크의 형상이라든지, 착자전류, 착자용 콘덴서의 선택동

을 상당히 신중히 결정하여야 한다.

본 논문에서는 이방성이 고려된 페라이트를 다극착자시키는 착자시스템에 대하여 수치해석을 행하였다. 페라이트의 경우 경방향으로 착자가 더 잘되는 것을 택하여 이방성을 고려하였으며, 전류치가 포화되는 영역이상으로 흐르기 때문에 요오크와 페라이트의 비선형성을 고려하여 해석하였다.

전류의 변화에 따른 착자의 형태를 살펴본 후 적절한 전류의 선택이 착자에 있어서 아주 중요하다는 것을 보였다.

2. 해석방법

2.1 자기에너지

이방성 자기회로를 해석하기 위하여 그림 1과 같은 좌표계를 사용한다. 즉 전체 좌표계(global coordinate system)는 x-y로 하고 자성재료의 자화특성은 극부좌표계(local coordinate system) e-d를 이용한다. 여기서 e는 자화용이축(easy axis)이고 d는 자화곤란축(difficulty axis)을 의미한다.

이방성 자기재료가 정자장내에 있을 때 계의 자기에너지 E는

$$E = \int_0^B \left\{ \int_0^B (H')^T dB' - J \cdot A \right\} da \quad (1)$$

이고, 여기서 J는 전류밀도, A는 자기벡터포텐셜이고, H', B'는 극부좌표계에서의 자계의 세기 및 자속밀도이며, 전체좌표계에서의 자계의 세기 및 자속밀도 H, B와는 다음과 같은 관계가 있다.

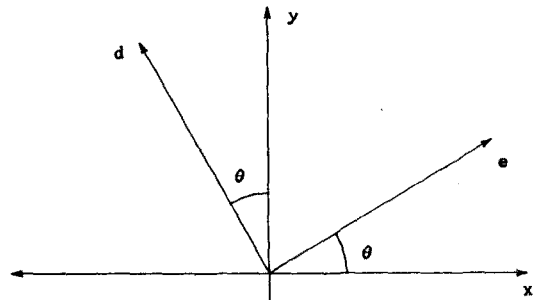


그림 1. 좌표계

$$H' = R H \quad (2)$$

$$B' = R B \quad (3)$$

여기서 R은 변환행렬이고 그림 1에서 보면

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

가 된다.

$$H' = \nu' B' \quad (5)$$

$$H = \nu B \quad (6)$$

이며, 자기저항률은 각각

$$\nu' = \begin{bmatrix} \nu_0 \\ \nu_d \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\nu = R^T (\nu')^T R = \begin{bmatrix} \nu_{xx} & \nu_{xy} \\ \nu_{yx} & \nu_{yy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

이며, ν 의 각각의 요소는 다음과 같다.

$$\nu_{xx} = \nu_0 \cos^2 \theta + \nu_d \sin^2 \theta$$

$$\nu_{yy} = \nu_0 \sin^2 \theta + \nu_d \cos^2 \theta \quad (9)$$

$$\nu_{xy} = \nu_{yx} = (\nu_0 - \nu_d) \cos \theta \sin \theta$$

2.2 유한요소근사

자장분포를 유한요소법을 이용하기로 하고, 문제의 영역을 유한개의 요소로 나누고 미지수를 형상함수를 사용하여 나타내고, 정류조건을 적용하면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$g_i = \frac{\partial E}{\partial A_i} = \int_{\Omega} \left\{ (H')^T \frac{\partial B'}{\partial A_i} - J \cdot \frac{\partial A}{\partial A_i} \right\} da \quad (10)$$

위 식을 식 (2), (3), (8)을 이용하여 전체좌표계로 변환하면

$$g_i = \int_{\Omega} \left\{ B^T \nu \frac{\partial B}{\partial A_i} - J \cdot \frac{\partial A}{\partial A_i} \right\} da = 0 \quad (11)$$

위 식(11)을 선형행렬방정식으로 정리하면 다음식과 같다.

$$g_i = \sum_{j=0}^n S_{ij} A_j - F_i = 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (12)$$

$$S_{ij} = \int_{\Omega} \left\{ \nu_{xx} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} - \nu_{xy} \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial y} - \nu_{yx} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \nu_{yy} \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} \right\} da \quad (13)$$

$$F_i = \int_{\Omega} J \cdot N_i da \quad (14)$$

2.3 비선형해석

이방성 자기재료에서 자기포화와 같은 비선형특성이 있는 경우 자장분포를 구하기 위하여 Newton-Raphson법을 이용한다.

$$g_i = g_i(A) = 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (15)$$

인 A를 구하기 위하여 식(10)을 동작점 A^k 에서 Taylor 급수 전개를 한다. 즉

$$g_i(A^k) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial g_i}{\partial A_j} \Delta A_j^k = 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (16)$$

를 얻는다. Newton-Raphson법은 우선 A^k 를 가정하여 ΔA^k 를

구한다음 A^k 대신 $A^k + \Delta A^k$ 대입하여 $\Delta A^k = 0$ 이 될 때까지 반복하여 A의 값을 구하는 것이다.

식(16)을 행렬식으로 쓰면

$$[J_{ij}] [\Delta A_j^k] = - [G_i^k] \quad (17)$$

$$[G_i^k] = [S_{ij}] [A_j^k] - [F_i] \quad (18)$$

$$J_{ij} = \int_{\Omega} \left\{ \left(\frac{\partial H'}{\partial A_j} \right)^T \frac{\partial B'}{\partial A_i} \right\} da \quad (19)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial A_j} = \frac{\partial H'}{\partial B'} \frac{\partial B'}{\partial A_j} \quad (20)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial B'} = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_0}{\partial B_0} & 0 \\ 0 & \frac{\partial H_d}{\partial B_d} \end{bmatrix} \quad (21)$$

이며,

$$H_0 = \nu_0 (B_0^2) B_0 \quad (22)$$

$$H_d = \nu_d (B_d^2) B_d \quad (23)$$

이므로

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_0}{\partial B_0} &= \nu_0 + \frac{\partial \nu_0}{\partial B_0^2} \frac{\partial B_0^2}{\partial B_0} B_0 \\ &= \nu_0 + 2 B_0^2 \frac{\partial \nu_0}{\partial B_0^2} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\frac{\partial H_d}{\partial B_d} = \nu_d + 2 B_d^2 \frac{\partial \nu_d}{\partial B_d^2} \quad (25)$$

가 된다.

3. 해석모델

페라이트자석을 12극 착자하는 경우를 다루었다.

그림 2는 12극 착자에서 대칭성을 고려하여 전체의 24분의 1만 을 나타내었다. 착자코일은 7회 감겨있고 페라이트 및 오오크의 포화곡선은 각각 그림 3 및 그림 4와 같다.

4. 해석결과

그림 5는 착자전류가 500[A] 일 때의 자장분포를 나타내고 있으며, 그림 7은 착자된 후의 자화의 세기를 나타낸다. 착자오오크의 근방에서는 자화가 최대치까지 되었고, 착자오오크사이로 갈수록 자화가 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 착자전류가 2000[A] 일 때의 자장분포를 나타내고 있으며, 그림 8은 착자된 후의 자화의 세기를 나타낸다. 이 경우는 착자오오크의 근방에서는 자화가 착자전류 500[A] 때와 같이 최대치까지 되었는데, 착자오오크사이에서는 자화가 반대방향으로 이루어 졌음을 알 수 있다. 즉, 이 경우는 착자가 12극이 아닌 24극으로 이루어 졌다는 것을 알 수 있다.

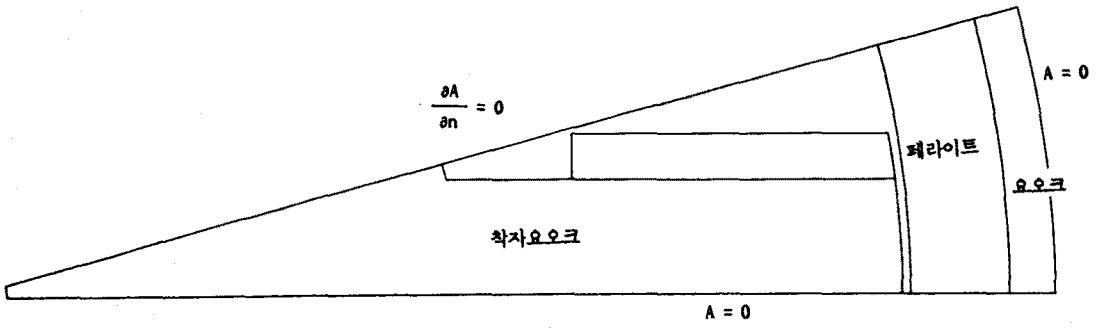


그림 2. 착자모델

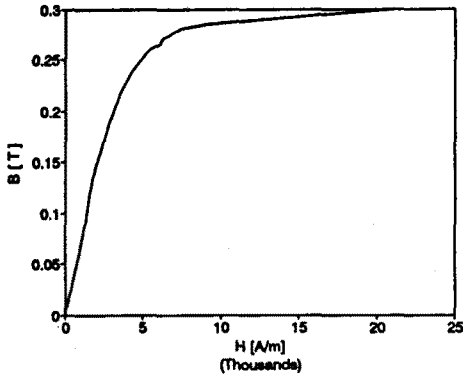


그림 3. 페라이트의 포화곡선

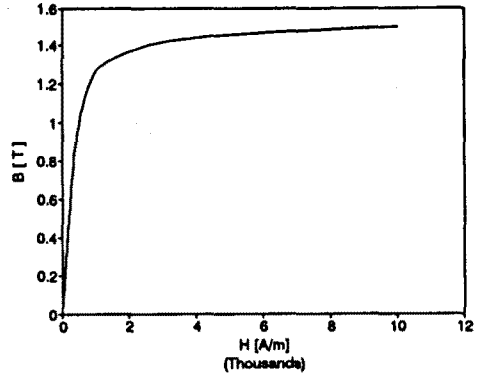


그림 4. 요오크의 포화곡선

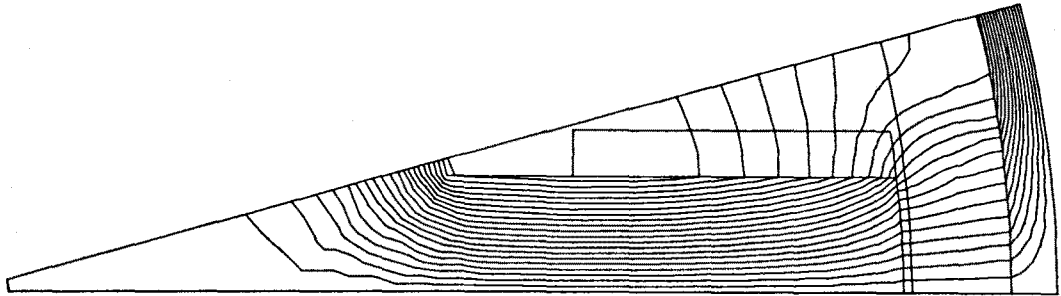


그림 5. 착자전류 500[A] 일 때의 자장분포

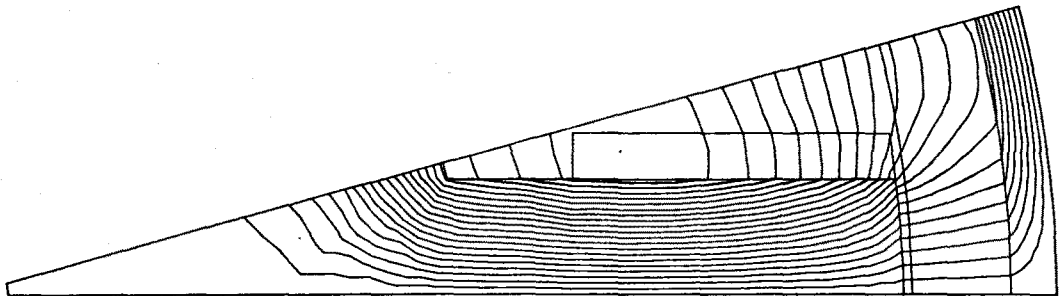


그림 6 착자전류 2000[A] 일 때의 자장분포

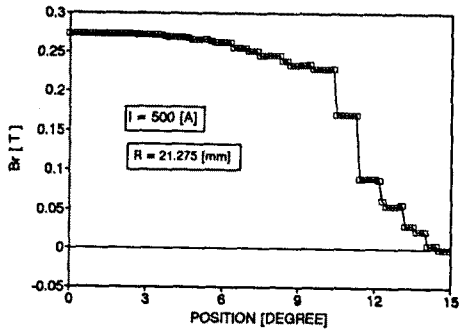


그림 7 착자전류 500[A] 일 때의 자화의 세기 분포

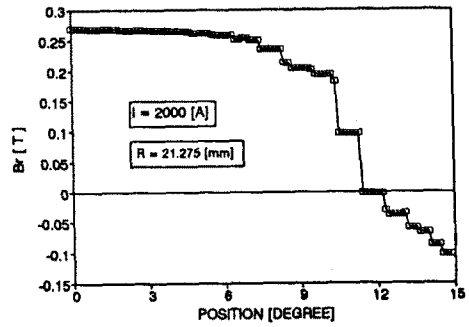


그림 8. 착자전류 2000[A] 일 때의 자화의 세기 분포

5. 결론

본 논문에서는 이방성이 고려된 페라이트자석을 12극으로 착자하는 착자시스템을 해석하였다. 전류치가 포화되는 영역이상으로 흐르기 때문에 비선형성을 또한 고려하여 해석하였다.

본 해석결과 다극착자의 경우 전류치가 적절하지 못하면 예기치 못한 이상착자가 발생함을 알았고, 따라서 실제 시스템을 구성하기 이전에 시뮬레이션을 해 보아야 한다고 사료된다.

참고 문헌

1. Mouloud Feliachi, Sur La Modelisation Numerique des Phenomenes Electromagnetiques Lies a L'Enregistrement Perpendiculaire, Ph.D Dissertation, Grenoble France 1986
2. A. DE Rochebrune, J. M. Dedulle and J.C.Sabonnadiere, "A

Technique of Homogenization applied to the Modelling of Transformers," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-26, no. 2, pp. 520-523, March 1990

3. M. Watanebe, K. Ide, M. Takahashi and N. Takahashi, "Magnetically Anisotropic Slot Wedges for Rotating Machines," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-26, no. 2, pp. 407-410, March 1990
4. Magdy Saeb and Robert M. Saunders, "Finite Element Analysis of Electromechanical Devices with Anisotropic Materials," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-23, no. 5, pp.3860-3865, September 1987
5. M. Lakehal and M. Jufer, "Finite Elements Calculation of Polarized, Anisotropic and Saturated Electromechanical Structures," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-19, no. 6, pp.2491-2493, November 1983