

Hysteresis 특성을 고려한 영구자석의 자화량 해석

원혁, 박관수
부산대학교 전기공학과

Analysis on the Magnetization of the Permanent Magnet by Using Preisach Model

Hyuk Won, Gwan Soo Park
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract - 자성체의 자화 특성을 해석하기 위해서는 자성체가 가지고 있는 포화 현상과 Hysteresis 현상을 고려해 주어야 한다. 하지만 현재 자화 특성 해석에서는 Hysteresis 현상을 무시하고 포화 현상만을 고려한 해석을 진행하거나 Hysteresis의 메이저 루프 특성만을 고려한 비선형 문제 해석만을 사용하고 있다. 하지만 자성체의 Hysteresis 특성은 메이저 루프적 특성 뿐만이 아닌 마이너 루프적인 특성을 가지고 있어 이 두 특성에 따라 많은 자화량적 변화를 가지게 된다. 또한 같은 재료적 특성을 가진 자성체라고 해도 그 형상에 따라 다른 자화 특성 분포를 가지고 있다. 이러한 두가지 특성을 전부 고려한 해석이 되어야 만이 정확한 자화 특성 해석 방법이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 멀티 브랜치적 특성과 자성체 형상에 따른 특성을 해석하기 위하여 Preisach 모델링을 이용하여 자성체의 형상에 따른 자화적 특성을 해석하는 연구를 진행하였다.

$$f(t) = \int \int_s F(U_a, U_b) \cdot T_u(t) U_a dU_b \quad (2)$$

Preisach Model은 그림 1에 나타나 있는 순서도에 서 보는 것과 같이 유한 요소법에서 구해진 자계의 세기 H에 의해서 출력되는 자화량 M을 구하여 다시 이를 유한 요소법에 대입하여 H를 구한 뒤 다시 출력 되는 자화량 M을 구하여 안정화 시키는 방법을 사용하여 자화량을 구하는 방법을 사용한다.

1. 서 론

자성체의 자화 특성을 해석하기 위해서는 자성체가 가지고 있는 포화 현상과 Hysteresis 현상을 모두 고려해 주어야 한다. 하지만 현재 일반적으로 사용되고 있는 자화 특성 해석 방법들은 포화 자화 현상만을 고려하여 자성체의 특성을 하나의 상수로 취급하여 구하거나 Hysteresis의 메이저 루프적 특성만을 고려한 비선형 문제 해석만을 사용하고 있다. 하지만 실제 자성체의 hysteresis 특성은 메이저 루프적인 특성 뿐만이 아닌 여러 마이너 루프적 특성을 가지고 있고 이러한 특성은 특정한 주기성을 지닌 형태가 아닌 멀티 브랜치 적인 특성을 포함하고 있다. 따라서 자성체의 자화 특성에 대한 해석을 위해서는 이러한 멀티 브랜치 적인 특성이 모두 고려되어야만 한다. 본 논문에서는 자성체의 이러한 자화적 특성을 모두 포함할 수 있는 Preisach Model을 이용하여 영구 자석 내부의 자화 분포에 대한 특성을 분석하였다.

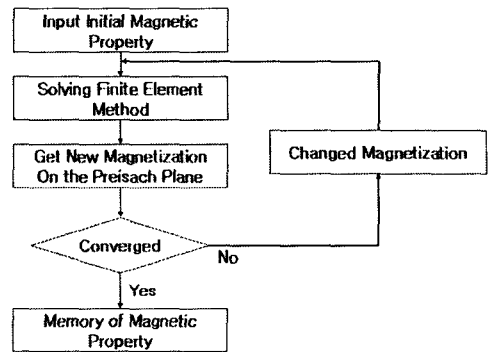


그림 1 자화량을 계산하기 위한 반복 알고리즘

3. 영구 자석 내부의 자화량 분포 해석

3.1 외부 자계에 의한 영구 자석 내부 자화 분포 해석

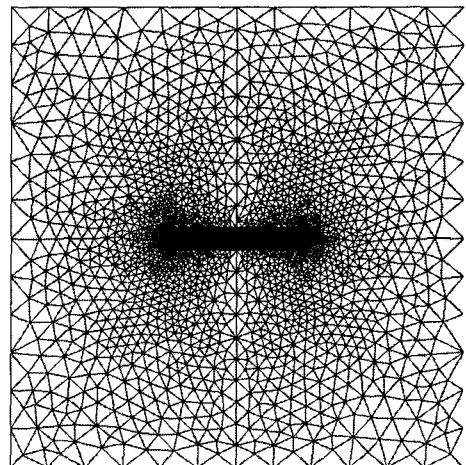


그림 2 영구 자석 착자/탈자 모델

2. Preisach Model

Preisach 평면상에서 자기이력에 따라 자화량을 구하는 방법은 다음과 같다. 초기에 자성체가 모두 탈자(Demagnetization) 되었다고 할 경우 입자들은

$$\begin{aligned} f_u(0) &= 1, & \text{if } U_0 \geq 0 \\ f_u(0) &= -1, & \text{if } U_0 < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

와 같이 된다. Preisach 평면입자들의 작용자가 양의 값을 갖는 부분을 S+, 음의 값을 갖는 부분을 S-라 하면 초기 탈자상태에서는 두 영역이 같은 양을 갖게 되어 자화량이 0인 상태가 된다. 이와 같은 상태는 자성체의 자화상태에 따라 궤적을 그리며 그 자화량의 자기이력을 남기게 되는데, 이때의 출력 f는 식 (2)와 같이 밀도분포를 적분함으로써 얻어진다.

인가된 외부 자계에 의한 영구 자석 내부의 자화 분포를 연구하기 위하여 그림 2와 같은 모델을 적용하였다. 자석의 크기는 12 cm × 2 cm이고 영구 자석 재료 특성은 표 1에 나타난 것처럼 Ms의 값은 990297.4 A/m, Hs의 값은 1687520 A/m, Hc 값은 843760 A/m, Mr 값은 891267.7 A/m로 주었다. 그리고 초기 자화량 M은 0로 주어 완전 탈자 상태로 주었다. 이와 같은 상태에서 측면 양쪽의 외부 자계를 변화시키며 영구 자석 내부의 자화 분포를 분석하였다.

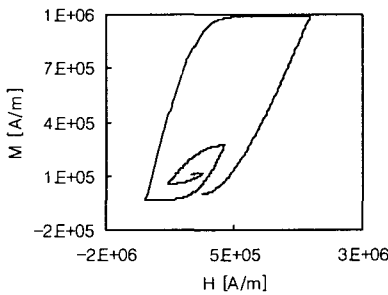
표 1. 영구자석의 자성 특성

Material	Ms (A/m)	Hs (A/m)	Hc (A/m)	Mr (A/m)
NdFeB	990,297.4	1,687,520	843,760	891,267.7

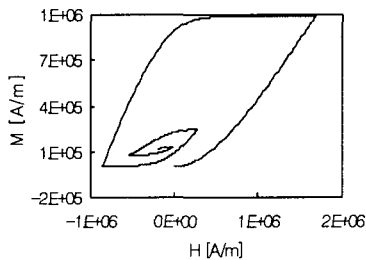
충분한 초기 외부 자계 필드에 의해서 최대 자화량을 가지던 영구자석은 외부 자계의 변화에 따라 자화 이력 곡선을 남기며 자화량이 변화되게 된다. 그 결과는 그림 3에서 보여지는 것과 같다. 그림 3의 (a)는 해석 모델의 영구자석의 너비의 반만을 나타낸 것이다. 그림에 표시된 4부분은 외부 자계에 따른 자기 이력 곡선을 나타낸 4부분을 표시한 것이다. 표시된 4부분의 자기 이력 곡선을 나타낸 것이 그림 3의 (b), (c), (d), (e)이다. 결과에서 알 수 있듯이 각 부분은 각각의 자기 이력 곡선을 가지고 있으며 결과적으로 각각 다른 자화량을 가지게 된다.



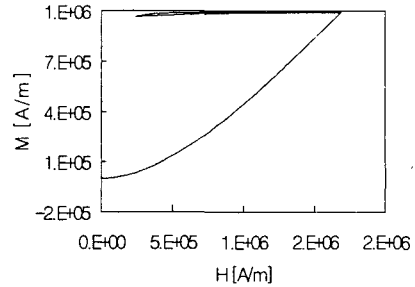
(a) 자화경로를 표시한 요소



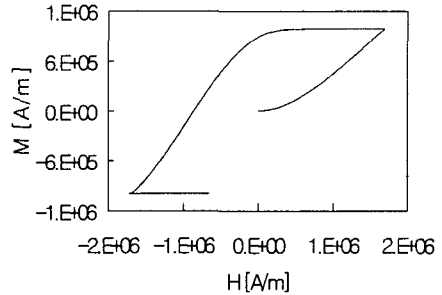
(b) (1)번 위치에서의 자화 경로



(c) (2)번 위치에서의 자화 경로



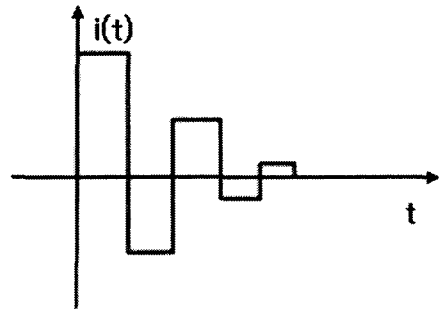
(d) (3)번 위치에서의 자화 경로



(e) (4)번 위치에서의 자화 경로

그림 3. 인가된 외부 필드의 변화에 의한 영구자석 내부의 자화 경로 변화

이 때 인가된 외부 자계의 형태는 그림 4의 (a)와 같이 인가되어 졌고 외부 자계를 제거한 후의 영구자석 내부의 Flux 분포는 그림 4의 (b)와 같이 되어 영구자석 내부의 자계의 분포가 서로서로 상쇄 시켜 거의 탈자된 상태를 이루고 있다는 것을 알 수 있다.



(a) 인가된 외부 자계



(b) 외부 자계가 사라진 후의 영구자석의 Flux 분포
그림 4. 인가된 외부 자계와 착자/탈자 프로세스 이후의 영구자석의 Flux 분포

3.2 영구자석을 포함한 장치에서의 내부 자화 분포

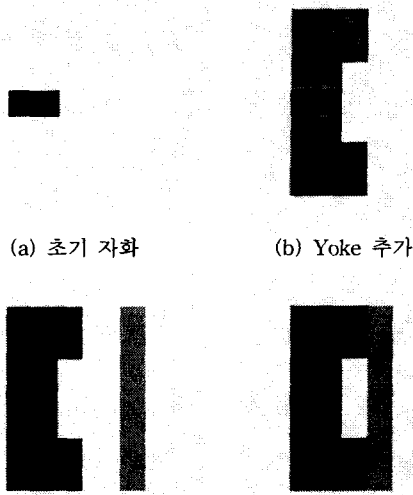


그림 5. 영구자석이 포함된 기기 해석 모델

영구자석이 포함된 기기에서의 영구자석 내부의 자화량 분포에 대한 해석을 하기 위하여 그림 5와 같은 모델을 적용 시켰다. 해석 순서는 영구자석을 착자시킨 후 Yoke를 추가하고 그 후 Armature를 3 cm 떨어진 거리에 추가한 후 0.2 cm씩 거리를 좁혀 가며 영구자석 내부의 자화량 변화를 측정하였다.

Armature의 거리가 가까워질수록 영구자석 내부의 최대/최소 자화량은 증가하였다. 그 결과가 그림 6의 그래프에 나타난 것과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 거리가 가까워질수록 서서히 증가하던 최소 자화량은 1cm 부터 급격히 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 최대 자화량 보다 최소 자화량의 증가량이 더 많아 최대/최소 자화량의 차이는 적어짐을 알 수 있다.

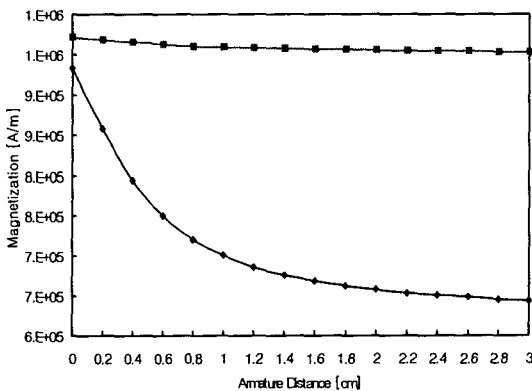


그림 6. Armature의 거리에 따른 최대/최소 자화량을 변화

그림 7은 해석 순서에 따른 영구자석 중심부의 위치별 잔류 자화량을 나타낸 그래프이다. 영구자석의 자화량을 상수로 취급한 것과는 그 중심으로 갈수록 많은 차이점을 나타낸다는 것을 알 수가 있다. 또한 그림 6의 그래프 결과에서 알 수 있듯이 최소 자화량의 증가가 최대 자화량의 증가량 보다 크므로 인해서 자화량의 분포는 자기 폐회로가 될수록 그 차이가 줄어들어가는 것을 알

수가 있다. 또한 Armature와 Yoke 사이에 미치는 힘은 그림 8의 그래프에서 알 수 있듯이 그 사이가 가까워질수록 누설되는 자속이 줄어들게 되어 그 사이에 작용하는 힘은 점점 강해진다는 것을 알 수가 있다.

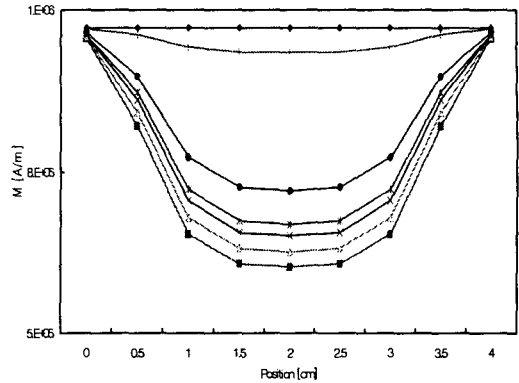


그림 7. 영구자석 중심부에서의 위치별 잔류 자화량의 변화

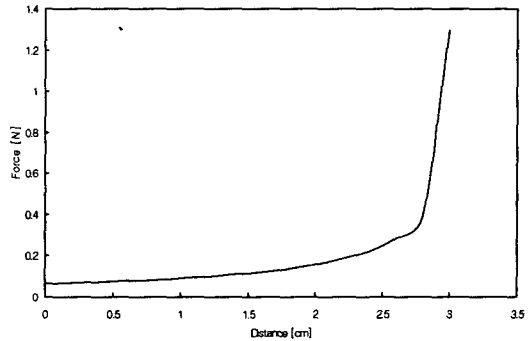


그림 8. Yoke와 Armature 거리에 따른 힘의 변화

4. 결 론

연구 진행 결과에서 알 수 있듯이 영구자석의 내부적인 자화 분포 특성은 그 포화 자화 특성뿐만 아니라 멀티브랜치 특성을 포함한 자기 Hysteresis적인 특성을 고려해야만 정확한 해석을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 이러한 내부 자화 분포는 영구자석의 모양 혹은 영구자석을 가진 기기의 형태에 따라 같은 특성을 가진 영구자석이라도 다른 자화분포를 보인다는 것을 알 수 있다.

차후 이러한 연구 결과를 바탕으로 영구자석의 내부에서 일어나는 자화 분포 특성에 대한 다각적인 고찰을 진행할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.R.M. Del Vacchio, "An Efficient Procedure for Modeling Complex Hysteresis Processes in Ferromagnetic Materials", IEEE Trans. on Mag., Vol. MAG-16, No.5, pp 809-811, September 1980.
- [2] I.D. Mayergoyz, "Dynamic Preisach Models of Hysteresis", IEEE Trans. on Mag., Vol. 24, No.6, pp 2925-2927, November 1988.
- [3] G.S. Park, H.B. Lee, K.S. Lee and S.Y. Hahn, "Preisach Model for Anisotropic Permanent Magnet", The International Symposium on Nonlinear Phenomena in Electromagnetic Fields, Nagoya, Japan, January, 26-29, 1992.