

PREISACH 모델을 이용한 수직자기기록장치의 유한요소해석

이 항범^o 박 관수 한 송엽
서울대학교 전기공학과

Finite Element Analysis of Perpendicular Magnetic Recording System
using PREISACH Model

Hyang-Beom Lee Gwan-Soo Park Song-Yop Hahn
Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

In this paper, perpendicular magnetic recording system which consists of a single pole head and a double layer medium is analyzed by using 2D-finite element simulation and Preisach model for describing hysteresis characteristics. For confirming this method, we compare the calculated magnetic field intensity which is above the isolated transition of magnetization and scale up experimental data which have already published. The results show a good agreement and we can conclude that this method is very useful to analyze perpendicular magnetic recording system.

1. 서론

현대 사회가 정보사회로 이행됨에 따라 보다 많은 정보를 보다 적은 면적에 기록할 수 있는 고밀도기록장치의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 종래의 수평자기기록방식과는 다른 수직자기기록방식으로의 기록방식의 개선, 새로운 기록매체의 개발, 고효율의 헤드설계등과 같은 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 널리 쓰이고 있는 자기기록장치는 기록헤드에서 발생하는 자장으로 기록매체를 자화시킴으로 정보를 기록, 재생시키는 방법으로서 기록헤드와 기록매체의 자기적특성뿐만 아니라 그 형상 및 구성방법등에 민감한 영향을 받는다. 따라서 보다 높은 밀도를 갖는 기록장치를 개발하기 위해서는 헤드와 매체의 자기적인 성질을 향상시키는 것 뿐만 아니라 이것들로 구성되는 전체 시스템의 전자기적인 해석이 필수적이다.

1970년대부터 전기계(電氣系)의 수치해석에 적용되기 시작한 유한요소법은 그 응용범위를 계속 넓혀왔

다. 그러나 자기기록시스템을 수치해석하기 위해서는 히스테리시스특성의 수치모사가 이루어져야 한다. 히스테리시스특성은 그 물리적인상의 난해함이나 그 특성의 복잡성으로 말미암아, 해석을 위한 다양한 모델들이 제시되고 있음에도 불구하고 충분한 정도의 정밀성과 정확성을 갖는 해석이 이루어지지 않고 있다.

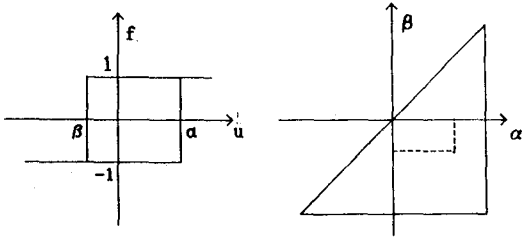
초기에는 히스테리시스의 메이저루프(major loop)를 수학적인 형태로 근사시키는 방법 - 평행사변형 근사법^[1], 5차 방정식 근사법^[2], 푸리에급수전개법^[3] 등 - 또는 여러개의 마이너루프(minor loop)를 데이터로 처리하는 방법^[4] 등이 사용되다가, 이후 물리적인 특성을 고려하여 M-H평면에서의 각 점을 상승과 하강 상태로 규정한 Potter-Schmullian 모델^[5], 비히스테리시스 곡선(Anhysteretic Curve)과 그 미분값을 이용한 Hodgdon 모델^[6], 막대형자성체의 형상자기이방성과 이방성에너지 최소화를 이용한 Stoner-Wohlfarth 모델^[7] 등이 있으나 각 자성입자들간의 상호작용이 고려된 입자밀도를 데이터로 처리하고, 입력의 과정을 기억시켜 처리하는 Preisach 모델이 기록장치의 오버라이트(overwrite) 특성이나 마이너루프해석등의 복잡한 현상을 수치모사할 수 있는 가장 유용한 수단으로 간주되고 있다.^[9]

본 논문에서는 Preisach 모델을 이용한 유한요소법으로 자성체의 히스테리시스현상을 수치모사하고, 이를 풀형 헤드(single pole head)와 2층매체(double layer medium)로 구성된 수직자기기록시스템에 적용하여 기록매체에 기록된 자화방을 구하고, 이것에 의하여 발생하는 자장과 실험데이터^[10]를 비교하여 그 유용성을 입증하였다.

2. Preisach 모델

강자성체는 자구나 단자구입자들로 표현되는 단위자

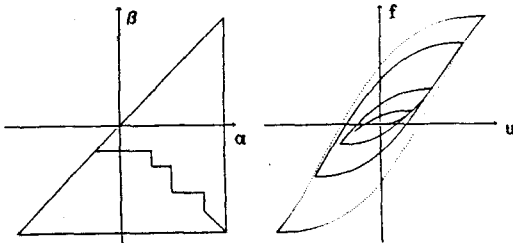
기입자들의 집합체로 이루어져 있으므로 강자성체의 자화량은 그림 1의 (a)와 같이 작용하는 입자들의 밀도를 그림 1의(b)와 같은 작용점 평면(switching field space)에 나타내면 이 밀도와 작용자의 이중적분형태로 나타낼수 있다.



(a) 히스테리시스 작용자 (b) 작용점 평면
그림 1. 히스테리시스 작용자 및 작용점 평면

$$f(t) = \iint_{\alpha \rightarrow \beta} \mu(\alpha, \beta) \cdot \hat{\gamma}_{\alpha\beta} u(t) \cdot d\alpha \cdot d\beta \quad (1)$$

강자성체의 자화량은 한 시점에서의 입력뿐만 아니라 가해지는 입력의 과정에 따라 서로 달라지므로, 입력이 변해가는 과정을 그림 2의 (a)와 같이 작용점 평면에 나타내면 그림 2의 (b)와 같은 복잡한 형태의 마이너루프에 대한것도 다룰수가 있다.



(a) 작용점 평면상에 기록된 입력의 변화과정 (b) 마이너 루프

그림 2. 복잡한 입력에 의한 작용점 평면과 마이너루프

3. 유한요소 정식화

자장의 세기와 자화량에 의한 자장율 식 (2)와 같이 표현하고

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (2)$$

자화량을 식 (3)과 같이 표현하여

$$\mathbf{M} = \chi \cdot \mathbf{H} + \mathbf{M} \quad (3)$$

이 식을 Maxwell 방정식에 적용하면 식 (4)를 얻는다.

$$-\nu \cdot \nabla^2 \mathbf{A} = \mathbf{J} + \nabla \times \mathbf{M} \quad (4)$$

2차원문제에서 유한요소정식화과정을 따라 시험함수를 이용하여 적분하고, Green정리를 적용하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\iint_{\Omega} \left\{ -\nu \cdot \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \Delta z}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \Delta z}{\partial y} \right) + \phi_i \cdot \mathbf{J}_z - M_y \cdot \frac{\partial \phi_i}{\partial x} + M_x \cdot \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \right\} \cdot dx \cdot dy = 0 \quad (5)$$

문제의 영역을 유한개의 요소를 나누고, 미지수를 형상함수를 사용하여 나타내고 정리하면 그 식은 아래와 같다.

$$\sum_{e=1}^{N_e} \left[-\nu \cdot \sum_{j=1}^3 S_{ij} \cdot \Delta_j + r_i \cdot \mathbf{J}_z - p_i \cdot M_y + q_i \cdot M_x \right] = 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

여기서

$$S_{ij} = \iint_e \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \right) \cdot dx \cdot dy$$

$$p_i = \iint_e \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \cdot dx \cdot dy$$

$$q_i = \iint_e \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \cdot dx \cdot dy$$

$$r_i = \iint_e \phi_i \cdot dx \cdot dy$$

4. 알고리즘

식 (6)을 살펴보면 전류 J와 자화량(magnetization)이 주어지면 자기벡터포텐셜 A와 그에 수반되는 자장의 값을 계산할 수가 있다. 히스테리시스특성을 적용할 경우 자화량도 역시 미지수가 된다. 따라서 Preisach 모델을 이용하여 자기벡터포텐셜 A로부터 자화량을 구하고 이것으로부터 다시 자기벡터포텐셜 A를 구하는 과정을 반복하여 수렴시키면 입력전류에 대한 자화량과 자장을 구할수가 있다.

그림 3은 그 알고리즘을 나타낸 것이다.

5. 적용모델

일반적으로 기록매체에 기록된 정보는 매우 좁은 영역에 있으므로 그 규모를 5000배 내지는 10000배로 확대하여 해석한다. 1989년 Ashar^[10] 등은 5mm 두께의

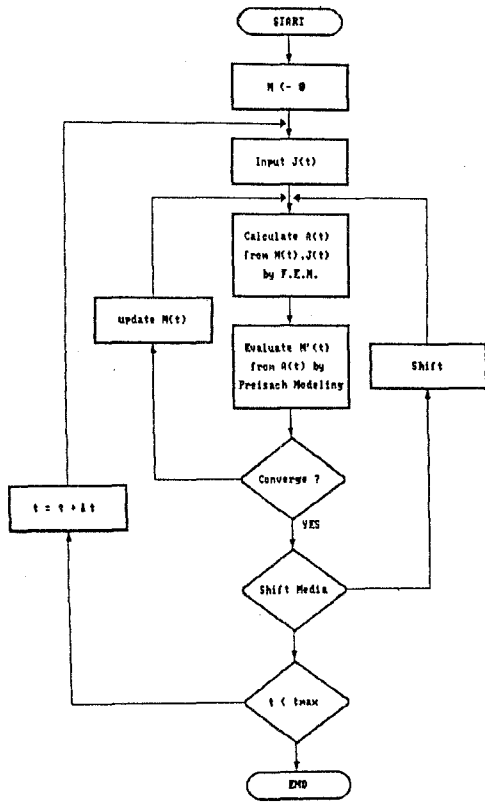


그림 3. 알고리즘

퍼멀로이(Permalloy)위에 1mm두께의 바륨-페라이트(Ba-ferrite)를 입혀 기록매체를 만들고 그 위 0.5mm되는 높이에 기록헤드를 움직여 정보를 기록한 후 홀 소자를 이용하여 자장을 측정할 실험을 행하였다. 그림 4는 이 모델을 수치해석하기위한 2차원해석영역이다.

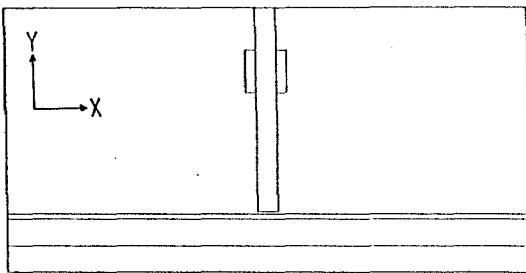


그림 4. 수직자기기록장치의 2차원해석영역

기록헤드의 폭은 4mm, 기록매체의 두께는 1mm, 하층매체(under-layer)의 두께는 5mm이며, 기록헤드와 하층매체의 상대투과율은 각각 2500, 1000의 값을 갖는다. 수직자기기록매체에 사용되는 바륨-페라이트나 코발트-크롬과 같은 재료는 자기이방성이 매우 강한 물질이므로 X방향(헤드가 움직이는 방향)의 자화방향을 무시한다. 매체에 사용된 바륨-페라이트의 보자력은

875[Oe], 잔류자기는 1684[G]이다. Preisach모델링을 위하여 그림 5의 자화랑회귀곡선으로부터 그림 6과 같은 작용점평면에서의 밀도분포함수를 얻는다.

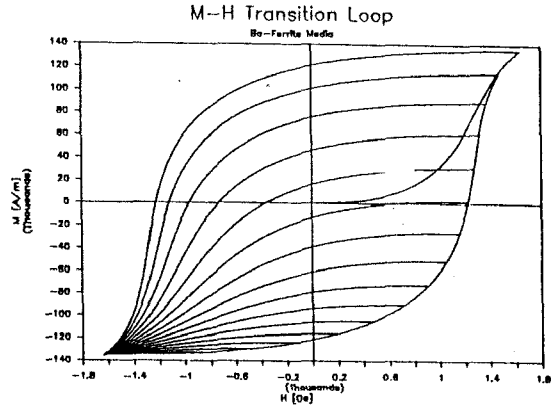


그림 5. M-H평면상의 자화랑회귀곡선

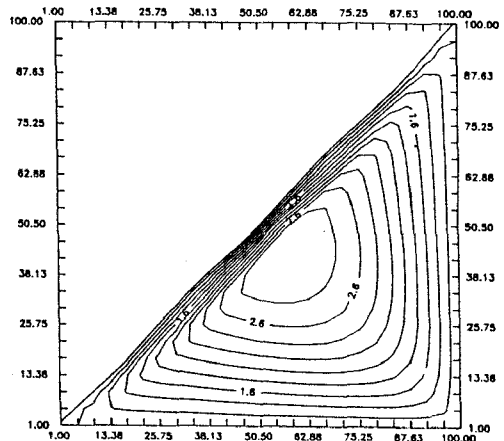


그림 6. 작용점평면상의 밀도분포함수

6. 결과 및 검토

헤드에 0.3[A]의 입력전류를 가한 후 기록헤드에 의하여 발생하는 자장에 의한 기록매체의 자화량은 그림 7과 같다. 그림 7은 기록헤드의 아랫부분을 확대한 것이다.

그림 8은 기록매체를 원편으로 움직이면서 실험과 같이 기록을 행한 후 헤드를 제거했을 경우의 자장과 자화량이다.

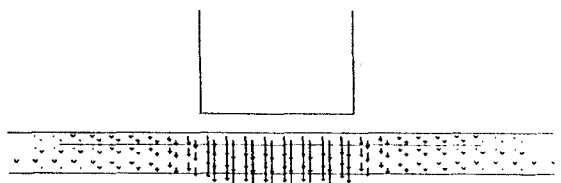


그림 7. 기록헤드의 자장에 의한 기록매체의 자화량분포

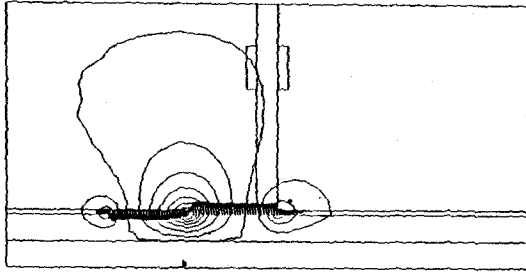


그림 8. 기록매체이동에 따라 기록된 단순자화 반전형태와 자속분포

그림 8에서 자화반전이 일어난 부분을 확대하면 그림 9와 같고 그림 9에서 자화반전이 일어난 부분 A와 B사이에서의 자장의 분포는 그림 10과 같다.

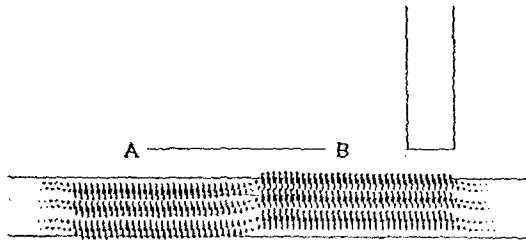


그림 9. 기록된 단순자화반전의 확대도

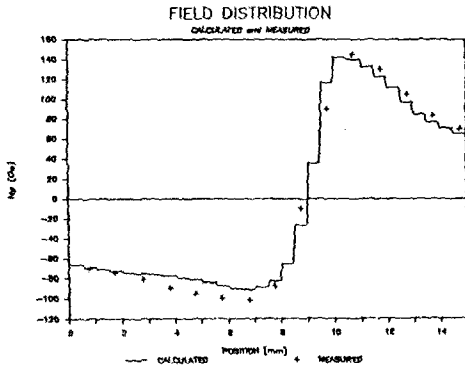


그림 10. 그림 9의 A-B사이에서의 자기장의 세기

그림 10에서 +는 측정된 값이며 직선으로 연결된 그림은 계산치이다.

요소의 형상함수를 1차로 잡았으므로 요소내에서의 자장은 일정하게 그려졌다. 그림에서 보듯이 실험치와 계산치는 10%의 오차범위내에서 잘 일치함을 알 수 있다.

7. 결론

본 논문은 유한요소법과 Preisach 모델을 사용하여 히스테리시스현상을 수치모사하고, 이것을 이방성이 강한 바륨-페라이트를 기록매체로 하고 2층매체와 플

형헤드를 갖는 수직자기기록시스템에 적용하여 단순자화반전이 일어나는 부분에서의 자장의 세기를 이미 발표된 실험값과 비교하여 10%이내의 오차로 잘 일치함을 보였다.

따라서 본 논문에서 제시된 방법으로 이방성이 강한 기록매체에서 히스테리시스현상이 고려된 수직자기 기록장치에서의 여러가지 현상을 충분한 정도의 정밀도를 가지고 해석할 수 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

1. A. Savini, "Modeling Hysteresis Loops for Finite Element Magnetic Fields Taking into Account Hysteresis Characteristics," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-21, no. 5, pp. 1856-1858, September 1984
2. S. Prusty and M. V. S. Rao, "A Novel Approach for Predetermination of Magnetization characteristics of Transformers including Hysteresis," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-20, no. 4, pp. 607-612, 1984
3. S. S. Udpa and W. Lord, "A Fourier Descriptor Model of Hysteresis Loop Phenomena," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-21, no. 6, pp. 2370-2373, November 1985
4. Y. Saito et al., "Hysteresis Fields in a Toroidal Reactor," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-20, no. 5, pp. 1965-1967, September 1984
5. Robert I. Potter and R. J. Schullian, "Self-consistently computed magnetization patterns in thin magnetic recording media," IEEE Trans. Mag., vol. MAG-7, no. 4, pp. 873-880, 1971
6. C. D. Boley and M. L. Hodgdon, "Model and Simulations of Hysteresis in Magnetic Cores," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 5, pp. 3922-3924, September 1989
7. Yoshihisa Nakamura et al., "Analysis of Magnetization Distribution in Double-Layered Perpendicular Magnetic Recording Medium," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-23, no. 5, pp. 2856-2858, September 1987
8. Isaak D. Mayergoyz, "Mathematical Models of Hysteresis," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-22, no. 5, pp. 603-608, September 1986
9. Manoj K. Battacharyya et al., "Determination of Overwrite Specification in Thin-Film Head/Disk Systems," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 6, pp. 4479-4489, November 1989
10. K. Sueoka, F. Sai and K.G. Ashar, "2-Dimensional Observation of Recorded Magnetization Transitions in Perpendicular Recording," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 5, pp. 4162-4164, September 1989